



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TESIS**

LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR  
FUENTES RENOVABLES Y SU USO EN MÉXICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

**PRESENTA:**

ARTURO COXTINICA MULATO

DIRECTOR DE TESIS: ING. DAVID VÁZQUEZ ORTÍZ

CIUDAD UNIVERSITARIA

FEBRERO 2015





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# **Agradecimiento**

A mis padres por todo su apoyo y a mis hermanos,  
a todos ellos por estar siempre ahí conmigo y  
a la UNAM por abrirme las puertas  
hacia el conocimiento.

## Índice de contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>I</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>II</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>III</b>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	III
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>CAPÍTULO 1    ENERGÍA ELÉCTRICA</b> .....	<b>1</b>
1.1    LA ENERGÍA .....	1
1.1.1 <i>Concepto de energía</i> .....	2
1.1.2 <i>Definición de los tipos de energía</i> .....	4
1.1.3 <i>Energía primaria, energía secundaria y energía útil</i> .....	13
1.1.4 <i>Energía renovable y energía no renovable</i> .....	16
1.2    BENEFICIOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	19
1.3    PRINCIPIO DE CONVERSIÓN DE UN TIPO DE ENERGÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA .....	21
1.3.1 <i>Conversión de energía química en energía eléctrica</i> .....	21
1.3.2 <i>Conversión de energía mecánica en energía eléctrica</i> .....	23
1.3.3 <i>Conversión de energía lumínica en energía eléctrica</i> .....	24
1.3.4 <i>Conversión de energía térmica en energía eléctrica</i> .....	25
1.4    DISPOSITIVOS DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	26
1.4.1 <i>Mecánica a eléctrica</i> .....	27
1.4.2 <i>Química a eléctrica</i> .....	28
1.4.3 <i>Lumínica a eléctrica</i> .....	28
1.4.4 <i>Térmica a eléctrica</i> .....	30
1.5    CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA .....	30
1.6    EFICIENCIA DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	31
<b>CAPÍTULO 2    FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE</b> .....	<b>37</b>
2.1    LA ENERGÍA SOLAR .....	39
2.1.1 <i>Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica</i> .....	40
2.1.2 <i>Ventajas y desventajas</i> .....	41
2.2    LA ENERGÍA EÓLICA .....	42
2.2.1 <i>Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica</i> .....	44
2.2.2 <i>Ventajas y desventajas</i> .....	46

2.3	LA ENERGÍA HIDRÁULICA.....	47
2.3.1	<i>Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica.....</i>	48
2.3.2	<i>Ventajas y desventajas.....</i>	50
2.4	LA ENERGÍA DE LOS OCÉANOS .....	52
2.4.1	<i>Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica.....</i>	53
2.4.2	<i>Ventajas y desventajas.....</i>	59
2.5	BIOENERGÍA.....	63
2.5.1	<i>Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica.....</i>	67
2.5.2	<i>Ventajas y desventajas.....</i>	67
2.6	LA ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	68
2.6.1	<i>Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica.....</i>	72
2.6.2	<i>Ventajas y desventajas.....</i>	72
2.7	DESARROLLOS TECNOLÓGICOS “SOSTENIBLES” CON BASE EN EL HIDRÓGENO Y LA FUSIÓN NUCLEAR .....	75
2.8	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE .....	78
<b>CAPÍTULO 3 IMPACTO AL ENTORNO POR EL USO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA .....</b>		<b>80</b>
3.1	RECURSOS NATURALES .....	80
3.2	CICLOS NATURALES.....	81
3.2.1	<i>El ciclo hidrológico.....</i>	81
3.2.2	<i>El ciclo del carbono.....</i>	83
3.2.3	<i>El ciclo del nitrógeno .....</i>	84
3.3	EL EFECTO INVERNADERO .....	86
3.4	IMPACTO EN LA BIOSFERA POR LA ACTIVIDAD HUMANA .....	87
3.5	EFFECTOS NOCIVOS SOBRE EL MEDIO Y LA SALUD.....	89
3.6	COSTO DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES .....	91
<b>CAPÍTULO 4 UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.....</b>		<b>94</b>
4.1	FUENTES DE ENERGÍA UTILIZADAS EN MÉXICO.....	95
4.2	EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA EN MÉXICO.....	100
4.3	EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	102
4.4	DESARROLLO SOSTENIBLE .....	106
4.5	LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN MÉXICO A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE .....	107
4.6	TECNOLOGÍA USADA PARA EL USO DE LA ENERGÍA RENOVABLE.....	109
<b>CAPÍTULO 5 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE EN MÉXICO .....</b>		<b>111</b>
5.1	ENERGÍA SOLAR .....	112

5.2	ENERGÍA EÓLICA .....	114
5.3	ENERGÍA GEOTÉRMICA .....	115
5.4	ENERGÍA HIDRÁULICA.....	117
5.5	BIOENERGÍA.....	117
5.6	EXTERNALIDADES .....	118
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>120</b>
<b>APÉNDICE A EJEMPLOS.....</b>		<b>123</b>
	TRABAJO.....	123
	ENERGÍA MECÁNICA EN LA TIERRA .....	124
	TÉRMINOS USADOS QUE PUEDAN REPRESENTAR CONFUSIÓN .....	126
	CONSUMO DE ENERGÍA.....	126
	POTENCIA .....	127
	¿CÓMO INTERCAMBIAR UNA UNIDAD POR OTRA? .....	129
<b>APÉNDICE B UNIDADES Y FACTORES DE CONVERSIÓN .....</b>		<b>131</b>
	FACTORES DE CONVERSIÓN.....	131
	UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) .....	132
<b>APÉNDICE C DATOS TÉCNICOS SOBRE LA ENERGÍA RENOVABLE.....</b>		<b>134</b>
	DATOS SOBRE LA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA RENOVABLE.....	134
	CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA EN MÉXICO .....	137
	PRECIOS DE LA TECNOLOGÍA.....	138
	PRINCIPALES CENTRALES DE GENERACIÓN EN EL PAÍS.....	139
<b>APÉNDICE D FLUJOS NATURALES DE ENERGÍA.....</b>		<b>141</b>
	LA ENERGÍA DEL SOL .....	141
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>145</b>
<b>ÍNDICE DE TÉRMINOS Y GLOSARIO.....</b>		<b>147</b>

## Índice de figuras

FIGURA 1.1: ENERGÍA POTENCIAL .....	1
FIGURA 1.2: FUERZA ELÉCTRICA .....	5
FIGURA 1.3: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO, (3).....	9
FIGURA 1.4: REACCIÓN EN CADENA, FUSIÓN NUCLEAR, (3). .....	10
FIGURA 1.5: EL “CALOR”, TRANSFERENCIA DE ENERGÍA. ....	11
FIGURA 1.6: EL “TRABAJO”, TRANSFERENCIA DE ENERGÍA. ....	12
FIGURA 1.7: ENERGÍA SOLAR. ....	14
FIGURA 1.8: EL ZACATE DE MAÍZ (BIOMASA).....	14
FIGURA 1.9: ENERGÍA PRIMARIA, SECUNDARIA Y ÚTIL (O FINAL). ....	16
FIGURA 1.10: CELDA VOLTAICA, (4). ....	22
FIGURA 1.11: PROPAGACIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA, (4). ....	23
FIGURA 1.12: CONVERSIÓN DE ENERGÍA MECÁNICA EN ENERGÍA ELÉCTRICA, (3).....	24
FIGURA 1.13: EFECTO FOTOELÉCTRICA, (4).....	25
FIGURA 1.15: GENERADOR ELÉCTRICO. ....	27
FIGURA 1.14: EFECTO TERMOELÉCTRICO. ....	27
FIGURA 1.16: CELDAS VOLTAICAS O PILAS, (4).....	29
FIGURA 1.17: COMPOSICIÓN BÁSICA DE UNA CELDA FOTOELÉCTRICA, (5).....	29
FIGURA 1.18: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA. ....	32
FIGURA 1.19: DISPERSIÓN DE LA MATERIA, (4).....	35
FIGURA 1.20: DISPERSIÓN DE LA ENERGÍA (A) FORMAS EN QUE SE PUEDEN DISTRIBUIR LA ENERGÍA ENTRE CUATRO PARTÍCULAS, (B) TRANSFERENCIA DE ENERGÍA ENTRE MOLÉCULAS DE GAS, (4). ....	35
FIGURA 2.1: FLUJOS NATURALES DE ENERGÍA Y OBTENCIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES, (8). ....	37
FIGURA 2.2: FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE Y TIPO DE ENERGÍA OBTENIDA (ENERGÍA PRIMARIA Y ENERGÍA SECUNDARIA).....	39
FIGURA 2.3: CAPAS DEL SOL. ....	40
FIGURA 2.4: CELDAS FOTOELÉCTRICAS, (5). ....	41
FIGURA 2.5: CONCENTRADORES SOLARES, (17), (5). ....	41
FIGURA 2.6: TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS, (8). ....	45
FIGURA 2.7: TURBINAS EÓLICAS, (21), (17).....	47
FIGURA 2.8: TIPO DE ROTORES DE TURBINAS HIDRÁULICAS, (8).....	49
FIGURA 2.9: TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS POR SALTO DE AGUA, (8).....	51
FIGURA 2.10: GRANDES CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, (5).....	51
FIGURA 2.11: PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA, (5). ....	52
FIGURA 2.12: CENTRAL MAREOMOTRIZ, (8), (22). ....	55
FIGURA 2.13: POSIBLE APROVECHAMIENTO DE LAS CORRIENTES MARINAS, (8).....	56

FIGURA 2.14: APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA TÉRMICA DEL OCÉANO, (8).....	58
FIGURA 2.15: CONVERTIDORES DE ENERGÍA DEL OLEAJE, (8) .....	59
FIGURA 2.16: TECNOLOGÍA EMPLEADA PARA APROVECHAR LA ENERGÍA DE LOS OCÉANOS, (5). .....	59
FIGURA 2.17: PROCESO DE LA FOTOSÍNTESIS, (8).....	65
FIGURA 2.18: PROCESOS FÍSICOQUÍMICOS, (5).....	66
FIGURA 2.19: PROCESOS BIOQUÍMICOS, (5).....	67
FIGURA 2.20: TIPOS DE CENTRALES GEOTÉRMICAS, (8). .....	73
FIGURA 2.21: CENTRAL GEOTÉRMICA, (5). .....	74
FIGURA 2.22: CELDAS DE COMBUSTIBLES, (4). .....	76
FIGURA 2.23: MODELO SIMPLE DEL ÁTOMO.....	77
FIGURA 3.1: CICLO HIDROLÓGICO, (5). .....	82
FIGURA 3.2: VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AGUA CON LA TEMPERATURA, (4). .....	83
FIGURA 3.3: EL CICLO DEL CARBONO, (11).....	85
FIGURA 3.4: CICLO DE CARBONO.....	85
FIGURA 3.5: EFECTO INVERNADERO, (10).....	87
FIGURA 3.6: RELACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE CO <sub>2</sub> Y EL AUMENTO DE TEMPERATURA, (10). .....	89
FIGURA 3.7: EVENTOS EXTREMOS, (11). .....	90
FIGURA 3.8: IMPACTOS PREVISIBLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO, (11).....	91
FIGURA 4.1: ESTRUCTURA DEL BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA, (6).....	97
FIGURA 4.2: SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA. ....	101
FIGURA 4.3: SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA (DIAGRAMA UNIFILAR).....	102
FIGURA 4.4: CONSUMO PER CÁPITA DE ENERGÍA EN 2012, DATOS OBTENIDOS DE (13). .....	106
FIGURA 5.1: CLASIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES, (5).....	112
FIGURA 5.2: MAPA DE IRRADIACIÓN SOLAR DIRECTA EN EL MES DE JUNIO, (18).....	113
FIGURA 5.3: DENSIDAD DE POTENCIA A 80 M EN EL MES DE ABRIL (W/M <sup>2</sup> ), (18).....	115
FIGURA 5.4: MAPA DE RECURSOS GEOTÉRMICOS EN MÉXICO, (18). .....	116
FIGURA A.1: EL TRABAJO EN UN CIRCUITO ELÉCTRICO. ....	124
FIGURA C.1: PRINCIPALES CENTRALES ELÉCTRICAS EN MÉXICO, (15). .....	139
FIGURA D.1: RADIACIÓN SOLAR, (8).....	144



## Índice de tablas

TABLA 1.1: ENERGÍA EN LOS COMBUSTIBLES FÓSILES. ....	18
TABLA 1.2: EFICIENCIA DE ALGUNOS SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA, (7). ....	32
TABLA 1.3: EFICIENCIA DE LA TECNOLOGÍA EN LAS CENTRALES ELÉCTRICAS. ....	33
TABLA 2.1: ALGUNAS CIFRAS SOBRE EL SOL. ....	40
TABLA 2.2: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CAPAS DE LA TIERRA. ....	69
TABLA 2.3: TECNOLOGÍAS, CELDAS DE COMBUSTIBLE, (9). ....	76
TABLA 4.1: ENERGÍA PRIMARIA EN EL PAÍS EN 2012, (13). ....	98
TABLA 4.2: CONSUMO FINAL DE ENERGÍA POR SECTOR EN 2012, (13). ....	99
TABLA 4.3: SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO, (14). ....	103
TABLA 4.4: USUARIOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN 2012, (13). ....	105
TABLA 4.5: ELECTRICIDAD [PJ] EN 2012, (13). ....	105
TABLA 4.6: CONSUMO FINAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN 2012, (13). ....	106
TABLA 4.7: PRODUCCIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE [PJ] EN 2012, (13). ....	109
TABLA 4.8: RESUMEN DE POLÍTICAS, PROGRAMAS Y PROYECTOS, (17). ....	110
TABLA 5.1: POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR FUENTES RENOVABLES (GWH/AÑO), (5). ....	112
TABLA 5.2: IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA PROMEDIO MENSUAL EN MÉXICO (KWH/M <sup>2</sup> ), (18). ....	114
TABLA 5.3: EXTERNALIDADES EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD, (19). ....	119
TABLA 5.4: EXTERNALIDADES, (19). ....	119
TABLA A.1: CONSUMO DE ENERGÍA EN APARATOS ELÉCTRICOS. ....	127
TABLA A.2: PREFIJOS Y SU VALOR. ....	128
TABLA B.1: UNIDADES DE ENERGÍA Y SUS EQUIVALENCIAS. ....	131
TABLA B.2: MÚLTIPLOS (PESOS Y VOLUMEN). ....	131
TABLA B.3: FACTORES DE MULTIPLICACIÓN. ....	131
TABLA B.4: UNIDADES DEL (SI). ....	132
TABLA B.5: UNIDADES DERIVADAS DEL SI. ....	133
TABLA B.6: CONSTANTES FÍSICAS UNIVERSALES. ....	133
TABLA C.1: DATOS TÉCNICOS, (20). ....	134
TABLA C.2: CAPACIDAD EFECTIVA POR TECNOLOGÍA EN 2012, (13). ....	137
TABLA C.3: GENERACIÓN BRUTA DE ENERGÍA POR TECNOLOGÍA EN 2012, (13). ....	137
TABLA C.4: COSTOS DE LA TECNOLOGÍA, (17). ....	138
TABLA C.5: PRINCIPALES CENTRALES EN MÉXICO EN 2010, (15). ....	140

# Resumen

El trabajo comienza con un tema fundamental, la energía, y las distintas acepciones que se le da a este término; presentando ejemplos que ilustren los diferentes tipos de energía, los cuales hacen referencia a sucesos que podemos ver a diario. El tema particular a tratar es la energía eléctrica, abordando los tipos de energía que pueden transformarse directamente en electricidad como son: la energía química, mecánica, lumínica y térmica. Se muestra información sobre la eficiencia de los dispositivos usados en la actualidad para generar electricidad, como el generador con una eficiencia del 90% o las celdas fotoeléctricas con eficiencias del 15%. Se habla sobre las fuentes renovables en el mundo, mencionando las distintas tecnologías empleadas para su captación; entre ellas están la energía hidráulica con una participación de 13.52 EJ lo que constituyó el 2.4% de la producción mundial de energía (565.36 EJ) en 2012. Se incluye información sobre los ciclos naturales en el planeta las repercusiones que ha tenido la actividad humana en los últimos siglos y los efectos que podría tener en un futuro. Con respecto a México, se presenta información sobre la producción, transformación, tecnología etc. en el aprovechamiento de la energía, por ejemplo la producción de energía en México fue de 9 073.83 PJ lo que representó el 1.6% de la producción de energía en el mundo, y la participación de la energía renovable en la producción total del país fue de 621.24 PJ (6.85% del total) y de los cuales 155.84 PJ se destinaron para la generación de energía eléctrica (1067.88 PJ) todas con respecto al 2012. Los temas que trata el trabajo están más relacionados con conceptos o asuntos que no cambien con el tiempo, por tal motivo se menciona poco lo relacionado con el marco regulatorio en México o lo relacionado con políticas públicas, da énfasis a cuestiones como la energía, los ciclos naturales, los métodos de conversión de un tipo de energía en energía eléctrica. Las variables físicas que se verán usan como unidades, las del Sistema Internacional de Unidades (SI). En los apéndices se muestran ejemplos que permitan la comprensión de los temas tratados en el trabajo, así como datos técnicos sobre la tecnología para el aprovechamiento de fuentes de energía renovable. Al final, en el índice aparecen definiciones de algunos términos que aparecen en *cursivas* en el trabajo.

# Introducción

En el mundo la extracción de energía en 2012 fue de 565.36 EJ de este total 462.82 EJ (81.86%) es a partir de los combustibles fósiles, 26.9 EJ (4.75%) es por energía nuclear y 75.57 EJ (13.36%) por fuentes renovables de energía; lo que indica la gran dependencia que tenemos de los combustibles fósiles, los cuales emiten gases de efecto invernadero al entrar en combustión y liberar su energía, lo que ha provocado las concentraciones de estos gases en la atmósfera en especial el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> cuya concentración paso de ser de 300 ppm a 380 ppm en los últimos años; en 2005 las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se cuantificaron en 27 mil millones de toneladas, en ese mismo año México contribuyó con el 1.4% (389.4 millones de toneladas) de las emisiones. El incremento promedio de la temperatura en el planeta entre 1906-2005 fue de 0.74 °C y de los años más calurosos fueron 2005, 1998, 2002, 2003 y 2004 en orden descendente, este incremento de temperatura a contribuido al derretimiento de los glaciares, los cuales son uno de los elementos que regulan la temperatura en el planeta, además de los cambios de humedad en la atmósfera; el incremento del vapor de agua sobre los océanos a aumentado 1.2% por década, esto trae como consecuencia el cambio en las precipitaciones. El cambio climático ha traído como consecuencia el derretimiento de los glaciares, el incremento del nivel del mar, el aumento en la frecuencia de huracanes, sequías y como consecuencia cambios perjudiciales en los ecosistemas<sup>1</sup>.

Por los efectos mencionados, diversos países han adoptado un acuerdo en la reducción de gases de efecto invernadero, el Protocolo Kioto; como uno del principales sectores en la emisión de gases de efecto invernadero es el energético, la gran importancia que tienen, en la actualidad la extracción de energía por fuentes renovables, es fundamental; el uso de estas fuentes evitan la emisión de estos gases; entre estas fuentes de energía están: la energía solar, eólica, oceánica, hidráulica, geotérmica y biomasa, además de energías alternas que se están desarrollando como la fusión nuclear.

---

<sup>1</sup> Ver referencia (11).

# Objetivo

El propósito de este trabajo es presentar información sobre la generación de energía eléctrica por fuentes renovables.

## Objetivos específicos

- Presentar de manera breve pero general, el tema de la energía y en particular de la energía eléctrica, generada a partir de fuentes renovables; explicando, en lo mayor posible, de manera clara lo que se entiende por energía desde sus diferentes acepciones en lo relacionado con la ciencia y con las fuentes energéticas.
- Tratar el tema de la energía renovable, no como la solución completa a los problemas ambientales ocasionados en la extracción de energía de los recursos naturales sino como una parte sustancial para perjudicar menos a la biosfera, presentando tanto las ventajas y desventajas en el aprovechamiento de estas fuentes, mostrando así también un panorama de la energía renovable en México.

## Justificación

El interés en realizar el presente trabajo es porque el tema de la energía renovable es muy importante en la actualidad. Los problemas que conlleva la explotación de las fuentes no renovables, como son: el calentamiento global, la producción de residuos tóxicos, su cantidad limitada, etc., han llevado al empleo de otro tipo de fuentes, como lo son las fuentes renovables de energía, las cuales evitan o reducen muchos problemas que se tienen con las fuentes no renovables. En el mundo se necesita aprovechar la energía que está en nuestro alrededor y utilizarla de la manera más adecuada, para que de esta forma el impacto que el humano causa a la biosfera, sea lo menos dañino posible. Las energías renovables resuelven parte de los problemas que ocasiona el uso de fuentes de energía no renovable, en especial los medioambientales. Podemos iniciar la convivencia con nuestro entorno, así en

vez de emplear con mayor frecuencia energías no renovables y que causen perjuicios al ambiente por su gran uso, recurriremos a otros tipos de fuentes de energía y de tecnologías que eviten en la mayor medida esto. Lo anterior puede lograrse, primero siendo conscientes de los efectos que se producen en el empleo de fuentes no renovables y las alternativas que hay en otras fuentes, para esto es indispensable disponer de información, conociendo temas tan primordiales como estos. Para poder entender esto se necesita partir de principios básicos, como es el caso de la energía, un término tan importante y usado constantemente pero indagado muy poco en temas como este y del cual parte principalmente pues el tema a tratar son las fuentes de 'energía' renovable.

Dado que la mayoría de las fuentes renovables se usan principalmente para la generación de energía eléctrica y en la actualidad el uso de este tipo de energía es imprescindible, se hablará en particular de la electricidad. Así también necesitamos conocer la participación y la tecnología en el uso de las fuentes renovables en nuestro país.

# Capítulo 1 Energía eléctrica

## 1.1 La energía

La energía es uno de los conceptos más importantes de la ciencia. Nosotros podemos percibir muchas de las manifestaciones de la energía y sus transformaciones. La energía forma parte de nuestra vida en todo momento y estamos inmersos en ella. Para realizar nuestras actividades cotidianas, empleamos la energía de nuestro cuerpo, ya sea para desplazarnos de un lugar a otro, para hablar, para realizar nuestras tareas,... a la vez esta energía proviene de los alimentos que consumimos. El movimiento de traslación y rotación de la Tierra, es un claro ejemplo de energía que posee nuestro planeta. Constantemente la energía se transfiere de un lugar a otro, se transforma y se almacena en los cuerpos u objetos.

Pensemos en un cuerpo ubicado en alguna parte de la superficie de la Tierra, imaginémoslo en una montaña y pensemos que el cuerpo es una planta. Simplemente por estar en la superficie del planeta, a una distancia considerable de su centro, posee energía ‘potencial gravitacional’. Si por alguna razón tuviese que estar en la parte baja de la montaña, sólo bastaría colocarla fuera de aquella superficie que la sostiene y soltarla para que después de cierto momento se localice ahí. Sin hacer ya ningún “trabajo”<sup>2</sup> extra, la planta se encontrará en la parte baja, en ese lapso de tiempo,



**FIGURA 1.1:** Energía potencial.

---

<sup>2</sup> En el Apéndice A se explica y se da un ejemplo sobre este término.

la energía potencial gravitacional que tenía, se convirtió en energía ‘cinética’, que al chocar en el suelo se transfirió a este, deformándolo, otra parte convirtiéndose en energía ‘térmica’ y otra parte en energía ‘sonora’ transferida al medio<sup>3</sup>. Aun estando la planta en reposo tendrá energía potencial gravitacional e incluso si no la podemos notar, en su interior hay energía, esto debido al movimiento de sus moléculas y partículas que la conforman; recibe energía de nuestro Sol y la capta mediante un proceso llamado fotosíntesis.

Como se ha mencionado, la planta puede pasar de un estado de reposo en el que aparentemente no podía realizar ningún cambio, no obstante posee la capacidad de hacerlo, y se nota cuando cambia, de su estado de reposo a su estado de movimiento, esto es la transformación de un tipo de energía en otro. Lo anterior nos indica que la energía no siempre la podremos percibir con nuestros sentidos, ni siquiera notar que esta realice un cambio, aunque esté presente.

El decir que la energía es una propiedad de las sustancias capaz de producir trabajo o mover algún objeto, es bastante ilustrativo para entender en principio lo que es energía, pero debemos tener cuidado con esta definición y con otras que podamos encontrar.

Dar una definición exacta de la energía y sin ninguna objeción resultaría algo extraordinario, claro en el contexto de la ciencia. Por lo que a continuación se dará sólo el concepto y no la definición de energía.

### **1.1.1 Concepto de energía**

¿Por qué no se puede definir el término energía de una manera exacta en la ciencia?

La ciencia estudia a la naturaleza y los fenómenos relacionados con ella, intenta describirla objetivamente y para poder lograrlo necesita de una base o bases que sean universales en lo mayor posible y no cambien, una forma de hacerlo es incorporando las matemáticas y esto se logra dimensionando alguna variable de la característica que se desee estudiar.

---

<sup>3</sup> Muchas de las formas de energía mencionadas en esta parte se explicaran más adelante.

Las cantidades físicas se definen en principio por constantes universales (como la velocidad de la luz en el vacío  $c = 299\,792\,458 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ ) y de estas se definen otras cantidades físicas.

«En el marco de las ciencias físicas, para definir correctamente cualquier tipo de energía, es necesario incluir en la definición la forma medir, directa o indirectamente (...) Es por eso que en las ciencias físicas no tiene mucho sentido hablar de “energía” a secas, término que aislado carece de una definición exacta por no ser medible (1).»

La velocidad  $\vec{v}$ , la fuerza  $\vec{F}$ , la presión  $P$ , etcétera se definen en términos de variables que se dimensionan, y es en este sentido en el que no se puede dar una definición de la variable energía, ***porque no se relaciona en específico con alguna(s) variable(s) que pueda(n) medirse***. Se pueden definir tipos determinados de energía como por ejemplo la energía cinética que se relaciona con el movimiento y el tiempo, de una partícula, variables que se pueden dimensionar. Por ello a continuación se enuncia el concepto de energía.

La energía es la capacidad de las sustancias latente o manifiesta para producir cambios (2).

Es por esta razón que sólo definiremos tipos específicos de energía y no en sí a la energía.

Siempre escuchamos el término “energía”, a veces sólo, a veces acompañado de algún adjetivo; como hablar de la energía ‘solar’, la energía ‘renovable’, la energía ‘química’, la energía ‘de movimiento’, la energía ‘eléctrica’ etc. o simplemente, lo tomamos como sinónimo de otros términos, como el calor y el trabajo. Entenderemos el término, dependiendo del contexto en el que se hable. Sin embargo, en este escrito se dividirán estos adjetivos y se formarán los grupos correspondientes según su clasificación, de esta manera tendremos idea del contexto en el que se está hablando.

Se definirán sólo algunos tipos de energía, que nos permitan la comprensión del tema. Posteriormente de las definiciones de estos tipos de energía, se darán clasificaciones de energía, según distintos criterios. Uno será de la disponibilidad de la energía que hay en nuestro planeta y el otro, la manera en cómo podemos obtenerla y emplearla.



### 1.1.2 Definición de los tipos de energía

Para empezar definiremos dos formas de energía que engloban todos los demás tipos de energía, los cuales son la energía potencial (o energía de posición) y la energía cinética (o energía de movimiento).

**Energía potencial (o de posición).** Es la energía que tienen las partículas o conjunto de ellas (con la misma *propiedad fundamental*<sup>4</sup>) en una posición dada, al interaccionar las unas con las otras.

Un ejemplo, relacionado con la propiedad masa ( $m$ ), lo vimos con la planta ubicada en la montaña en el subcapítulo 1.1, otro ejemplo que podemos citar, es con respecto a la propiedad de la carga eléctrica ( $q$ ).

Cuando frotamos una regla de plástico en nuestro cabello y la acercamos a trozos pequeños de papel (sin entrar en contacto directo con ellos) tal objeto los atraerá hacia él. Podemos notar que la atracción es más fuerte, cuando se acerca más a los trozos de papel.

Lo que sucede es que al frotar nuestro cabello con el plástico se desprenden electrones, quedando la regla cargada negativamente<sup>5</sup> ¿pero cómo puede atraer, el plástico a los papelitos, si estos no están cargados eléctricamente? Lo que pasa es que toda la materia está formada por carga eléctrica<sup>6</sup>; está compuesta por el mismo número de cargas positivas y negativas anulando así su efecto hacia el exterior, sin embargo puede polarizarse<sup>7</sup>. Esto ocurre en el papel, puesto que el plástico cargado negativamente atrae a las cargas positivas presente en el material, de esta manera el plástico atrae a los papeles, y dependiendo de la distancia o “posición” en la

---

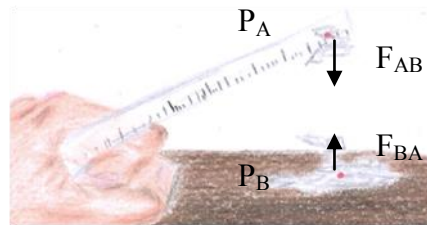
<sup>4</sup> Como lo son la masa ( $m$ ) y la carga eléctrica ( $q$ ).

<sup>5</sup> El exceso de carga se ubica solo en la parte en que se frotó.

<sup>6</sup> Existen dos tipos de carga, negativa y positiva, que se atraen o repelen dependiendo de si son de signos contrarios o iguales respectivamente. La materia integrada por el mismo número de electrones y protones, es neutra, no tiene exceso de carga.

<sup>7</sup> La polarización es la distribución de carga eléctrica en un material. Una concentración apreciable de un tipo de carga (negativa o positiva) se ubica en un extremo y el otro tipo (positiva o negativa) en el otro extremo, pudiéndose así observar sus efectos en el exterior.

que se encuentren, el uno con respecto al otro, podrá verse su manifestación (FIGURA 1.2).



**FIGURA 1.2:** Fuerza eléctrica.

Si tuviésemos un material ligero y otro cargado eléctricamente lo suficiente como para levantar el peso del otro, si el material ligero no se polarizara o no tuviera exceso de carga, no podríamos ver ninguna interacción entre estos materiales, es por esta razón que se menciona la interacción entre partículas con la misma propiedad fundamental. Al igual que la interacción entre la Tierra (masa  $m_{\text{Tierra}}$ ) y el Sol (masa  $m_{\text{Sol}}$ ).

**Energía cinética (o de movimiento).** Es la energía que tiene una partícula al moverse en el espacio y que pueda interactuar con otras partículas con la misma propiedad fundamental.

Un ejemplo de energía cinética es cuando balanceamos a alguien en un columpio. Cuando lo empujamos va hacia delante, después se dirige hacia nosotros, vemos al cuerpo (masa  $m$ ) cambiar de posición, cuando llega de nuevo al lugar donde estamos, sentimos un empujón que nos puede mover, para contrarrestarlo aplicamos una fuerza dirigiendo el columpio hacia delante. La energía cinética puede “cambiar” la posición de otro cuerpo al entrar en contacto con él. O simplemente el hecho de que un cuerpo se traslade de un lugar a otro requiere energía, y este tipo de energía es energía de movimiento.

Con respecto a la carga eléctrica. En los relámpagos, las nubes adquieren un exceso de carga y la descargan al suelo o a otras nubes; la manifestación de la energía cinética de la carga eléctrica se ve con un rayón de luz momentáneo, ya sea de nube a nube o de la nube al suelo, aquí los electrones se mueven por el aire emitiendo un destello.

A continuación se enlistan algunos tipos de energía. Los cuales se referirán a lo largo del trabajo.

**Energía mecánica.** Es la suma de la energía en movimiento (cinética) y de posición (potencial) de un cuerpo con masa ( $m$ ).

La energía potencial de la Tierra debida a su masa nos mantiene arraigados a ella, también atrae a la Luna y la Luna a ella. El movimiento de traslación (energía cinética) cambia constantemente la distancia que tiene con respecto al Sol en todo un año, lo que provoca las distintas estaciones —junto con su inclinación— y la mayor o menor duración de luz solar en estos periodos.

En lo que respecta a las interacciones de los cuerpos con masa  $m$  presentes en la Tierra se pueden dar expresiones un tanto generales para cuantificar la energía mecánica<sup>8</sup>.

En la mecánica clásica la suma de estas energías puede representarse por medio de la expresión ( 1.1 ):

$$E = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2}_{\text{energía cinética}} + \left( \underbrace{\underbrace{mgy}_{\text{gravitatoria}} + \underbrace{\frac{1}{2}ks^2}_{\text{elástica}}}_{\text{energía potencial}} \right) \quad (1.1)$$

Donde:  $g$  es la aceleración debida a la gravedad de la Tierra,  $y$  es la altura a la que se encuentra sobre algún punto de referencia de la superficie terrestre,  $k$  es una constante de proporcionalidad de fuerza,  $v$  es la velocidad del cuerpo con masa  $m$  y  $s$  es el desplazamiento de la partícula desde una posición inicial. El primer término del lado derecho se refiere al movimiento de la partícula o cuerpo y el segundo término está compuesto por dos expresiones una es debida a la energía potencial “gravitatoria” de

<sup>8</sup> Se dan algunos ejemplos de esto en la sección Energía mecánica en la Tierra.

la Tierra y la otra a que el cuerpo puede estar sometido a fuerzas elásticas, que también dependen de la posición.

En la mecánica relativista la energía total de una partícula se puede obtener con la ecuación<sup>9</sup> ( 1.2 ):

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma mc^2 \quad (1.2)$$

**Energía eléctrica.** Es la energía asociada al movimiento (cinética) o posición (potencial<sup>10</sup>) o ambas de una partícula con carga ( $q$ ) o un cuerpo cargado eléctricamente.

En un foco incandescente, las dos formas de energía cinética y potencial están presentes. Al encender un foco, hay un movimiento neto de carga eléctrica a través del filamento, el flujo de carga calienta al filamento, emitiendo esta luz; parte de la energía cinética de la carga se convierte en energía térmica y lumínica, se esperaría que en cualquier momento cesara el movimiento de la carga, pero no es así<sup>11</sup>, lo que hace que siga fluyendo la carga es la energía de posición debida a cargas presentes, en la línea de suministro que se conecta a nuestro hogar, estas cargas impulsan a que otras cargas sigan moviéndose por el foco.

Aunque no podamos ver a los electrones podemos ver su manifestación: en el ejemplo anterior la energía cinética de la carga eléctrica provocó un cambio; elevó la temperatura del material<sup>12</sup> por el que circulaba, ocasio-

---

<sup>9</sup> Notemos en la expresión ( 1.2 ) que si la partícula no se mueve (es decir  $v = 0$ ) la energía de la partícula es igual a  $E = mc^2$  conocida como la energía en reposo de la partícula.

<sup>10</sup> La energía potencial de una carga  $q$  en un punto A se puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$U_A = -q \int_{\infty}^A \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

aquí  $U_A$  representa la energía,  $\vec{E}$  el campo eléctrico y  $\vec{s}$  el desplazamiento de la partícula.

<sup>11</sup> Al menos que abramos el interruptor, se funda el foco o no haya suministro de energía eléctrica.

<sup>12</sup> Fenómeno conocido como efecto Joule y la transferencia de energía por unidad de tiempo en los metales se determina por medio de esta expresión  $P = \frac{v^2}{R}$  donde  $v$  es la tensión eléctrica,  $P$  es la potencia y  $R$  un propiedad del material llamada resistencia.

nando que emitiera luz y, la energía que provocó el movimiento de la carga fue la energía potencial “eléctrica”.

La energía eléctrica es un caso particular de la energía electromagnética, esto es porque no considera la energía magnética explícitamente, no obstante donde haya movimiento de carga eléctrica estará presente la energía magnética. Se puede decir que, de las partículas eléctricas emanan ambos tipos de energía e incluso pensar que la energía eléctrica es el caso general pues si la partícula no está en movimiento no tendrá energía magnética pero seguirá teniendo energía eléctrica, sin embargo no se puede observar ninguna partícula en reposo absoluto, puede que no cambie de posición en cambio estará rotando sobre su propio eje, y esto condicionará que haya los dos tipos de energía tanto magnética como eléctrica lo que en conjunto se conoce como energía electromagnética.

Muchas veces no se puede observar el efecto magnético que está presente y sólo se hace notable cuando el flujo de carga es muy intenso o en elementos específicos como el inductor, donde la energía magnética sí se considera. Tanto variables magnéticas como variables eléctricas están relacionadas tanto físicamente como en las expresiones matemáticas usadas para su estudio, pudiéndose usar unas u otras a través de sus relaciones, para simplificar el estudio de un tipo particular de energía. Por ejemplo el flujo de carga eléctrica ( $i$ ) está relacionado con la presencia de flujo magnético  $\varphi$ , y la variación del flujo magnético en una zona donde haya carga eléctrica (un material como un conductor) provoca el movimiento de la carga, polariza al material y se genera una diferencia de potencial ( $v$ ) entre los extremos de este, ver FIGURA 1.12.

**Energía electromagnética**<sup>13</sup>. Es la energía que poseen las partículas con carga eléctrica en movimiento. Las cargas eléctricas al acelerarse<sup>14</sup> transfieren energía en forma de *onda* (la

---

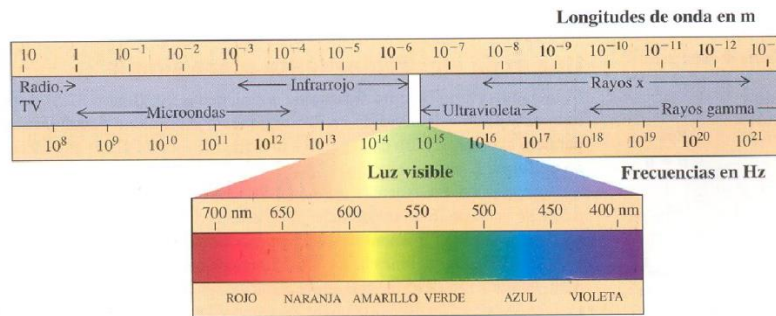
<sup>13</sup> La energía por unidad de volumen de una onda electromagnética en el vacío puede determinarse por medio de la siguiente ecuación:

$$e = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

aquí  $e$  representa la energía por unidad de volumen,  $E$  y  $B$  el campo eléctrico y el campo magnético respectivamente,  $\epsilon_0$  la permitividad al vacío y  $\mu_0$  la permeabilidad al vacío.

<sup>14</sup> Para que la carga irradie energía en forma de una onda electromagnética esta debe acelerarse o sea su velocidad debe estar cambiando constantemente.

luz visible, las microondas, los rayos gamma, los rayos x, las señales de radio y televisión... son parte de la energía electromagnética, ver FIGURA 1.3).



**FIGURA 1.3:** Espectro electromagnético, (3).

Por ejemplo, en nuestros radiorreceptores, escuchamos sonidos articulados o música, estos sonidos provienen de un punto que transmite estas señales en una cobertura dada, al encender el radio, el aparato transforma las señales que viajan a través del aire y las amplifica, produciéndose así lo que percibimos con nuestros oídos.

**Energía lumínica.** La luz es una onda electromagnética y está conformada por partículas<sup>15</sup> llamadas fotones o cuantos; la energía de una fuente lumínica depende de su frecuencia — la luz roja, azul, amarilla... tienen distintas frecuencias, la luz blanca contiene el conjunto de todas las frecuencias del espectro visible, ver FIGURA 1.3— y está determinada por la expresión  $E = hf$  donde  $h = 6.626\ 068\ 76 \times 10^{-34}$  [Js] es la constante de Planck y  $f$  es la frecuencia de la onda electromagnética.

**Energía nuclear.** Es energía almacenada en el núcleo de los átomos, donde hay fuerzas que mantienen unidos a los protones y neutrones. Si se rompe un núcleo se libera gran cantidad de energía, según la fórmula  $E = mc^2$  la energía liberada es proporcional a la masa del cuerpo, FIGURA 1.4.

<sup>15</sup> Los fotones son partículas con masa en reposo y carga eléctrica igual a cero.

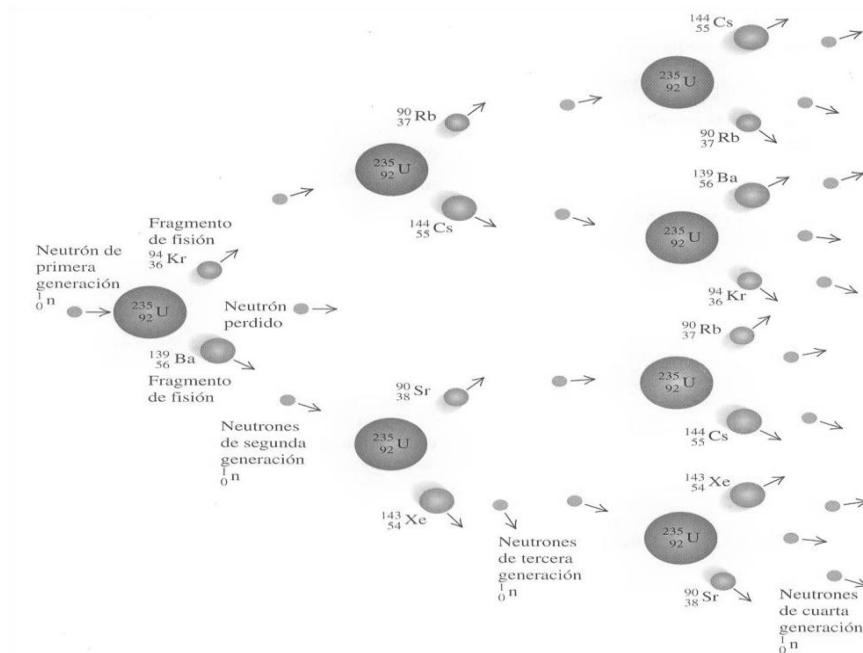


FIGURA 1.4: Reacción en cadena, fisión nuclear, (3).

**Energía interna.** Es la suma de las energías potenciales y cinéticas de los átomos, *moléculas* o *iones* del sistema. La energía química, térmica y nuclear se incluye en lo que recibe el nombre de energía interna. No se puede determinar la energía interna de un cuerpo sin embargo sí se puede medir un cambio de esta<sup>16</sup>.

Como hemos podido ver las anteriores definiciones de energía tienen una expresión matemática que permite cuantificarlas.

Aunque estas son las definiciones de algunos tipos de energía, se dará a continuación acepciones que se relacionan con las definiciones anteriores.

**Energía térmica.** Es la energía debida al desplazamiento y vibración de las partículas a nivel microscópico y que causa un incremento de *temperatura* en el sistema. Por ejemplo todos los cuerpos que podamos ver tienen cierta temperatura por arriba del cero absoluto

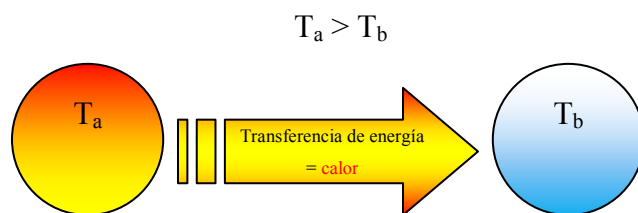
<sup>16</sup> Para determinar un cambio de la energía interna de un cuerpo se usa la siguiente expresión para determinarla:

$$\Delta E = Q + W$$

Donde  $Q$  es la transferencia de energía en forma de calor y  $W$  es la transferencia de energía en forma de trabajo.

(0 K ó  $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), lo que indica que tiene energía en su interior, esta temperatura es causada por el movimiento de sus partículas internas.

La energía térmica la poseen los sistemas<sup>17</sup> y transfieren energía a otros sistemas o al entorno, esta transferencia de energía debida a la diferencia de temperaturas se denomina calor, ver FIGURA 1.5; el calor al igual que la energía tiene diferentes acepciones, en física es el significado que se acaba de dar y es el que tomaremos en este trabajo; puesto que en el habla cotidiana resulta muy difícil diferenciar estos dos términos energía térmica y calor ya que al calor se le asocia con lo caliente de un cuerpo en comparación con otro, sin embargo los términos caliente y frío están relacionados con una temperatura alta y una temperatura baja respectivamente<sup>18</sup>. Conviene aclarar en este escrito que, cuando se mencione un aumento de temperatura, quiere decir que la energía térmica del cuerpo aumentó a tal grado que se produjo una diferencia de temperatura entre este y su entorno y por tanto transferirá energía a este último, y esta transferencia se denomina calor.



**FIGURA 1.5:** El “calor”, transferencia de energía.

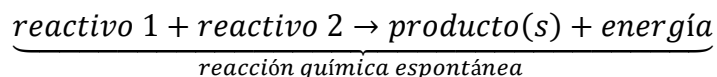
**Energía química.** Es la energía almacenada entre las unidades estructurales de las sustancias y se manifiesta cuando interactúan dos o más sustancias modificándose su configuración (estructura electrónica), transformándose en nuevas sustancias, entonces se dice que ha ocurrido una reacción química. Las sustancias al participar en una reacción química pueden liberar o almacenar energía; una reacción química que requiere energía para que se lleve a cabo tal, es una *reacción endotérmica* o puede liberar energía, siendo una *reacción exotér-*

<sup>17</sup> Como se mencionó al principio la energía la poseen las sustancias. En termodinámica un sistema es una cantidad de materia encerrada por fronteras o superficies, sean reales o imaginarias.

<sup>18</sup> Ver la definición de temperatura en el Índice.

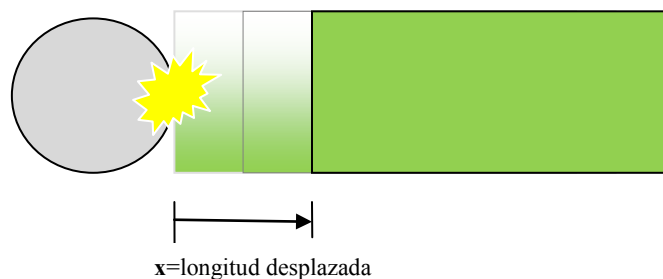


*mica*. En los procesos **espontáneos**<sup>19</sup>, los electrones de los productos de una reacción química ocupan menores niveles energéticos que los reactivos que participan en la reacción, por consiguiente parte de la energía que tenían los electrones, cuando conformaban los reactivos se liberó sea en forma de calor o por la emisión de fotones.



Antes de continuar es conveniente hacer algunos comentarios importantes, con el fin de evitar confundir términos que tiene que ver con: energía térmica, calor, energía mecánica y trabajo.

- El calor es la transferencia de energía de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura, ver FIGURA 1.5.
- El trabajo es la transferencia de energía que efectúa el sistema si el único efecto externo a las fronteras de este pudo haber sido el levantamiento de un peso, ver FIGURA 1.6.



**FIGURA 1.6:** El “trabajo”, transferencia de energía.

El calor y el trabajo son *procesos* de transferencia de energía y no formas de energía. No se debe confundir calor con energía térmica, ni trabajo con energía mecánica.

En lo siguiente vienen clasificaciones de la energía, y dentro de estas clasificaciones se darán definiciones, que no están involucradas explícitamente en el ámbito de la ciencia sino en lo concerniente al tema de la energía renovable.

<sup>19</sup> Ver sección 1.6.

**NOTA:**

En el lenguaje científico al buscar términos que describan al mundo natural, se emplean definiciones que precisen el significado de estos sin ambigüedad. Muchos de estos términos se incorporan al habla popular o viceversa o se van adaptando conforme avanza la ciencia. No obstante la acepción que se da a los términos dependerá del contexto en el que se esté hablando, no se necesita ser muy riguroso en el uso del lenguaje científico e incorporarlo como tal al habla popular; en relación con las definiciones que se acaban de dar, por ejemplo, con el término calor, si alguna persona siente una sensación del incremento de su temperatura corporal, sería poco común escucharla decir: “siento un aumento de mi energía térmica o que su temperatura se elevó” en vez de decir “siento calor”. Sin embargo cuando se estudia un tema en particular relacionado con la ciencia, se debe de poner énfasis en los conceptos primordiales y dar definiciones en lo mayor posible generalizadas, para que se puedan emplear adecuadamente y su concepto no cause confusión, cuando se ahonde más sobre un tema en particular.

### 1.1.3 Energía primaria, energía secundaria y energía útil

Un criterio de clasificación de la energía, es la manera en que podemos captarla y utilizarla, ya sea de forma directa o indirectamente de la naturaleza, ver FIGURA 1.9.

Se emplean los términos: energía primaria, energía secundaria y energía útil para hacer referencia a este tipo de clasificación.

**Energía primaria.** Es aquel tipo o fuelle de energía<sup>20</sup> que podemos obtener directamente de la naturaleza o que es susceptible de obtenerse directamente de ella<sup>21</sup>.

Esta puede ser sometida a un proceso de transformación para obtener la energía secundaria o la energía final, o se puede emplear directamente sin necesidad de someterla a transformación.

#### **Ejemplos:**

La energía del Sol la podemos usar para calentar el agua o para el secado de la ropa, FIGURA 1.7.

---

<sup>20</sup> La única diferencia, al menos en este trabajo, entre energía primaria y fuente de energía está sólo en que las fuentes de energía se tienen que captar o extraer en grandes cantidades en cambio la energía primaria no tiene esta restricción, ver fuentes de energía página 16.

<sup>21</sup> Como es el caso de la biomasa, no se ve su manifestación de energía pero está latente, con sólo una llama de fuego veremos su contenido de energía, esto es al entrar en combustión, ver sección 2.5. No se considera a esta forma de obtener energía de la biomasa energía secundaria, puesto que no necesita ningún proceso de transformación para poder obtener energía de ella.



**FIGURA 1.7:** Energía solar.

El zacate del maíz (biomasa) con sólo una pequeña llama de fuego puede arder en llamas entrando en combustión, incrementando de esta forma su energía térmica que puede servir para aumentar la temperatura de otros objetos, FIGURA 1.8.



**FIGURA 1.8:** El zacate de maíz (biomasa).

**Energía secundaria.** Es aquella forma de energía resultante de un proceso de transformación de la energía primaria, para obtener un tipo de energía con características específicas para su consumo final.

**Ejemplos:**

Para obtener energía del petróleo, necesita ser procesado para tener un combustible y poder conseguir una elevación de temperatura a partir de su energía química.

La energía eólica puede emplearse como energía secundaria para mover turbinas en el rotor de un generador eléctrico y generar energía eléctrica.

La energía eólica se usaba antes principalmente para mover los barcos, veletas o cualquier medio de transporte que utilizaba el mar como ruta y su empleo directo es considerado energía primaria.

**Energía útil (o final).** Es aquella forma o tipo de energía que realiza el trabajo o el cambio que nosotros requerimos.

**Ejemplo:**

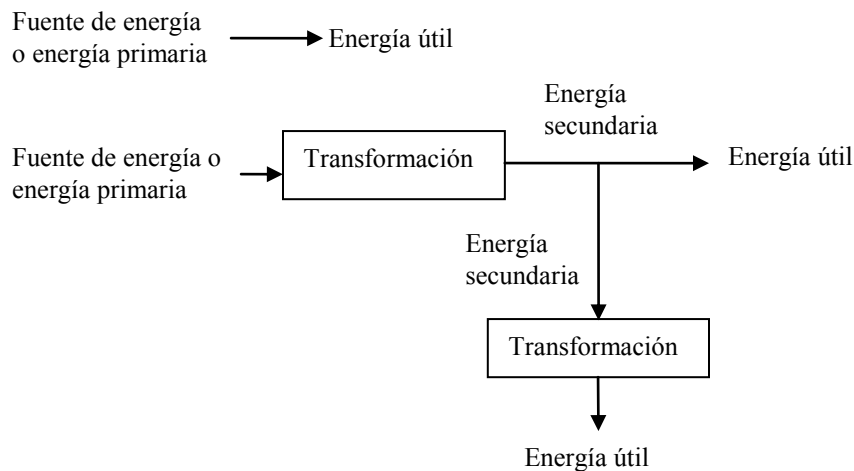
La energía eléctrica se manifiesta naturalmente en el planeta, considerándose energía primaria si parten de los relámpagos. Sin embargo no se le considera fuente de energía puesto que no podemos captar esta forma de energía en grandes cantidades, ver página 16.

La energía eléctrica producto de la transformación de fuentes de energía. La usamos como energía final en muchos aparatos electrónicos, como en el caso de la televisión, de la radio, de los teléfonos celulares; no necesitan que la energía eléctrica se transforme en otro tipo de energía para que funcionen.

En otros casos se necesita transformar y es considerada como energía secundaria, por ejemplo en los siguientes casos:

En la iluminación no se usa directamente: en el foco incandescente la energía eléctrica necesita incrementar la energía térmica de este para elevar la temperatura del filamento; entonces al estar a una temperatura suficientemente alta los cuerpos emiten luz y esta energía lumínica que es la que requerimos.

En la licuadora, la energía eléctrica necesita convertirse en energía mecánica para moler los alimentos.



**FIGURA 1.9:** Energía primaria, secundaria y útil (o final).

### 1.1.4 Energía renovable y energía no renovable

Se habla de fuentes de energía, ¿pero qué es una fuente de energía o a qué se le considera una fuente de energía?

La palabra fuente significa el origen o causa de algo; por lo tanto una fuente de energía quiere decir la energía proveniente u originada de alguna parte. En nuestro planeta la energía se manifiesta y está presente en muchas formas (las cuales radican en las fuentes de energía) si estas formas de energía las podemos captar o extraer en grandes cantidades de nuestro entorno<sup>22</sup> las llamamos fuentes de energía. De las fuentes de energía podemos obtener energía útil, la cual se usa para realizar algún trabajo, cambio de estado de alguna sustancia o cualquier cambio requerido por nosotros. Notemos que no se ha considerado como fuente de energía aquella que se pueda obtener de manera menos extensa a consecuencia de que como se ha visto, toda la materia posee energía.

<sup>22</sup> Excluyendo la energía proveniente de los alimentos y empleada en la fuerza motriz de los seres vivos.

El otro criterio de clasificación de la energía es dependiendo de su relativa disponibilidad en nuestro planeta.

La energía se clasifica, igual como se hace con los recursos naturales, ver sección 3.1; tenemos dos tipos que son energía renovable y energía no renovable.

**Energía renovable.** Es aquella que se puede aprovechar ilimitadamente, permaneciendo inalterable en cuanto a su cantidad<sup>23</sup>, casos de esta, son la energía del Sol, del viento, del interior de la Tierra y el movimiento del agua. Así también lo es, la que con un buen empleo, se puede ir regenerando a medida que se emplee, entre ellas encontramos la bioenergía, la cual parte de lo que se conoce como biomasa<sup>24</sup>. Ejemplos de biomasa son: la leña, el bagazo de la caña, el carbón vegetal y cualquier compuesto orgánico que pueda ser aprovechado para obtener energía.

**Energía no renovable.** Es aquella fuente de energía o energía primaria que no se regenera en un lapso de tiempo relativamente corto. Una vez usada no se puede volver a utilizar o tardaría millones de años en volverse a emplear.

La energía no renovable, se divide en dos grupos. Los combustibles fósiles y los materiales radiactivos. Las fuentes no renovables extraídas en la actualidad son: el petróleo, el gas natural, el carbón mineral y el uranio<sup>25</sup>. A continuación se da una descripción de estas fuentes de energía.

**Combustibles fósiles,** los combustibles fósiles son el producto de la transformación, mediante procesos naturales que se dieron bajo ciertas condiciones de temperatura y presión debajo del suelo descomponiendo la materia orgánica, este proceso se dio durante millones de años. Estos combustibles fósiles tienen composiciones variables de carbono e hidrógeno por eso son llamados también hidrocarbu-

---

<sup>23</sup> En realidad ninguna fuente de energía es inagotable, sin embargo pueden estar presentes en una cantidad suficientemente grande como para no notar un cambio apreciable.

<sup>24</sup> Como se ha mencionado anteriormente la energía proveniente de los materiales orgánicos no se manifiesta como en las otras fuentes, sin embargo cuando se manifiesta a esta fuente de energía se le conoce como bioenergía, agregándose el prefijo bio al término energía.

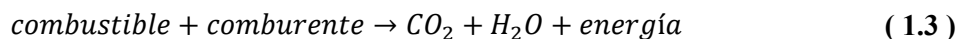
<sup>25</sup> Sin embargo no son las únicas fuentes, en el fondo del océano se encuentran depósitos de una sustancia llamada hidrato de metano (como veremos más adelante el metano es el principal componente del gas natural), un compuesto donde el metano queda atrapado en las cavidades de la estructura molecular de agua en estado sólido (hielo). Se estima que hay alrededor de  $1.5 \times 10^{13}$  toneladas de hidrato de metano en el fondo marino, este gas tal vez duplique el de todas las reservas probadas de combustibles fósiles (4).

ros. Hoy se pueden extraer de la corteza terrestre; en el mundo son las fuentes más empleadas por su alto contenido energético. El petróleo es el energético más utilizado en la actualidad, siguiendo en orden: el gas natural y el carbón mineral. En la TABLA 1.1 se enlista el contenido energético de estos. La energía que liberan los combustibles fósiles es variable y dependen de su composición, pero está ligada en función de su relación carbono/hidrógeno.

**TABLA 1.1:** Energía en los combustibles fósiles.

Sustancia	Energía liberada [KJ/g]
Carbón	29-37
Petróleo crudo	43
Gas natural	50

La reacción química, simplificada, que se lleva a cabo en el proceso de obtener energía de estos combustibles fósiles es la ecuación ( 1.3 ), esta expresión es la del proceso de combustión, llevada a cabo también por los organismos vivos en la respiración.



El combustible es el elemento que reacciona (en este caso los combustibles fósiles) con el oxígeno (el comburente) para llevarse a cabo la combustión. Como lo muestra la ecuación a partir de la reacción se libera energía que se transfiere porque existe una diferencia de temperatura<sup>26</sup> (esto como consecuencia de que la reacción química es exotérmica) y dióxido de carbono, uno de los gases contribuyentes del efecto invernadero.

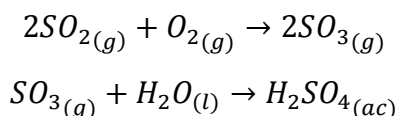
*El petróleo*, es un combustible líquido. Los principales componentes del petróleo son: nitrógeno N, oxígeno O y azufre S. En el petróleo están presentes gases, como el gas natural. El petróleo se somete a un proceso de transformación en refinerías para obtener nuevos compuestos de los cuales al llevarse la combustión de estos producen compuestos dañinos para el medio ambiente, ver Capítulo 3.

---

<sup>26</sup> Esto es el calor.

*El gas natural*, es el nombre que se le ha dado, a los tipos de gases que se formaron en el subsuelo. Normalmente se encuentra asociado con el petróleo y el carbón; su principal componente es el metano ( $\text{CH}_4$ ). El gas natural al quemarse libera menor cantidad de contaminantes y libera mayor energía que otros combustibles fósiles.

*El carbón mineral*, formado principalmente por carbono, se formó a partir de la descomposición de materia orgánica, al igual que el petróleo y el gas natural. Sus principales componentes son: carbono, oxígeno, nitrógeno y azufre. Es un combustible sólido. Su combustión también libera contaminantes para la atmósfera como dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) que reacciona con el agua y el oxígeno formando ácido sulfúrico con lo que contribuye con la lluvia ácida.



**Materiales radiactivos** El principal mineral que se usa en la actualidad para la producción de energía eléctrica es el uranio, un material radiactivo. Los átomos por los que están constituidos son inestables y, mediante un proceso de desintegración, los núcleos se dividen en fragmentos, habiendo pérdida de masa que se transforma en energía según la ecuación  $E = mc^2$ , ver FIGURA 1.4.

En resumen el término energía dispone de diferentes acepciones todo depende del contexto en el que se hable ver el siguiente mapa sinóptico:

## 1.2 Beneficios de la energía eléctrica

La importancia de la energía eléctrica está en que, actualmente, es imprescindible, para la humanidad. El uso de la energía eléctrica ha modificado en gran medida nuestra forma de vivir y ha propiciado grandes avances científicos.





Hoy en día para realizar cualquier actividad, de una u otra forma la energía eléctrica está implicada. Es primordial el uso de esta energía en la industria; muchos procesos de fabricación requieren la automatización y producción a gran escala y esto se lleva a cabo por medio de la energía eléctrica.

Antes del uso de la energía eléctrica en el hogar, para iluminar se empleaban velas, ahora utilizamos lámparas fluorescentes o focos incandescentes, haciendo posible realizar actividades durante la noche; que de otra forma no podríamos realizar o sería más difícil si no hubiese iluminación. En la actualidad disponemos de la energía eléctrica de manera continua, por lo cual es una de las formas de energías más importantes con las que contamos. Además se puede transportar de un lugar a otro con mayor facilidad que otros tipos de energía, lo que resulta una gran ventaja. Para los sistemas de comunicación existentes es necesaria la energía eléctrica. La televisión, un medio de comunicación masivo, no sería posible sin la energía eléctrica. Los otros medios de comunicación, casi todos ellos, emplean las ondas electromagnéticas para transmitir un mensaje y las personas lo reciben mediante algún dispositivo electrónico, en donde por supuesto es necesaria la energía eléctrica. En el Capítulo 4 se trata sobre el tema de la energía eléctrica en nuestro país.

Lo anterior no sería posible si no contáramos con la energía eléctrica. Podemos imaginar muchísimas cosas que se llevan a cabo con el uso de la energía eléctrica. Por eso y al igual que otras cosas, le debemos dar la importancia que tiene y un buen empleo.

## 1.3 Principio de conversión de un tipo de energía en energía eléctrica

Como muchos experimentos lo han comprobado la energía del universo se mantiene constante; **la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma**<sup>27</sup>. Este es uno de los principios fundamentales de la ciencia.

En las siguientes secciones se mencionan los tipos de energía que se pueden transformar en energía eléctrica directamente.

### 1.3.1 Conversión de energía química en energía eléctrica

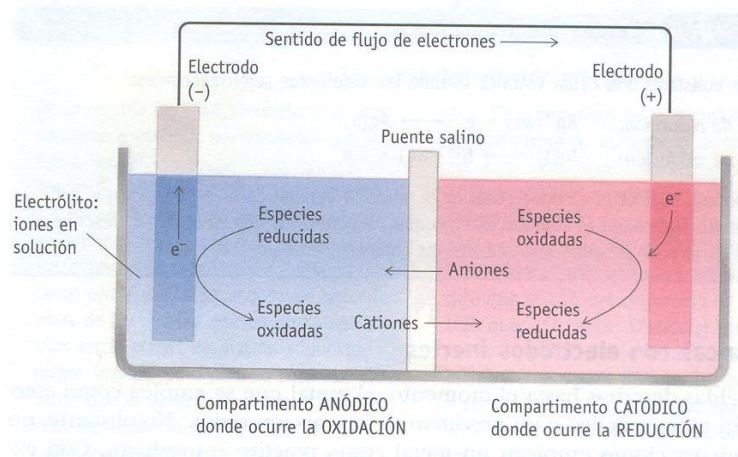
La transformación de energía química en energía eléctrica se basa en una reacción química donde hay transferencia de electrones entre las sustancias participantes en la reacción. Como se mencionó en la sección 1.1.2 página 11. La química tiene que ver con la transformación de los elementos o compuestos, en donde las reacciones se llevan a cabo por la formación y/o ruptura de los enlaces que los conforman. En las reacciones de transferencia de electrones mejor conocidas como reacciones redox (reacciones de oxidación y reducción) hay un reductor que cede electrones y un oxidante que los recibe.

Como muchos sabemos todos los metales son buenos conductores de electricidad, pero no todos los materiales en estado sólidos conducen la electricidad, también disoluciones acuosas llamadas electrolitos permiten el movimiento de portadores con carga eléctrica, e incluso no todos los plásticos son malos conductores de electricidad por ejemplo el poliacetileno debido a su configuración permite el flujo de carga eléctrica. Sin embargo aunque haya elementos que conduzcan la electricidad entre ellos, no pueden por el simple hecho de

---

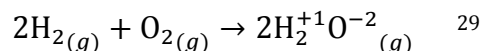
<sup>27</sup> El principio general abarca la masa y es el principio de *conservación de la masa y la energía*.

juntarlos generar energía eléctrica<sup>28</sup>, empero si interaccionan dos elementos o compuestos y reaccionan químicamente ocurriendo una reacción redox, se libera la energía química; entonces en estos elementos hay transporte de electrones, y si se forma un circuito eléctrico se puede aprovechar el transporte de la carga y obtener así energía eléctrica (FIGURA 1.10).



**FIGURA 1.10:** Celda voltaica, (4).

Una reacción de oxidación reducción para la formación de un compuesto muy importante es:



En esta expresión la molécula de hidrógeno se oxida y la molécula de oxígeno se reduce, en otras palabras la molécula de hidrógeno y oxígeno comparten dos electrones, formándose un enlace covalente. Esta es la reacción que ocurre en las celdas de combustible. Expresiones químicas que resume esto, se muestran a continuación:

Las reacciones oxido reducción  $X + Y \rightarrow X^{n+} + Y^{n-}$  pueden dividirse en dos partes:

- $X \rightarrow X^{n+} + ne^-$ : X es oxidado, y pierde n electrones (tomados por Y) para formar  $X^{n+}$ . X es el agente reductor en este proceso.
- $Y + ne^- \rightarrow Y^{n-}$ : Y es reducido, y gana n electrones (aportados por X) para formar  $Y^{n-}$ . Y es el agente oxidante en este proceso.

<sup>28</sup> Esto si las terminales en donde se unen los metales están a la misma temperatura, de lo contrario dos metales diferentes a distintas temperaturas generarán una diferencia de potencial entre sus terminales, como se describe más adelante, sección 1.3.4.

<sup>29</sup> Los superíndices en los productos de la reacción química, son sus números de oxidación, los cuales son la cantidad de electrones que pierde un elemento al combinarse y formar un compuesto.

### 1.3.2 Conversión de energía mecánica en energía eléctrica

Como vimos en las definiciones de los tipos de energía, la energía eléctrica, forma parte de la energía electromagnética, ver página 8. Al haber carga moviéndose, esta genera un campo eléctrico  $\vec{E}(t)$  variable, lo que da lugar a la presencia de un campo magnético  $\vec{B}$ , de igual modo al variar un campo magnético  $\vec{B}(t)$  en una región se produce un campo eléctrico  $\vec{E}$  (ver FIGURA 1.11 y FIGURA 1.12).

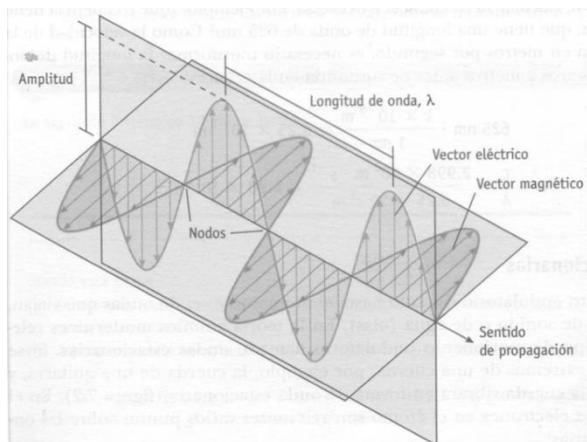


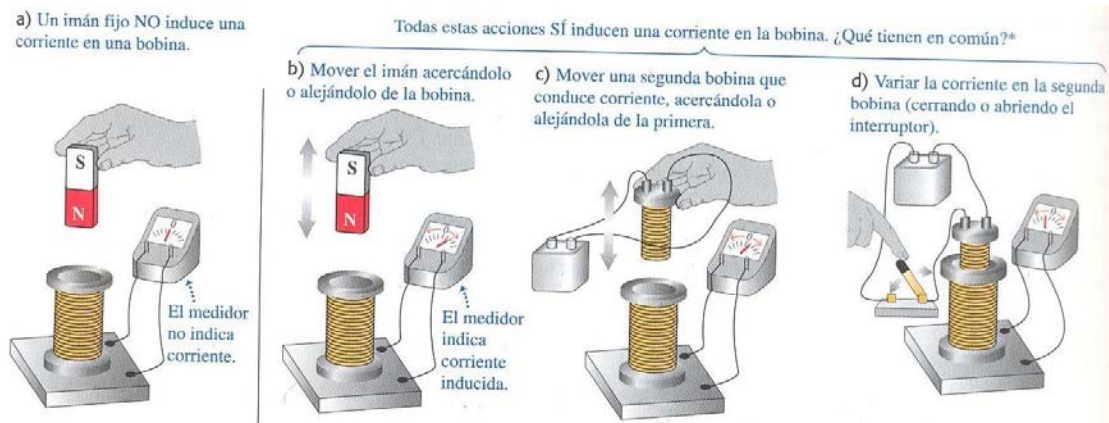
FIGURA 1.11: Propagación de una onda electromagnética, (4).

Para que en presencia de un campo eléctrico la carga eléctrica pueda fluir, se necesita un medio en el que pueda viajar; un buen medio es un conductor eléctrico, por presentar poca oposición al flujo de carga<sup>30</sup>. En la presencia de un campo eléctrico en un conductor, hay un flujo de carga eléctrica ( $\frac{dq}{dt} = i$ ). Por consiguiente, si movemos un imán y a su alrededor hay un conductor eléctrico, habrá un campo eléctrico presente en la región ( $\frac{d\phi}{dt} = v$ )<sup>31</sup>, lo que provocará un movimiento de carga en el conductor, ver FIGURA 1.12.

Para llegar a esto, tuvo que estar en movimiento el imán, lo que requirió de la energía cinética de este elemento; cuanto más rápido sea el cambio del campo magnético, más intenso será el campo eléctrico.

<sup>30</sup> La estructura de los metales permite que los electrones que se encuentran en la capa más externa del núcleo de sus átomos no estén totalmente ligados a este, permitiendo un movimiento aleatorio por el metal, estos electrones se conocen como electrones libres.

<sup>31</sup> La variable  $\phi$  nombrada flujo magnético es el campo magnético que atraviesa una superficie donde la componente de campo tiene que ser perpendicular a la superficie.



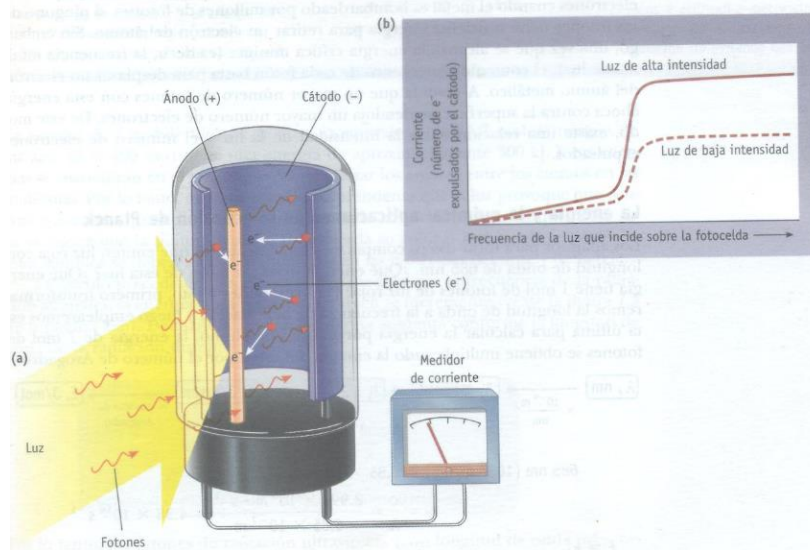
**FIGURA 1.12:** Conversión de energía mecánica en energía eléctrica, (3).

Otra forma de convertir la energía mecánica en energía eléctrica es a través de ciertos materiales, en los que al aplicar una presión sobre ellos se genera una diferencia de potencial, estos materiales son llamados piezo-eléctricos.

### 1.3.3 Conversión de energía lumínica en energía eléctrica

La luz es energía y está compuesta por partículas llamadas fotones, estos fotones de acuerdo con la explicación actual son paquetes de energía. La conversión de la energía lumínica en energía eléctrica, se lleva a cabo cuando la luz incide sobre una superficie haciendo que los electrones escapen de ella. Los electrones obtienen energía suficiente para escapar de los iones positivos del material de la superficie. Para que esto pueda suceder dependen varios factores uno es el material utilizado en donde incidirá la luz, la frecuencia de la luz y su intensidad. Al incidir la luz con cierta frecuencia e intensidad sobre una superficie, esta emite electrones provocando que haya flujo de carga eléctrica (corriente eléctrica,  $i$ ), ver FIGURA 1.13.

Para el aprovechamiento de la energía lumínica proveniente del Sol, la tecnología que se emplea son las celdas fotovoltaicas, construidas de materiales semiconductores en donde la energía lumínica provoca el movimiento de electrones y por consiguiente de huecos (iones positivos del material) aumentando la diferencia de potencial entre las uniones de dos materiales semiconductores que se han dopado (se le han agregado pequeñísimas impurezas al material).



**FIGURA 1.13:** Efecto fotoeléctrica, (4).

La energía lumínica al igual que la energía térmica provoca en la superficie de los materiales la emisión de electrones facilitando que estos adquieran energía suficiente para escapar de los iones del material. En ambos casos este efecto produce el flujo de carga eléctrica, sin embargo en lo consistente con la energía lumínica esta no genera un diferencia de potencial en las celdas fotovoltaicas como el nombre lo indica, sino como se explicó en el párrafo anterior provoca el movimiento de electrones a través de la unión de dos materiales semiconductores, en donde por el tipo de unión se crea una diferencia de potencial, en este caso la energía lumínica entrega energía a los electrones de los materiales semiconductores para que pueda escapar de la capa de valencia generando electrones libres que se acomodan de tal manera que aumentan la diferencia de potencial generada en una región del material, ver FIGURA 1.17.

### 1.3.4 Conversión de energía térmica en energía eléctrica

La interacción que más conocemos entre un fenómeno eléctrico y térmico es el observado en el filamento de los focos, conocido como efecto Joule, en donde la energía eléctrica se transforma en energía térmica. No obstante no es el único fenómeno de interacción termoeléctrica existen otros efectos. A continuación se describen brevemente estos fenómenos.

**Efecto Joule**

Este fenómeno consiste en la transformación de energía eléctrica en energía térmica, en donde al circular la carga eléctrica por un material con cierta resistencia, la energía cinética de la carga se transformará en energía térmica por el choque continuo de estas partículas con los átomos del material.

**Efecto Seebeck**

Este fenómeno ocurre cuando dos metales homogéneos distintos, A y B se unen, y en sus uniones hay una diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ), se establece un flujo de carga eléctrica ( $i$ ), y si se abre el circuito se crea una diferencia de potencial ( $v$ ) (FIGURA 1.14). Algunos elementos que se usan para esta función se les denomina termopares, también el caso inverso se da, al haber una diferencia de potencial entre las uniones de los metales, se genera una diferencia de temperatura entre ellas.

**Efecto Peltier**

Es el caso inverso del efecto Seebeck en donde al haber corriente eléctrica al unir dos metales diferentes aparece una diferencia de temperatura entre las uniones de estos materiales.

**Efecto Thomson**

Cuando en un único metal existe un gradiente de temperatura y circula carga eléctrica el material libera o adquiere energía térmica.

Hemos visto los principios de conversión de un tipo de energía en energía eléctrica directamente, y como podremos ver más adelante, sección 1.6, si un tipo de energía pasa por varios procesos de transformación las “pérdidas” son mayores. Por esto se necesita tecnología que transforme un tipo de energía en otro, procurando evitar varios procesos para disminuir la transformación a otros tipos de energía que no aprovecharemos.

## 1.4 Dispositivos de transformación de energía eléctrica

En la actualidad existen muchos dispositivos de transformación de un tipo de energía en energía eléctrica, en el presente trabajo se menciona a grandes rasgos los principales dispositivos.

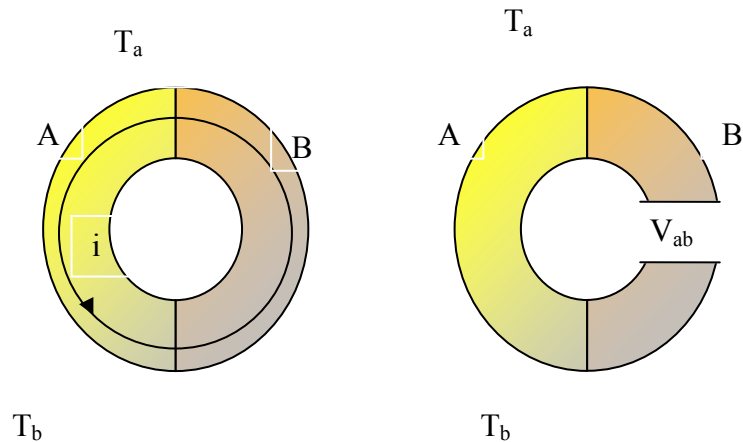


FIGURA 1.14: Efecto termoeléctrico.

### 1.4.1 Mecánica a eléctrica

#### Generador eléctrico

Una máquina eléctrica está conformada por una parte estática llamada estator y una parte móvil llamada rotor, independientemente del tipo de máquina, tiene que haber un dispositivo que la active, en el caso del generador eléctrico tiene que haber un dispositivo que haga girar al rotor. El dispositivo que se utiliza es la turbina, tal dispositivo está compuesto por una serie de hélices, por las cuales al pasar un fluido a través de ellas las hacen girar provocando un movimiento de rotación sobre su propio eje, la turbina (o primotor) se acopla a un generador eléctrico, entonces entre el rotor y el estator se generan campos eléctricos y campos magnéticos dando como resultado en las terminales del generador una diferencia de potencial (o “voltaje”)  $v(t)$  (FIGURA 1.15), la transformación se da como se explicó en la sección 1.3.2, ver también FIGURA 1.12.

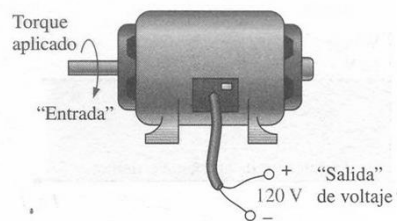


FIGURA 1.15: Generador eléctrico.



### **Materiales piezo-eléctricos**

Los materiales piezo-eléctricos son materiales que transforman la energía mecánica en energía eléctrica, el efecto inverso también se da, esto es, se puede transformar la energía eléctrica en energía mecánica. Los materiales piezo-eléctricos son algunos tipos de cristales naturales o sintéticos, que no tienen un centro de simetría en su estructura, entonces al aplicarles una tensión (o compresión) mecánica, el material se polariza<sup>32</sup> creándose una diferencia de potencial entre las caras donde se aplicaron las fuerzas que lo deformaron. También si a un material piezo-eléctrico se le aplica una tensión eléctrica, el material se deforma.

Algunos materiales piezo-eléctricos son las cerámicas como el Titanato de Bario y el Titanato Circonato de Plomo. Y entre sus aplicaciones, se usan en los sensores y transductores, en los sistemas de limpieza de ultrasonido, en filtros, en osciladores por citar algunos.

## **1.4.2 Química a eléctrica**

### **Celdas voltaicas y celdas de combustible**

Entre los dispositivos de transformación de energía eléctrica tenemos las celdas voltaicas (o pilas) que transforman su energía química, en energía eléctrica generando una diferencia de potencial de un valor constante  $v(t) = k$ , mediante una reacción de transferencia de electrones. También en las celdas de combustible se emplean la misma reacción de oxidación reducción, liberando la energía química de los productos para transformarla en energía eléctrica (FIGURA 1.16 y FIGURA 2.22).

## **1.4.3 Lumínica a eléctrica**

### **Celdas fotovoltaicas**

Las celdas fotovoltaicas, son dispositivos que están integrados por materiales semiconductores, captan la energía lumínica proveniente del Sol, si los fotones tienen energía suficiente para desprender electrones de los materiales semiconductores, generaran cargas libres que

---

<sup>32</sup> Ver página 4 pie de página 7.

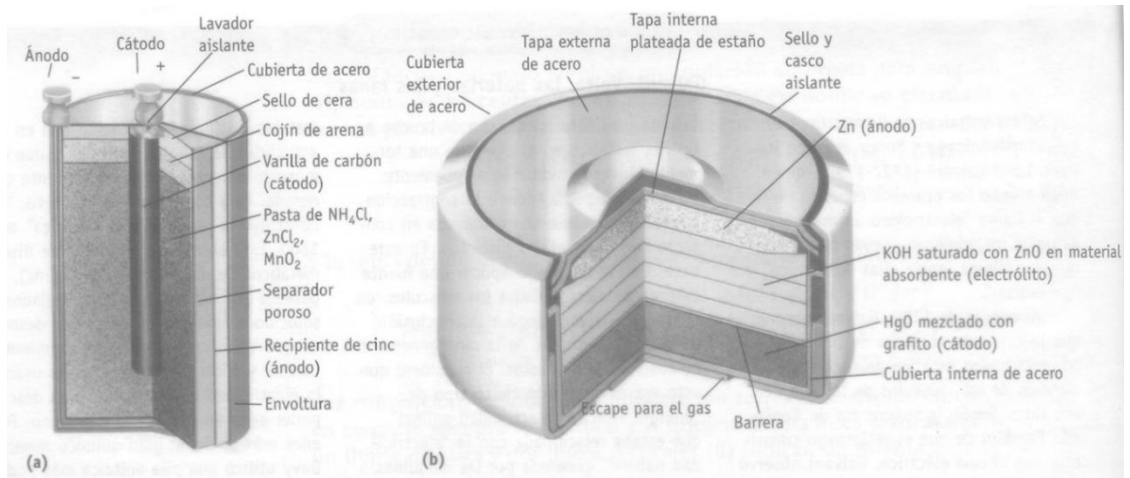


FIGURA 1.16: Celdas voltaicas o pilas, (4).

serán impulsadas por la diferencia de potencial creada por la unión de los materiales semiconductores (tipo p y tipo n). Debe observarse que la diferencia de potencial no es generada por la energía lumínica, sino por la unión del material; lo que hacen los fotones es generar electrones libres que se reacomodan en el material unido generándose huecos y la acumulación de carga negativa en cada uno de los materiales de la celda, incrementando de esta manera la diferencia de potencial en la celda “fotovoltaica”.

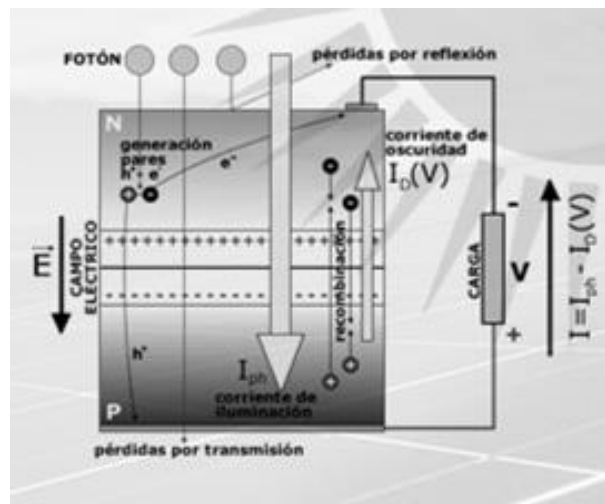


FIGURA 1.17: Composición básica de una celda fotoeléctrica, (5).

### 1.4.4 Térmica a eléctrica

#### Termopares

Son un par de metales diferentes, en sus uniones aparece una corriente eléctrica si en estas hay una diferencia de temperatura, los termopares son usados principalmente como sensores de temperatura pues permiten medir un rango amplio de temperaturas.

## 1.5 Centrales de generación eléctrica

Las centrales de generación eléctrica son instalaciones con tecnología y recursos tanto renovables como no renovables, para transformarlos en energía eléctrica. En esta parte conviene aclarar que el nombre dado no es con respecto a la energía que se transforma directamente en electricidad<sup>33</sup>, como hemos visto en la sección anterior sino del tipo de fuente de energía renovable que usan y de la energía secundaria que necesitan para transformarla en energía eléctrica.

Las centrales de generación eléctrica se pueden clasificar dependiendo de la forma de energía que utilicen. A continuación se da un listado de las centrales eléctricas(6).

**Termoeléctricas:** su funcionamiento se basa en la combustión de productos petrolíferos, de gas seco y de carbón para producir vapor de agua, el cual es convertido en energía eléctrica al ser expandido en una turbina.

**Hidroeléctricas:** su funcionamiento está basado en el principio de turbinas hidráulicas que rotan al impulso de un flujo de agua y mueven generadores eléctricos.

**Eoloeléctricas:** su funcionamiento se basa en el principio de aerogeneradores que se sirven del impulso del aire para generar electricidad.

**Geotermoeléctricas:** planta termoeléctrica convencional sin generador de vapor. La turbina aprovecha el potencial geotérmico almacenado en el subsuelo en forma de vapor de agua.

**Nucleoeléctricas:** en esencia es una termoeléctrica convencional, en la cual el vapor es producido por el calor generado a partir de la reacción nuclear de fisión, llevada a cabo dentro de un reactor nuclear.

---

<sup>33</sup> Que en la mayoría de los casos es la transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

El término convencional se refiere a que cuando la tecnología para extraer la energía, está bastante desarrollada y por lo cual la generación de energía contribuye en un gran porcentaje a la generación de energía en el mundo.

## 1.6 Eficiencia de los dispositivos de transformación de energía eléctrica

Como ya se mencionó, la energía no se crea ni se destruye sólo se transforma<sup>34</sup>, ¿entonces por qué se habla de pérdidas de energía? A lo que se quieren referir con pérdidas, es que en la transformación de un tipo o forma de energía en otro, la cantidad de la primera, en casi todos los casos, es mayor a la transformada  $E_{entrada} > E_{transformada}$ , esto no significa que haya pérdida de energía sino que la cantidad faltante se convirtió en otro tipo diferente de energía, que probablemente nosotros no percibimos; en la mayoría de los sistemas, este tipo de energía es energía térmica que puede ir acompañada de otros tipos de energía que en la mayoría de los casos no es aprovechada, y es esto a lo que se refiere la segunda ley de la termodinámica. En cuanto a la eficiencia la tercera ley de la termodinámica menciona que ninguna máquina puede transformar un tipo de energía en otro tipo al cien por ciento.

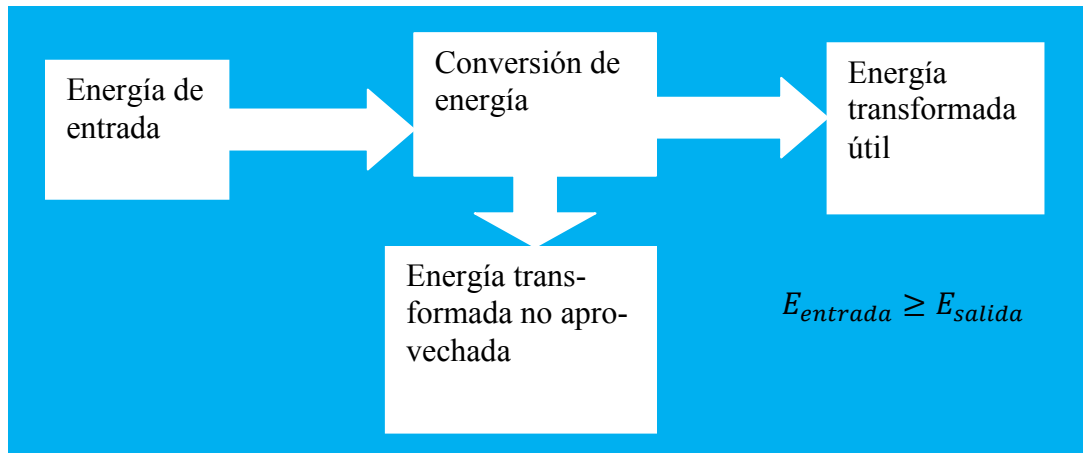
Para calcular la eficiencia de un dispositivo de transformación de un tipo de energía en otro la expresión utilizada es ( 1.4 ):

$$\eta\% = \frac{E_{transformada}}{E_{entrada}} \times 100\%, \quad \text{donde } E \text{ es la energía} \quad (1.4)$$

En la TABLA 1.2 se muestran sistemas que transforman un tipo de energía en otro mostrando la eficiencia de estos y en la TABLA 1.3 se muestra la eficiencia de tecnología empleada en las centrales de generación eléctrica.

---

<sup>34</sup> Una definición más amplia incluye la masa y la energía.



**FIGURA 1.18:** Procesos de transformación de energía.

En lo concerniente a la transformación de un tipo de energía en otro, se pueden jerarquizar los tipos de energía de acuerdo a la eficiencia inherente que presentan al transformarse, es decir, independientemente de la eficiencia del dispositivo que se use para su transformación. Esto, lo podemos entender si observamos los aspectos en que suceden los procesos naturales, por ejemplo: cuando un cuerpo de alta temperatura se pone en contacto con uno de baja temperatura, habrá transferencia de energía del cuerpo de alta temperatura al de baja temperatura, este proceso se da de forma natural y no ocurre al revés, no se transfiere energía de un cuerpo frío a un cuerpo caliente, para que esto suceda tiene que haber una fuerza externa para propiciar esto, de otra forma no se daría tal proceso; de igual forma si dejamos caer un objeto de cierta altura, este no regresará a su posición inicial al menos que adicionemos energía al objeto para subirlo; también al mezclarse dos gases, por ejemplo el

**TABLA 1.2:** Eficiencia de algunos sistemas de transformación de energía, (7).

<b>Sistemas de transformación</b>	<b>Eficiencia</b>
Locomotora de vapor	8%
Motor de combustión interna	20-25%
Cloroplastos (fotosíntesis)	30%
Turbinas hidroeléctricas	90%
Mitocondria (respiración)	50%
Celdas de combustible	60%
Calefacción de gas	70%

**TABLA 1.3:** Eficiencia de la tecnología en las centrales eléctricas.

Tecnología	Eficiencia
Turbina de vapor	33%
Nuclear	34%
Carboeléctrica	37%
Termoeléctrica convencional	39%
Turbogás	39%
Combustión interna	44%
Ciclo combinado	57%
Celda de combustible	60%
Celdas fotovoltaicas	15%
Concentradores solares	15%

oxígeno ( $O_2$ ) y el hidrógeno (H), al entrar en contacto de manera natural, las moléculas de ambos gases reaccionan y forman la molécula de agua ( $H_2O$ ), en cambio separar los componentes del agua no ocurre de manera natural, se necesita agregar energía a la molécula para que tal separación ocurra. A todo esto podemos decir que los procesos que ocurren de manera natural se les llama, procesos espontáneos. Un proceso espontáneo es aquel que ocurre sin ninguna intervención externa, sólo se debe a las condiciones del entorno, ocurre de forma natural. Si alguna vez hemos escuchado el término de entropía, este se refiere a: en los procesos espontáneos se da lugar a la dispersión de la materia y la energía. Dos ejemplos que se pueden citar acerca de esto último son<sup>35</sup>:

**Dispersión de la materia.** Veamos la FIGURA 1.19, al abrir la válvula que une a los matraces, las moléculas que se encuentran en el matraz A pueden desplazarse al azar y situarse tanto en los matraces A y B, o en sólo en alguno de los dos. Las dos moléculas pueden distribuirse de cuatro formas posibles, la probabilidad de que haya una molécula en cada matraz es del 50%, que se encuentren ambas moléculas en alguno de los matraces, sea A o B es del  $\left(\frac{1}{2}\right)^{2 \text{ partículas}} = 25\%$  (como lo muestra la FIGURA 1.19). Si se considera el mismo sistema pero ahora conformado por 10 moléculas, la probabilidad de que la diez moléculas se queden en el matraz A una vez abierta la válvula es del 0.09% y de que se distribuyan uniformemente (es decir 5 y 5 en cada matraz) es del 50%. En gene-

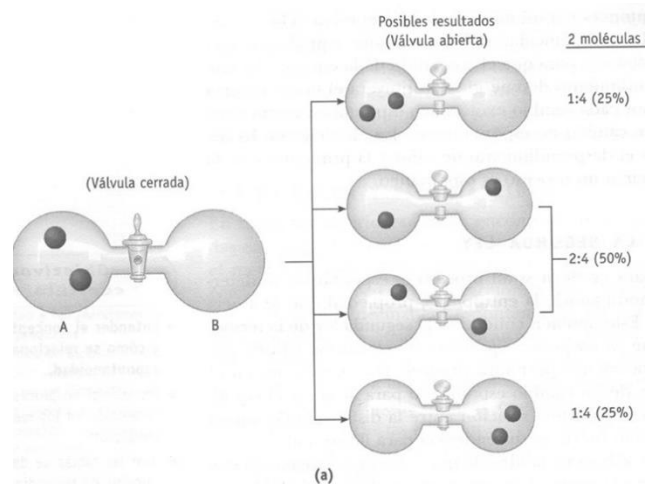
<sup>35</sup> Ver referencia (4).

ral la probabilidad de que  $n$  moléculas queden en solo alguno de los matraces es de  $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ , donde  $n$  es el número de moléculas. Si el matraz A contuviera una mol de un gas, la probabilidad de que todas las moléculas se encontraran dentro de él, al abrir la válvula sería de  $\left(\frac{1}{2}\right)^{6.022 \cdot 10^{23}} \cong 0$ . Por consecuencia, el escenario más probable en la distribución de las partículas, es que haya un número igual de moléculas en cada uno de los matraces.

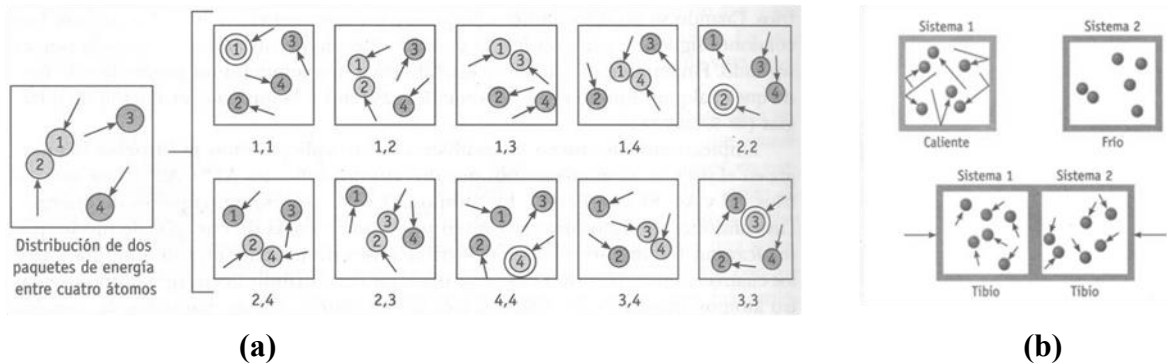
**Dispersión de la energía:** Consideremos un cuerpo alta temperatura y un cuerpo baja temperatura, ambos en contacto. En los cuerpos habrá un intercambio de energía, esta fluirá del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Si los cuerpos están constituidos por un gas y al ponerse en contacto —el movimiento aleatorio de cada partícula constituyente de cada cuerpo<sup>36</sup> chocarán cediendo energía cinética entre las partículas con las que interactúe— las partículas con mayor energía cinética chocaran contra las partículas de menor energía cinética transfiriéndose energía a estas últimas. Finalmente la transferencia de energía cesará cuando ambos cuerpos estabilicen su temperatura, de modo que cualquier muestra de gas que se tome una vez alcanzado el equilibrio termodinámico tendrá la misma distribución de energía. Ahora empleando la estadística, si tenemos dos moléculas  $A_1$  y  $A_2$  con mayor energía cinética con respecto a dos moléculas  $A_3$  y  $A_4$ . Las colisiones interatómicas permitirán una transferencia de energía entre las cuatro partículas, de modo que se alcanza todas las distribuciones de energía entre las cuatro partículas. En este ejemplo hay diez maneras de distribuir la energía entre las cuatro partículas. Sólo en tres de los casos, la energía queda en las partículas  $A_1$  y  $A_2$ , de las cuatro partículas presentes en los sistemas, hay una probabilidad del 70% de que parte de toda la energía se transfiera de  $A_1$  y  $A_2$  a  $A_3$  y  $A_4$  (ver FIGURA 1.20). En un conjunto más grande donde interaccionen mucho más partículas, la probabilidad de dispersión de energía aumenta cada vez más, lo que logrará que la energía se distribuya uniformemente.

---

<sup>36</sup> Ver definición de energía térmica sección 1.1.2.



**FIGURA 1.19:** Dispersión de la materia, (4).



**FIGURA 1.20:** Dispersión de la energía (a) formas en que se pueden distribuir la energía entre cuatro partículas, (b) transferencia de energía entre moléculas de gas, (4).

pía del universo aumenta. Esto quiere decir que los procesos naturales tienden a un mayor desorden.

A todo lo anterior, en lo mencionado al principio de la sección 1.1.2, los dos tipos de energía que engloba todos los demás son: la energía cinética y la energía potencial. Tanto la energía eléctrica como la energía mecánica, se describen concretamente como la suma de estas dos energías con su respectiva propiedad, masa o carga eléctrica, (en estos tipos de energía hay mayor orden), la energía térmica es energía cinética que se debe a un movimiento aleatorio de las partículas que conforman el cuerpo (hay un mayor desorden). Si se ordenan los distintos tipos de energía de acuerdo a la eficiencia que presentan en sus transformaciones a otro tipo de energía, esta jerarquización se relaciona con la entropía, sistemas con mayor orden o desorden. Por consiguiente podemos enlistar algunas formas de energía



de acuerdo a la eficiencia que tienen al transformarse de un tipo de energía a otro, en muchos casos esta graduación se llama, grados de nobleza termodinámica o grados termodinámicos<sup>37</sup>.

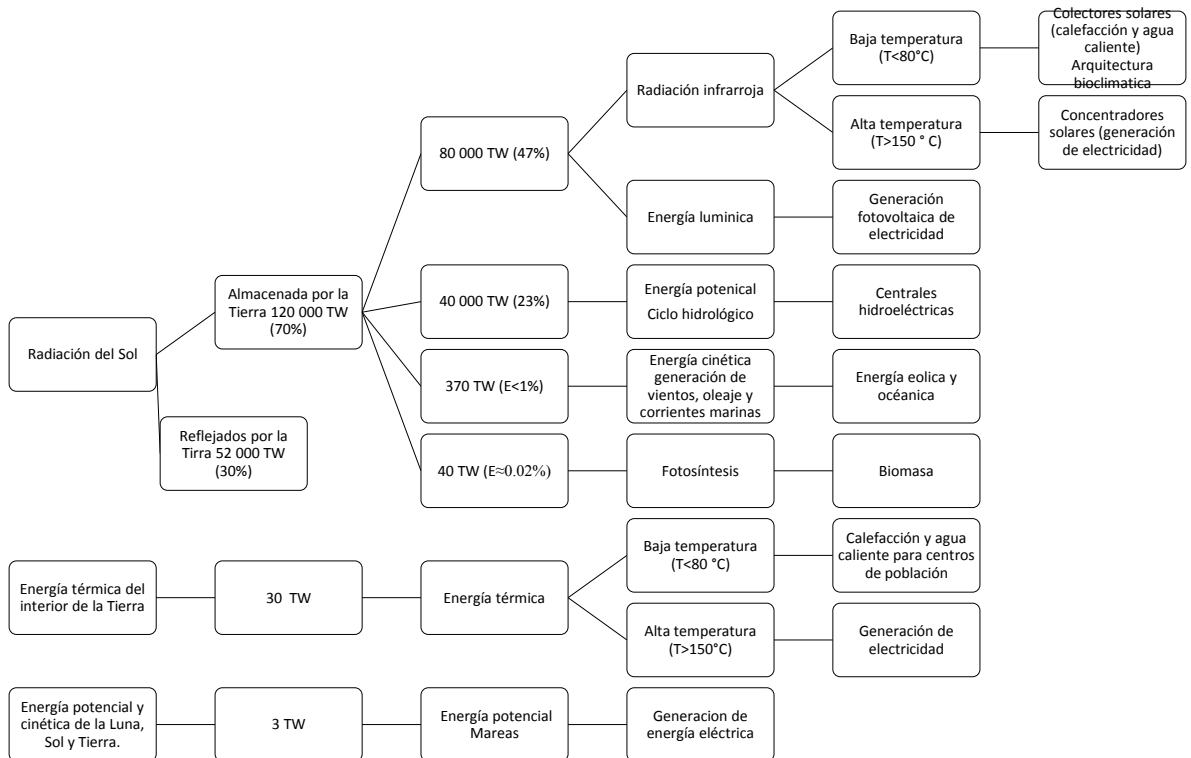
La energía eléctrica y mecánica se considera con altos grados termodinámicos, la energía química se considera un nivel intermedio en grados termodinámicos y la energía térmica se considera la de menor nivel de grado termodinámico. Esto indica en cierta forma, cuál será la eficiencia de transformar un tipo de energía en otro. Por ejemplo transformar energía mecánica en energía eléctrica se da con gran eficiencia ( $\eta_{\text{turbina}} = 90\%$ ) y a la inversa sucede lo mismo, transformar energía química en energía eléctrica también se da con elevada eficiencia ( $\eta_{\text{celda de combustible}} = 70\%$ ), en cambio transformar energía térmica en energía eléctrica independientemente del dispositivo que se utilice, las eficiencias son bajas ( $\eta_{\text{combustión interna}} = 44\%$ ).

---

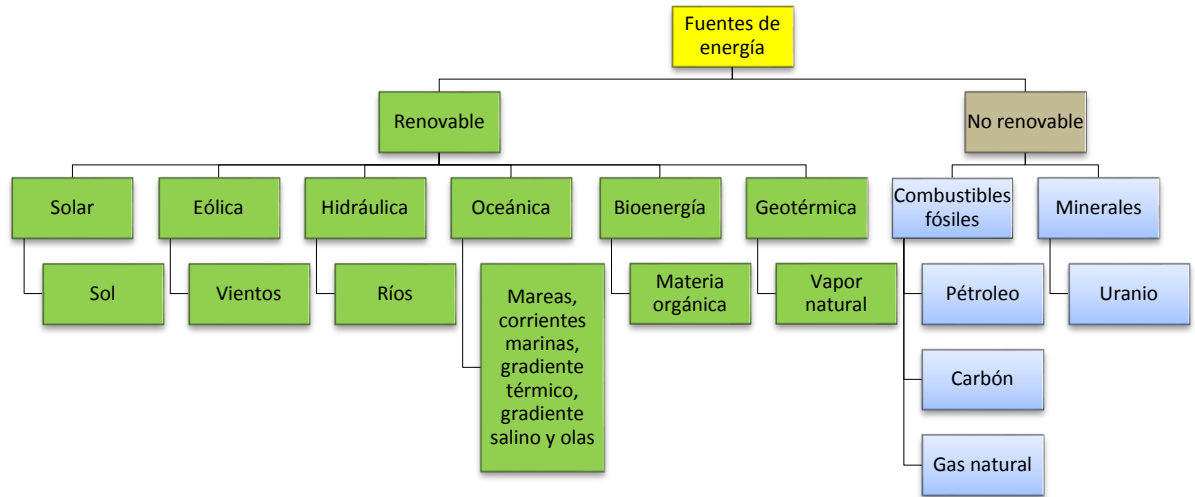
<sup>37</sup> Ver referencia (8).

# Capítulo 2 Fuentes de energía renovable

Desde hace mucho tiempo el humano ha venido utilizando la energía renovable para poder llevar a cabo sus actividades. Sólo que desde la revolución industrial comenzó a emplear con mayor frecuencia la energía no renovable en forma excesiva, debido al alto contenido energético que contiene y la manera en que puede disponer de ella de forma continua una vez que la ha extraído de la corteza terrestre y la ha almacenado. Dentro de las fuentes de energía renovable tenemos las siguientes: la energía solar, la energía eólica, la energía hidráulica, la energía oceánica, la biomasa y la energía geotérmica.



**FIGURA 2.1:** Flujos naturales de energía y obtención de las fuentes renovables, (8).



En las siguientes secciones se tratan estas fuentes de energía así como la ventaja y desventaja de la tecnología empleada para la generación de energía eléctrica. Aunque la energía eléctrica no es la única forma de energía que puede obtenerse de las fuentes renovables de energía, en la FIGURA 2.2 se muestran los tipos de energía obtenida directa e indirectamente de las fuentes de energía renovable. Debe considerarse que se hablará de ventajas y desventajas que tengan en común diversos tipos de tecnología, ya que tanto hablar de las ventajas y desventajas muy específicas se necesita considerar información como: el lugar donde se desea implementar cierta tecnología, condiciones del relieve, como de la población radicada ahí, al igual de los ecosistemas que habitan en él, si la energía va a ser utilizada en ese mismo lugar o tendrá que transmitirse etcétera, se tienen que considerar muchos aspectos, aquí se consideraran los más comunes.

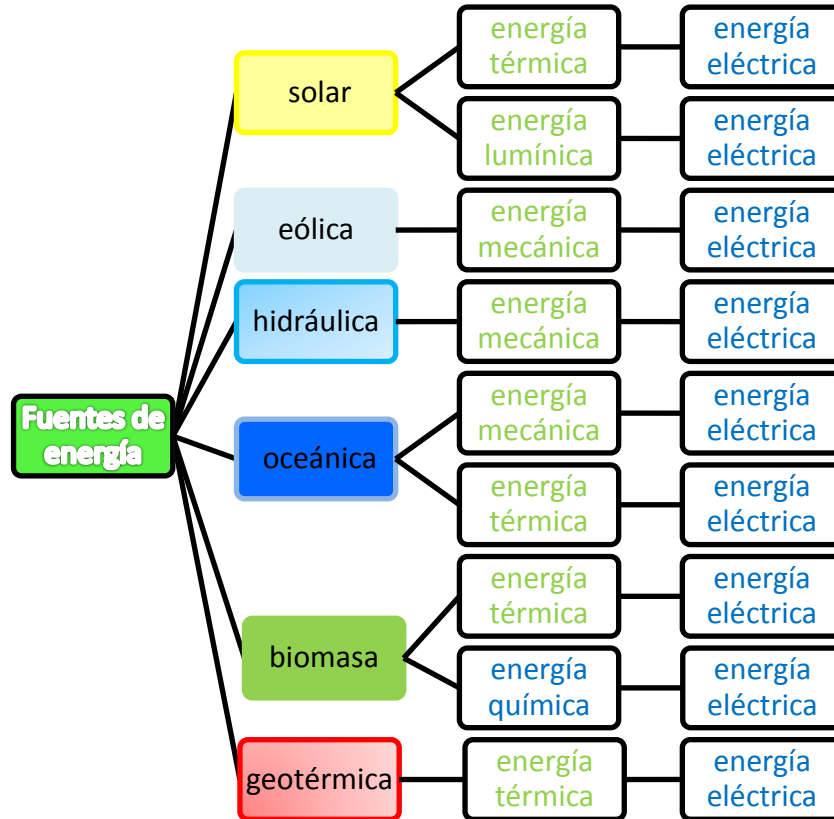


FIGURA 2.2: Fuentes de energía renovable y tipo de energía obtenida (energía primaria<sup>38</sup> y energía secundaria).

## 2.1 La energía solar

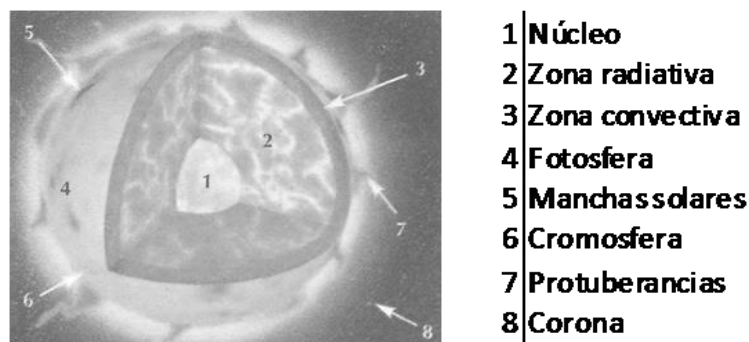
El Sol fuente “inagotable” de energía; su luz ilumina todos los días al planeta, independientemente si el cielo está cubierto de nubes. La energía del Sol junto con otros factores ayuda a mantener la temperatura de la Tierra, manteniendo la vida en nuestro planeta. ¿Que sería la vida sin aquella esfera de luz? Los océanos almacenan la energía proveniente del astro, las plantas la utilizan para realizar la fotosíntesis, algunos animales la usan para

<sup>38</sup> Con respecto a la biomasa podemos decir que en sí posee energía química, (sin embargo podemos decir que la energía química es energía latente y se manifiesta cuando ocurre una reacción, transformándose en otro tipo de energía o cambiando el nivel energético de las sustancias participantes. La energía química en la combustión ( 1.3 ) se libera y manifiesta incrementando su temperatura y transfiriendo energía al medio. Por otra parte se habla de la energía química como energía secundaria dado que se puede obtener biocombustibles a partir de la biomasa con mayor contenido energético, esto mediante un proceso de transformación, ver sección 2.5, y se libera la energía al igual que en la biomasa cuando entra en combustión para generar energía eléctrica.

mantener su temperatura corporal, con ella se lleva a cabo el ciclo hidrológico y un sinnúmero de fenómenos que ocurren a diario gracias a nuestro sol.

Casi todas las fuentes de energía renovable que conocemos provienen indirectamente de él, como lo son: la energía hidráulica, eólica, oceánica y la biomasa a excepción de la energía geotérmica que proviene del interior de nuestro planeta.

El Sol está compuesto por varias capas al igual que la Tierra, en la FIGURA 2.3 se muestran estas capas.



**FIGURA 2.3:** Capas del Sol.

El Sol transfiere energía a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas como la luz y radiación térmica (o calor). De la energía que se desprende del Sol sólo una pequeña parte llega a la Tierra, y de esta pequeña parte sólo una fracción mínima la aprovechamos nosotros, en el mundo hay una *capacidad* instalada de 100 GW por celdas fotovoltaicas y 2.5 GW por concentradores solares, cuyos costos de inversión son de 8 000 y 2 200 dólares por kilowatt generado respectivamente. En el Apéndice D se ve tanto el origen de la energía del Sol como la cantidad que intercepta la Tierra.

**TABLA 2.1:** Algunas cifras sobre el Sol.

masa	$1.99 \times 10^{30}$ [kg]
Radio	$6.96 \times 10^8$ [m]
distancia Tierra-Sol	$1.5 \times 10^{11}$ [m]
Superficie	$6.087 \times 10^{18}$ [m <sup>2</sup> ]

### 2.1.1 Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica

La tecnología actual que se emplea para la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar son: las celdas fotovoltaicas y los concentradores solares con una capa-

idad de generación en el mundo en el año 2012 de 100 GW y 2.5 GW respectivamente. Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la luz del Sol en energía eléctrica, los concentradores solares aprovechan la radiación del Sol para elevar a altas temperaturas un fluido que posteriormente produce energía mecánica para mover un generador eléctrico y así generar energía eléctrica. Estos dispositivos alcanzan eficiencias entre el 12% y 20%, para ver los datos técnicos relacionados con los distintos tipos de tecnología en el Apéndice C se muestran tablas que enlistan datos sobre esto.

Existen cuatro tipos de sistemas para la generación por concentración solar, estos son: canal parabólico, reflector de Fresnel, torre solar y disco solar.



FIGURA 2.4: Celdas fotoeléctricas, (5).

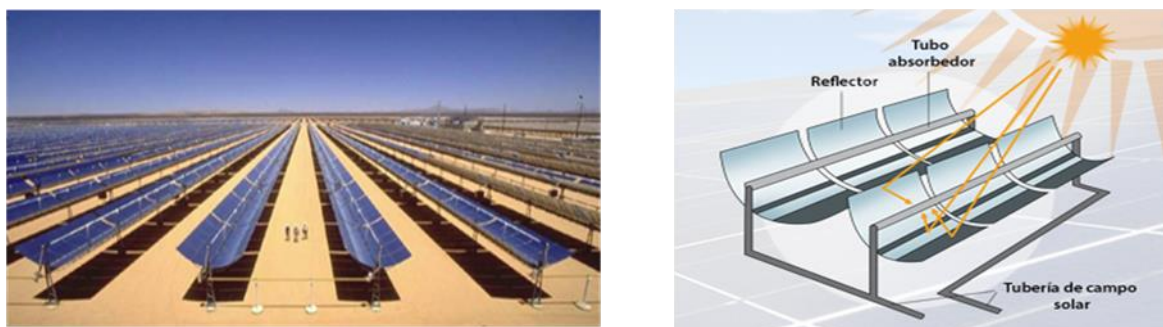


FIGURA 2.5: Concentradores solares, (17), (5).

En cuanto a los precios de las diferentes tecnologías en la TABLA C.4 del Apéndice C se muestra una tabla de estos.

## 2.1.2 Ventajas y desventajas

### Ventajas

1. Es nuestra principal fuente de energía en la Tierra.

2. Es una fuente de energía renovable.
3. Su aprovechamiento como fuente de energía puede ser directo.
4. Está disponible en todo el mundo.
5. En cuanto a la tecnología, los sistemas fotovoltaicos en condiciones de operación normales no emiten sustancias contaminantes al ambiente.

### **Desventajas con respecto a la tecnología usada para su captación o transformación**

1. La cantidad de energía requerida es intermitente, esto es la cantidad de energía depende de la época del año, la hora del día, las condiciones del estado del tiempo y el clima de la región. Esto indica que la cantidad de energía necesaria para el funcionamiento de los dispositivos de transformación no pueden funcionar si no cuentan con un mínimo de radiación solar o su captación se ve disminuida.
2. La producción de la tecnología tienen un impacto al ambiente (al igual que todas las fuentes de energía). La producción de la tecnología puede involucrar la generación de contaminantes durante su fabricación.
3. Se gasta una considerable cantidad de energía en la fabricación de los sistemas solares. Sin embargo esta cantidad en la actualidad es menor a la cantidad que transformarán dichos dispositivos.

## **2.2 La energía eólica**

La energía eólica es originada por el movimiento del aire, es energía cinética de una mezcla de gases que componen la atmósfera que al chocar con un cuerpo, puede desplazar a este cambiando su estado de movimiento original.

En la física clásica, aplicable a los cuerpos que se mueven a una velocidad mucho menor a la de la luz ( $v \ll 300\,000 \left[ \frac{\text{km}}{\text{s}} \right]$ ), la energía cinética de un cuerpo está definida por el primer término del lado derecho de la expresión ( 1.1 ):

$$E_v = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (\rho V) v^2$$

Donde  $m$  es la masa total del cuerpo,  $v$  es la velocidad con la que se mueve,  $\rho$  la densidad y  $V$  el volumen del aire.

### Origen de los vientos

Los vientos se originan por las diferencias de presiones presentes en la atmósfera, y estas variaciones se producen por las diferencias de temperatura.

Cuando en un cuerpo se incrementa la temperatura, por lo común disminuye su densidad (es decir la materia se expande ocupando mayor cantidad de espacio,  $\rho = \frac{m}{V}$ ), al ocurrir esto en los fluidos, el material menos denso asciende, sucediendo esto por una fuerza de flotación. Esta fuerza es causada por una diferencia de presión<sup>39</sup> entre las áreas de arriba y abajo del fluido, produciéndose una fuerza neta dirigida hacia arriba, y esta se equilibra con el peso del fluido. Esto sucede con el aire, al aumentar su temperatura su densidad disminuye y por consiguiente la presión, el aire menos denso asciende por encima del aire más denso. Pero ¿por qué hay estas variaciones de temperatura? Las variaciones de temperatura se deben a la energía que recibimos del Sol. La energía irradiada por el Sol (la transferencia de energía, “calor”, que se transmite en modo de radiación) es absorbida en su mayor parte por el suelo y las superficies de agua, aumentando su temperatura, aunque no al mismo ritmo. Al estar estas tres regiones a diferentes temperaturas (el suelo, el agua y el aire) hay transferencia de energía (“calor”) y en este caso se transfiere en modo de convección<sup>40</sup>, la cantidad de aire que está más cerca a la superficie aumenta su temperatura y a su vez asciende por encima de un volumen de aire más denso, originando el movimiento del fluido, al ir ascendiendo las masas de aire bajarán su temperatura al ir cediendo parte de su energía térmica y esto sucederá reiteradamente, provocando lo que conocemos como viento; los volúmenes de aire se mueven de regiones que están a una temperatura a regiones que están a otra tem-

---

<sup>39</sup> La presión es la fuerza que se ejerce en una superficie  $P = \frac{F}{A}$ . Y la presión causada por el peso de los fluidos en un cuerpo inmerso en él se obtiene por medio de esta expresión  $P = \frac{w}{A} = \rho gh$ , de donde por la diferencia de alturas entre la parte baja y alta de un cuerpo hay diferencia de presión, dando por resultado una fuerza neta.

$$F = P_2A - P_1A = \rho g(h_2 - h_1)A = \rho gV$$

El resultado anterior se enuncia como sigue: “*Un cuerpo parcial o totalmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza de flotación igual en magnitud al peso del volumen de fluido desplazado*”, lo anterior se conoce como el principio de Arquímedes y se formula como lo muestra la expresión siguiente:

$$F = mg = \rho gV$$

<sup>40</sup> El término convección se refiere a la transferencia de calor que ocurre entre una superficie y un fluido en movimiento cuando están a diferentes temperaturas.



peratura. Puede considerarse a la energía eólica como parte de la energía solar que se almacena en la atmósfera en forma de energía térmica donde la energía no está distribuida homogéneamente.

La potencia de la energía cinética del viento se determina de la siguiente forma:

$$P_v = \frac{E_v}{t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{t} = \frac{\frac{1}{2}(\rho V)v^2}{t} = \frac{V\rho v^2}{t} = \frac{lA\rho v^2}{t} = v\frac{A\rho v^2}{2} = \frac{1}{2}\rho Av^3$$

$$P_v = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2.1)$$

Donde A es el área que cruza el viento,  $\rho$  es la densidad del aire y  $v$  es la velocidad del viento.

### 2.2.1 Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica

La tecnología empleada para generar energía eléctrica a partir de la energía que poseen los vientos es el aerogenerador, el cual a partir del viento que golpea las hélices pone en movimiento una turbina, en el interior del dispositivo hay un generador eléctrico que es movido por la turbina, convirtiendo de esta forma la energía mecánica de las hélices en energía eléctrica, ver sección 1.3.2.

Existen diversos tipos de turbinas eólicas en la FIGURA 2.6 se puede ver varios de estos tipos. Dependiendo del tipo de energía en que vaya a transformarse la energía eólica se denomina al dispositivo, si es en energía mecánica se le llama molino eólico o turbina eólica y si es en energía eléctrica, generador eólico o aerogenerador. Las turbinas eólicas más comunes son las de eje horizontal y las de eje vertical.

De la energía cinética que tiene el viento, una turbina eólica puede aprovechar una fracción de esta, es decir:

$$P_t \approx P_v$$

$$P_t = C_p P_v \quad (2.2)$$

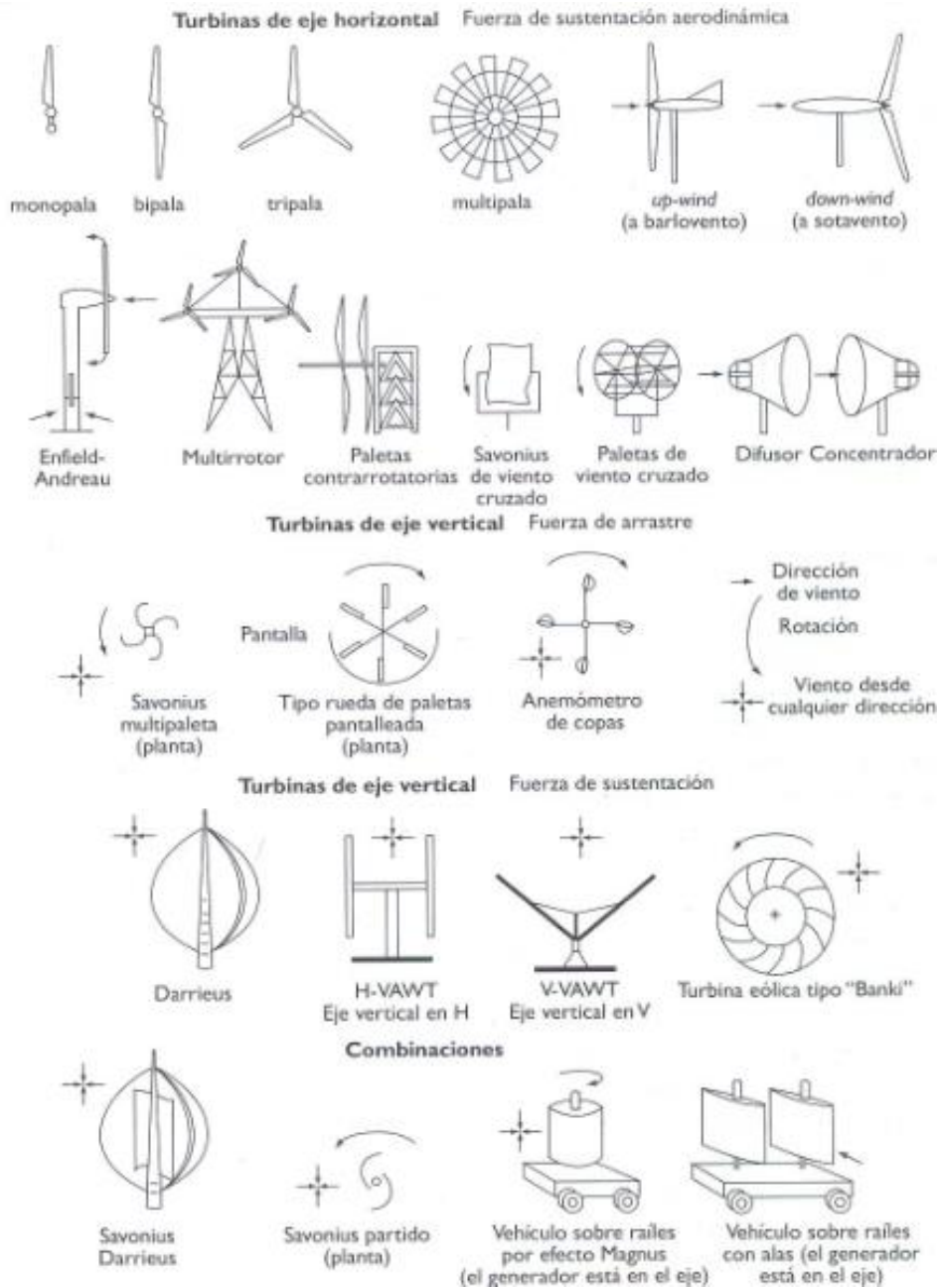


FIGURA 2.6: Tipos de turbinas eólicas, (8).

Donde  $P_v$  es la potencia del viento,  $P_t$  es la potencia de la energía cinética de la turbina y  $C_p$  es un coeficiente que indica la fracción de la potencia del viento que puede transformarse en energía eléctrica, denominado coeficiente de potencia. La energía total del viento en determinado tiempo, dependerá de intensidad del viento como de su duración. En los últimos años la tecnología de las turbinas eólicas han reducido sus costos haciéndose competitivas con las tecnologías convencionales, en zonas geográficas en donde la densidad de

potencia del viento y dirección permanecen más o menos constantes permiten una generación con *factores de planta* superiores al 20%.

La potencia eléctrica generada por un aerogenerador ( $P_e$ ) será menor que la potencia del viento ( $P_v$ ) esto como consecuencia de la transformación de un tipo de energía en otro, en el que intervienen, la eficiencia de la turbina eólica ( $\eta_t$ ) y la eficiencia del generador ( $\eta_G$ ).

Donde la potencia eléctrica a la salida intervienen las siguientes variables:

$$P_e = (C_p, \eta_G, \eta_t) \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Existen turbinas eólicas que van desde los 500 W a 7 MW, las turbinas de mayor tamaño son usadas principalmente en centrales eólicas marinas. El costo de inversión para la tecnología con turbinas eólicas es de 1700 dólares por kilowatt, en 2012 la capacidad instalada en el mundo era de 283 GW y la generación de energía de 1 560 PJ, con una participación del 1.96%, en la generación total de energía en el mundo.

### 2.2.2 Ventajas y desventajas

El uso de la tecnología empleada para el aprovechamiento de energía eólica tiene ventajas y desventajas a continuación se enumeran estas:

#### Ventajas

1. Es una fuente de energía renovable.
2. Su uso directo no implica la emisión de ningún contaminante.
3. En cuanto a la tecnología empleada
  - El costo en la instalación de los parques eólicos es estable. Los aerogeneradores pueden trabajar muchos años con un rendimiento apropiado, si se hace correctamente el mantenimiento.
  - La capacidad de generación se puede incrementar poniendo más turbinas, en otras palabras se puede ampliar en una determinada zona si lo permiten las condiciones del terreno y la necesidad de obtener mayor energía eléctrica.

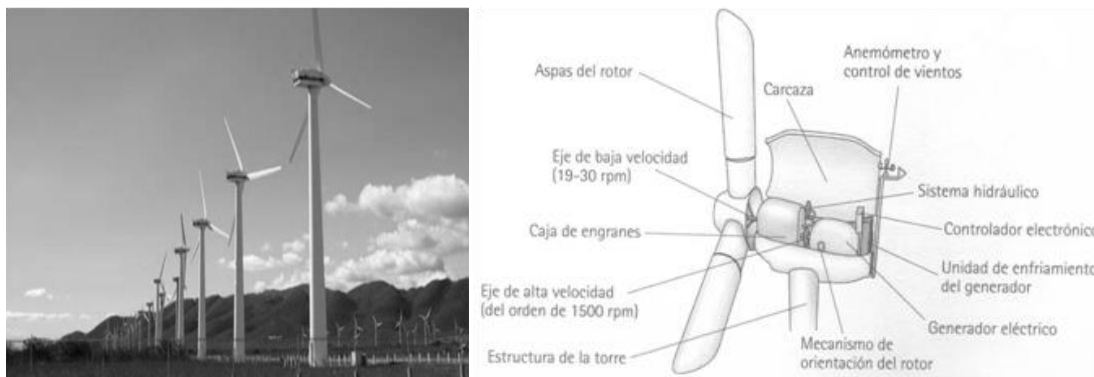


FIGURA 2.7: Turbinas eólicas, (21), (17).

### Desventajas con respecto a la tecnología

1. Los parques eólicos causan daños a las aves que colisionan con los aerogeneradores. Actualmente, se procura disponer de aerogeneradores de forma que no interfieran en las migraciones de las aves.
2. La inversión de los parques eólicos aunque es estable la inversión inicial es alta. Con la aplicación de nuevas tecnologías se están reduciendo estos costos.
3. La aplicación de esta tecnología requiere la ocupación de una gran extensión de terreno.
4. Otro efecto es el ruido que puedan provocar, los equipos mecánicos como las hélices y engranajes de las turbinas eólicas como también los componentes eléctricos como el rotor del generador eléctrico. Así también como las interferencias electromagnéticas causadas por la turbina.

## 2.3 La energía hidráulica

La energía hidráulica, es la energía debida a la caída de agua, de una altitud mayor a otra altitud menor (energía cinética de una masa ( $m$ ) de agua). El agua llega a puntos de mayor altitud debido al ciclo hidrológico<sup>41</sup> donde llega a las montañas y en ellas baja formando los ríos, esta energía cinética que posee el agua puede mover a otros cuerpos, pudiendo efectuar trabajo sobre ellos.

<sup>41</sup> Ver sección 3.2.1.

Recurriendo a la ecuación ( 1.1 ) y al principio de conservación de la energía y sin considerar disipación de la energía por la fricción y omitiendo las fuerzas elásticas, la cantidad de energía que posee el agua al estar por arriba de un punto de referencia, puede expresarse como sigue:

$$\frac{1}{2}mv_{final}^2 + mgy_{final} = \frac{1}{2}mv_{inicial}^2 + mgy_{inicial}$$

La expresión anterior nos indica que la energía potencial y cinética del agua puede cambiar pero no así la cantidad total de energía, pues esta se conserva, concordando con las condiciones especificadas.

Por ejemplo si la velocidad inicial del agua es cero y llega al punto de referencia en su posición final entonces la energía cinética y potencial del agua, al principio y al final es:

$$\frac{1}{2}mv_{final}^2 + mg(0)_{final} = \frac{1}{2}m(0)_{inicial}^2 + mgy_{inicial}$$

$$\frac{1}{2}mv_{final}^2 + 0 = 0 + mgy_{inicial}$$

$$\underbrace{\frac{1}{2}mv_{final}^2}_{\text{energía cinética}} = \underbrace{mgy_{inicial}}_{\text{energía potencial}}$$

Por lo tanto la energía potencial del agua se transformó en energía cinética.

La energía potencial del agua se puede obtener por medio de la expresión ( 2.3 ):

$$E_a = mgy = (\rho_a V)gy \quad (2.3)$$

Donde  $\rho_a$  es la densidad del agua y  $V$  su volumen, si dividimos esta expresión entre el tiempo obtendremos la potencia:

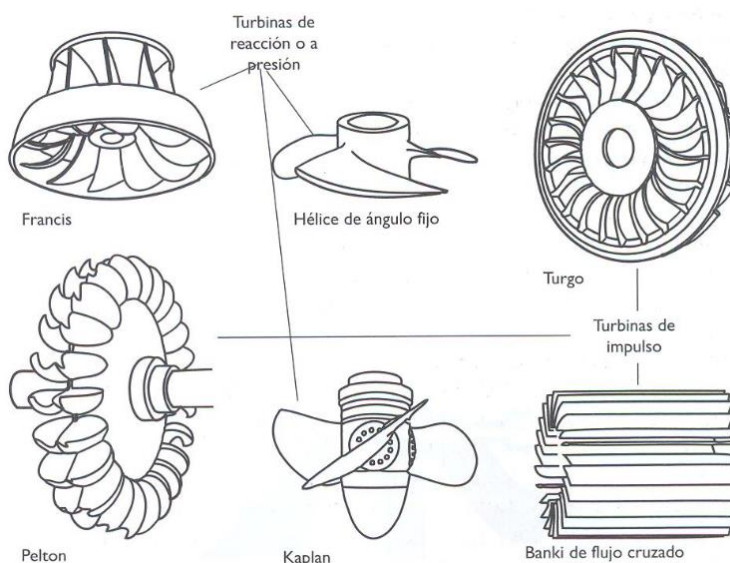
$$P_a = \frac{E_p}{t} = \frac{V}{t}\rho_a gy = Q\rho_a gy \quad (2.4)$$

Donde  $Q$  es la velocidad de las partículas del fluido, y es denominado caudal.

### 2.3.1 Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica

La tecnología empleada para la generación de energía eléctrica es como en muchos casos una turbina y un generador eléctrico. Las centrales hidroeléctricas son dentro de las

fuentes renovables de energía, las más usadas en el mundo para generar energía eléctrica, en 2012 la producción de energía por hidráulicas fue de 3 756 TWh (13.52 EJ) lo que constituyó el 2.4% de la producción total del mundo (563.59 EJ). Se puede aprovechar la energía hidráulica a través de la acumulación del agua mediante represas, la desviación del cauce del río a una zona con un gradiente de altura aprovechable y directamente del flujo natural del río. Las centrales hidroeléctricas suelen clasificarse de acuerdo a su capacidad de producción de energía, aquellas con una producción menor o igual a 5 MW son llamadas minihidráulicas, las de mayor producción a esa cantidad son las centrales hidroeléctricas convencionales. Por lo general las centrales hidráulicas constan de una presa que permite almacenar el agua, sin embargo también existen pequeñas centrales hidráulicas que no utilizan presa, llamadas “al hilo del agua”, que aprovechan a cada momento el caudal disponible del río. Las turbinas hidráulicas no sólo se usan para la generación de electricidad también se usan para maquinaria industrial; también se emplea tecnología como las ruedas hidráulicas y las bombas de ariete para el bombeo de agua y el molido de granos. Existen diferentes tipos de turbinas hidráulicas como lo muestra la FIGURA 2.8, se selecciona el tipo más adecuado dependiendo de las características del lugar como son: sitios de gran caída y bajo caudal, o de baja caída y gran caudal.



**FIGURA 2.8:** Tipo de rotores de turbinas hidráulicas, (8).

Otro criterio de clasificación de las centrales hidráulicas es por el salto efectivo de agua, están las de salto efectivo elevado, si  $y_{ef} > 100$  m, en este tipo de central se utiliza una turbina tipo Pelton, centrales de salto intermedio  $10 \text{ m} < y_{ef} < 100$  m y las centrales de salto bajo  $y_{ef} < 10$  m; para las centrales con salto de agua menores a 100 m se usan turbinas tipo Francis y Kaplan.

Por último, otro criterio de clasificación de las centrales hidroeléctricas es según las condiciones del emplazamiento y del tipo de presa existen: centrales de agua fluyente (o de canal de derivación), centrales de embalse (o de regulación) y centrales de bombeo.

Las centrales de agua fluyente: en este tipo de centrales una parte del cauce del río se desvía en uno o varios canales que después vuelven a encontrarse con el cauce en aguas abajo.

Centrales de embalse o de regulación: en este tipo de centrales se construye una presa en el cauce del río para almacenar el agua.

Centrales de bombeo: se llaman así a las centrales que durante las horas de baja demanda, utilizan la energía para el bombeo de agua mandando el agua hacia la parte superior del embalse. Esto se hace principalmente por los precios de la energía eléctrica

La capacidad instalada de las hidroeléctricas en el mundo, en 2012 fue de 990 GW y la producción anual de energía fue de 13.52 EJ (315.81 Mtep). Un valor promedio del costo de las centrales hidroeléctricas es de 2 100 dólares por kW.

### 2.3.2 Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas de las centrales hidroeléctricas se pueden mencionar las siguientes:

#### Ventajas

1. Es una fuente de energía renovable.
2. Su uso directo no implica ninguna emisión de algún contaminante a la atmósfera.
3. En cuanto a la tecnología usada para su aprovechamiento.
  - Las centrales hidroeléctricas ayudan a controlar y regular el caudal de los ríos, evitando de alguna manera las inundaciones.
  - Mejoramiento en las labores agrícolas (riego).
  - Las centrales hidroeléctricas tienen una gran vida útil.

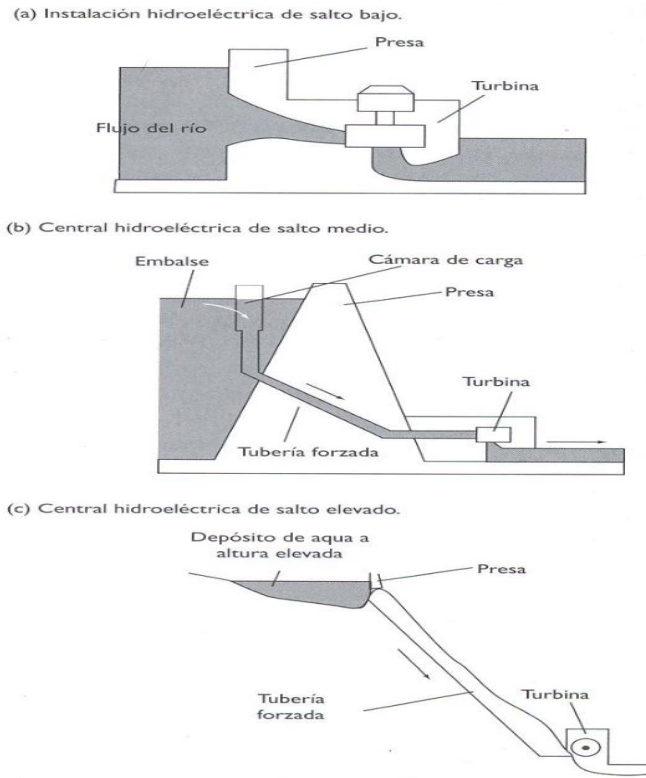


FIGURA 2.9: Tipos de centrales hidroeléctricas por salto de agua, (8).

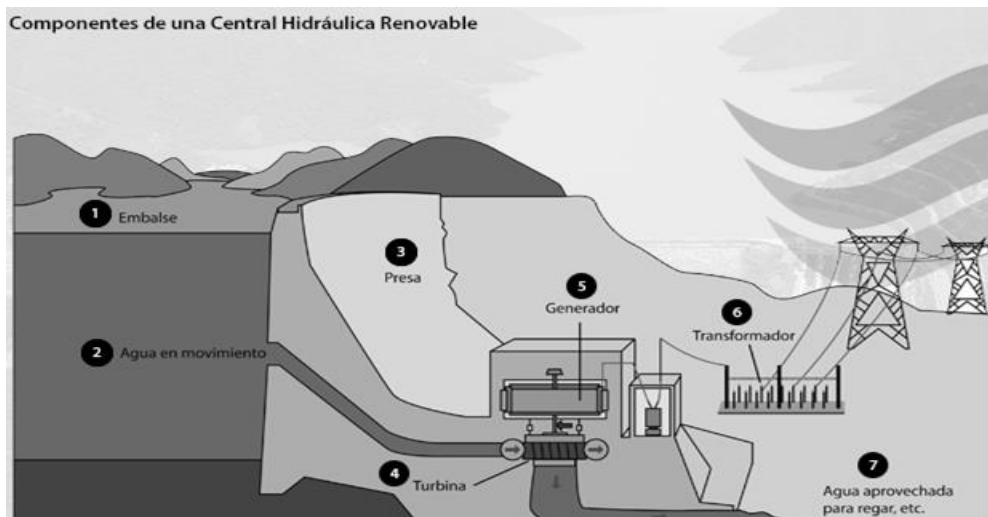


FIGURA 2.10: Grandes centrales hidroeléctricas, (5).



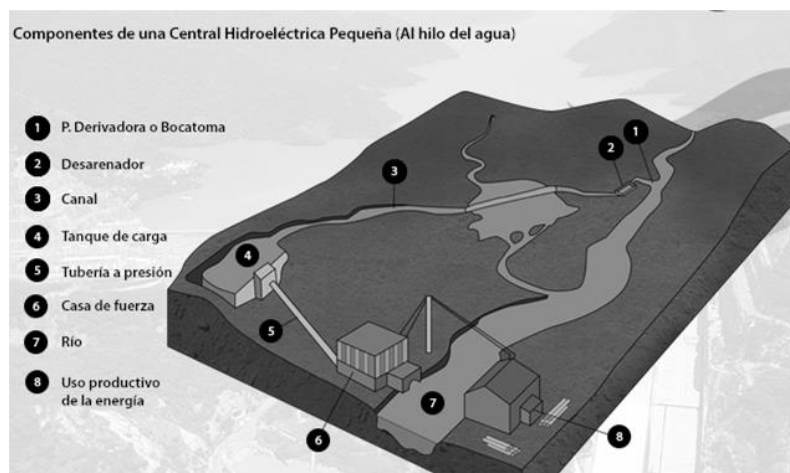


FIGURA 2.11: Pequeña central hidroeléctrica, (5).

### Desventajas en cuanto a la tecnología empleada

1. Pueden afectar zonas ecológicas y de poblaciones humanas. Esto porque parte de la cobertura vegetal y la fauna terrestre se pierden, dado que son cubiertas por el embalse. Al desviar un río se pierden los sedimentos que transportan nutrientes, los cuales son el alimento de los peces, también se impide el desarrollo natural de la vida porque una instalación afecta el flujo de agua en el río, la temperatura y la cantidad de oxígeno. Aunque las presas suelen tener una zona de salida natural para preservar la vida del río o lago.
2. La calidad del agua también resulta afectada de otras maneras. Existe la posibilidad de que la presa se rompa, con pérdidas económicas y daño a los habitantes de la zona.
3. Hay una disminución del caudal de los ríos y arroyos.
4. Hay una disminución en la capacidad del embalse provocado por los sedimentos depositados en este, y si los sedimentos son de origen orgánica se da la descomposición provocando la formación de metano un gas de efecto invernadero.
5. Se necesitan importantes obras de infraestructura, en el caso de grades presas.

## 2.4 La energía de los océanos

Los océanos almacenan energía que provienen de los rayos del Sol. El agua es uno de los compuestos con mayor capacidad calorífica específica, lo cual significa que para elevar

la temperatura se requiere mucha mayor energía que la requerida por otros elementos o compuestos y también para liberar esta cantidad de energía necesita mucho mayor tiempo que el de otras sustancias, es por esta razón que los océanos son reguladores de la temperatura en nuestro planeta. Además de actuar como un regulador térmico los océanos por su extensión se convierten en la fuente más importante de evaporación del agua, incorpora el H<sub>2</sub>O a la atmósfera y con ello contribuyen al ciclo hidrológico.

Las grandes masas de agua se mueven y este movimiento es ocasionado por: la atracción gravitacional de la Tierra, la Luna y el Sol, por el movimiento del viento, el movimiento de rotación de la Tierra, la diferencia de temperaturas, el movimiento de las placas tectónicas y la diferencia en la salinidad. Por los diferentes tipos de energía radicados en el mar se han desarrollado distintos tipos de tecnología para aprovecharla, las cuales se clasifican en: mareomotriz (subida y bajada de las mareas), undimotriz (movimiento de las olas), corrientes marinas, mareomotérmicas (diferencia de temperaturas entre la superficie y el fondo del mar) y gradiente salino (concentraciones de salinidad). El tipo de energía que se puede extraer de los océanos es energía térmica (con temperaturas de 25 °C en la superficie y 5 °C a profundidades de 1 km) y energía mecánica, las cuales pueden efectuar trabajo o cambiar el estado físico de un elemento.

### **2.4.1 Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica**

La tecnología empleada para obtener energía eléctrica a partir de la energía que poseen los océanos aun se está desarrollando pero enlistamos a continuación los tipos de tecnología que se emplean actualmente, así como una descripción de las fuentes de energía:

La energía de las mareas: es la energía potencial asociada con la subida y bajada periódica del nivel del agua (pleamar y bajamar) y es aprovechada mediante la construcción de presas en los litorales, las centrales mareomotrices funcionan gracias al flujo ascendente y descendente del agua. Los cambios de altura entre el pleamar y bajamar pueden variar entre 0.5 m y 15 m de altura (aunque esta diferencia de altura es determinada por la configuración de la costa y la profundidad del relieve submarino, en medio del océano el nivel del agua aumenta entre 2 m y 3 m, y en los litorales puede alcanzar alturas de 15 m, dependiendo, como se ha mencionado antes, de la configuración de la costa). El origen de las

mareas se debe principalmente a la atracción de cuerpos tan masivos como lo son la Luna, el Sol y la Tierra, aunque el mayor efecto lo ocasiona la Luna, por la expresión ( A.2 ), la fuerza que ejercen mutuamente estos cuerpos está relacionado con sus masas y la distancia entre ellos, otros efectos que intensifican los cambios de altura en el agua son la forma del lugar, por ejemplo en los estuarios que son accidentes geográficos en forma de embudo presentes en algunas costas, refuerzan el levantamiento del agua, y de igual forma las actividades sísmicas y volcánicas ocurridas en el océano. En general, las mareas se producen dos veces al día: dos pleamares (ascenso del nivel del agua) y dos bajamares (descenso del nivel del agua) en períodos de seis horas, otro efecto que ocurre cada 28 días depende de las posiciones de la Luna y el Sol con respecto a la Tierra, cuando la Luna y el Sol se encuentran alineados la atracción de estos cuerpos sobre la Tierra se intensifican produciéndose lo que se conoce como marea viva, y cuando el Sol y la Luna se encuentran en ángulo recto los efectos de atracción se contrarrestan produciéndose los que se conoce como marea muerta; durante los veintiocho días ocurren dos mareas muertas y dos mareas vivas.

$$F = G \frac{m_{Luna} M_{Tierra}}{d^2} = 6.673 \times 10^{-11} \frac{(7.35 \times 10^{22})(5.97 \times 10^{24})}{(380 \times 10^6)^2}$$

$$= 202.776 \times 10^{18} \text{ [N]}$$

Como podemos observar la Luna ejerce una gran fuerza sobre la Tierra, sin embargo esta fuerza sólo puede apreciarse en grandes extensiones de masa que pueden deformarse, en el caso de la Tierra son los océanos. En los materiales sólidos su efecto no es observable a simple vista puesto que su deformación no es notable y además la atracción que ejerce la Tierra sobre ellos es mucho mayor a la que ejerce la Luna, en el caso de los gases, como la atmósfera, estos son menos densos, es decir son menos masivos ocupando una misma determinada cantidad de volumen que un sólido o un líquido y por consiguiente no se nota algún efecto de la Luna sobre estos gases.

Las centrales mareomotrices (FIGURA 2.12) funcionan atrapando el flujo ascendente del agua, creado durante la marea alta y cuando baja la marea se crea un desnivel, obteniendo así energía potencial, que después se libera, dejando correr el agua por unas tuberías donde se encuentran las turbinas, la energía potencial se transforma en energía cinética y esta energía mueve las turbinas y genera electricidad. Para calcular la energía potencial del agua almacenada es por medio de la expresión ( 2.5 ):

$$E_m = \rho V g \bar{y} \quad (2.5)$$

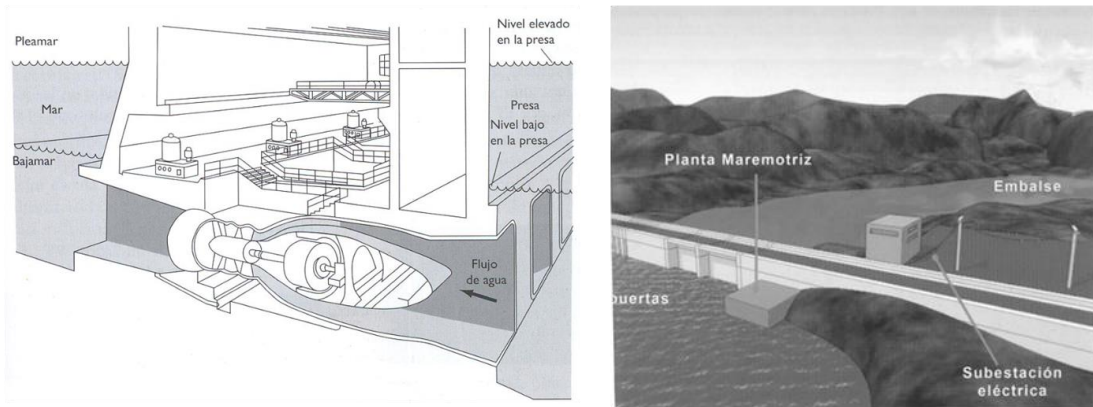
Donde  $\bar{y}$  es el valor promedio de la altura alcanzada por el agua dado que la altura de la presa va disminuyendo poco a poco, el valor de  $y$  cambia por lo que para obtener un cálculo próximo se emplea el valor medio de la altura, entonces la energía puede obtenerse con mayor exactitud con la siguiente expresión:

$$E_m = \rho V g \frac{y}{2}$$

Y la potencia máxima que puede obtenerse del embalse es por medio de la expresión ( 2.6 ):

$$P_m = \frac{E_m}{t} = \frac{\rho V g y}{2t} \quad (2.6)$$

Las centrales mareomotrices son rentables sólo en aquellos lugares en donde la estrechez de la costa es tal que permite un flujo ascendente del agua alcanzando por lo menos 5 m de altura y en donde la represa no suponga una construcción demasiado costosa.



**FIGURA 2.12:** Central mareomotriz, (8), (22).

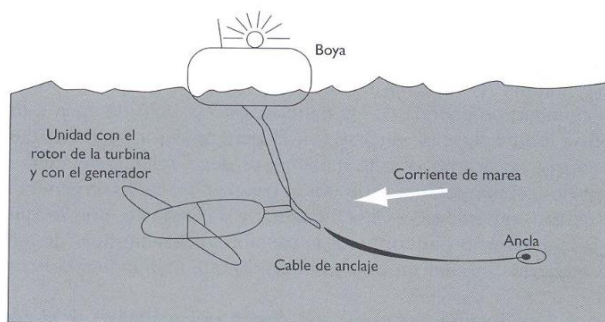
La energía de las corrientes marina: es el movimiento de masas de agua que como los ríos recorren los océanos, esta energía cinética del agua es ocasionada por la diferencia de densidad del agua consecuencia de la diferencia de temperatura y salinidad en los océanos. La rotación de la Tierra influye en la dirección de las corrientes marinas y hace que circulen de derecha a izquierda en el hemisferio Sur y de izquierda a derecha en el hemisferio Norte. La temperatura de las corrientes varía de acuerdo al lugar de procedencia, entre los 2 °C y los 30 °C, conforme a esto los tipos de corrientes son: las cálidas (originadas en la zona

ecuatorial) y las frías (originadas en las zonas polares), ambas son de gran importancia en las condiciones de los climas.

Esta forma de energía puede ser aprovechada situando turbinas ancladas al fondo del mar (FIGURA 2.13), en similitud con la energía eólica, el aprovechamiento de la energía de las corrientes marinas por medio del desplazamiento (de un fluido) de las masas de agua que recorren los océanos empujan a las hélices de una turbina produciéndose un movimiento rotatorio en esta y por medio del acoplamiento hacia un generador eléctrico, la energía mecánica se transforma en energía eléctrica, ver secciones 1.3.2 y 2.2. Otra forma en que se aprovechan las corrientes marinas es en el transporte, se puede navegar por el mar, siguiendo las trayectorias de las corrientes marinas se favorece a la navegación. La energía y potencia de las corrientes marianas viene dada al igual que la energía eólica por las expresiones ( 2.7 ) y ( 2.8 ):

$$E_{cm} = \frac{1}{2}(\rho V)v^2 \quad (2.7)$$

$$P_{cm} = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2.8)$$



**FIGURA 2.13:** Posible aprovechamiento de las corrientes marinas, (8).

La energía térmica del océano: como se ha mencionado los océanos funcionan como reguladores de energía, almacenan gran cantidad de energía térmica, esto ocurre principalmente en su superficie que está más expuesta a los rayos del Sol. Entre el agua más profunda y la superficie del océano hay una diferencia de temperatura, la cual se puede aprovechar para convertir la energía térmica en otra forma de energía. En promedio la temperatura de

la superficie del agua alcanza 25 °C mientras que a profundidades de 1000 m se tienen temperaturas cercanas a los 5 °C, esta diferencia de temperaturas permanece aproximadamente constante a lo largo del año. Pudiendo aprovechar esta diferencia de temperatura del océano para que opere como una máquina térmica, en donde por la diferencia de temperaturas puede fluir energía de un lado a otro que puede ser aprovechada para una transferencia de energía en forma de trabajo, en la FIGURA 2.14 se puede ver el esquema de una central de generación eléctrica a partir de la energía térmica del océano. Existen dos tipos de sistemas para la transformación de este tipo de energía que son: el sistema de circuito cerrado y el sistema de circuito abierto, el primero utiliza un líquido como el agua en donde la presión se disminuye para que el líquido pueda evaporarse a las temperaturas dadas en la superficie del océano y así con el vapor impulsar una turbina que posteriormente generará energía eléctrica por medio de un generador, mientras que el segundo utiliza líquidos que se evaporan a esas temperaturas sin que se tenga que disminuir la presión, como lo son el amoníaco, el freón y el propano por citar algunos. La potencia total de una fuente con diferentes temperaturas se puede calcular por medio de la expresión ( 2.9 ):

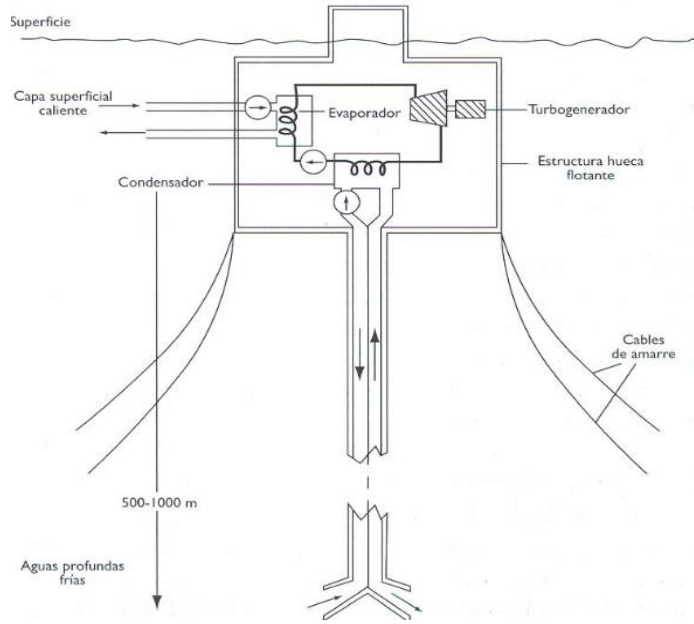
$$P_T = \frac{\rho c Q (T_a - T_b)^2}{T_a} \quad (2.9)$$

Donde  $c$ ,  $Q$ ,  $T_a$  y  $T_b$  son la capacidad calorífica del agua, el flujo o caudal del agua, la temperatura alta y temperatura baja, respectivamente.

Si suponemos al sistema como una máquina de calor ideal la eficiencia obtenida a partir de la diferencia de temperatura en el océano sería de:

$$\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{(273.15 + 5)[K]}{(273.15 + 25)[K]} = 0.067$$

Una eficiencia de casi el 7%, lo cual es uno de los principales problemas en la extracción de la energía térmica en el océano.



**FIGURA 2.14:** Aprovechamiento de la energía térmica del océano, (8).

La energía de las olas: se trata de movimientos ondulatorios ocurridos en la superficie oceánica, originados por el viento, es energía cinética del agua. A diferencia de las corrientes marinas, las olas se generan a causa del movimiento del aire que sopla sobre grandes extensiones de agua. Existen dos tipos de olas, las de oscilación y de rompimiento; la primera se caracteriza por que al elevarse avanza pero al caer retrocede, ocupando aproximadamente el mismo lugar de origen y las segundas suceden en las costas en donde al elevarse y caer estas se rompen sobre acantilados y playas. Al contrario de cómo podría pensarse las olas no se generan por el desplazamiento del agua a lo largo del mar sino que es transporte de energía a causa de un movimiento circular (oscilatorio) del agua.

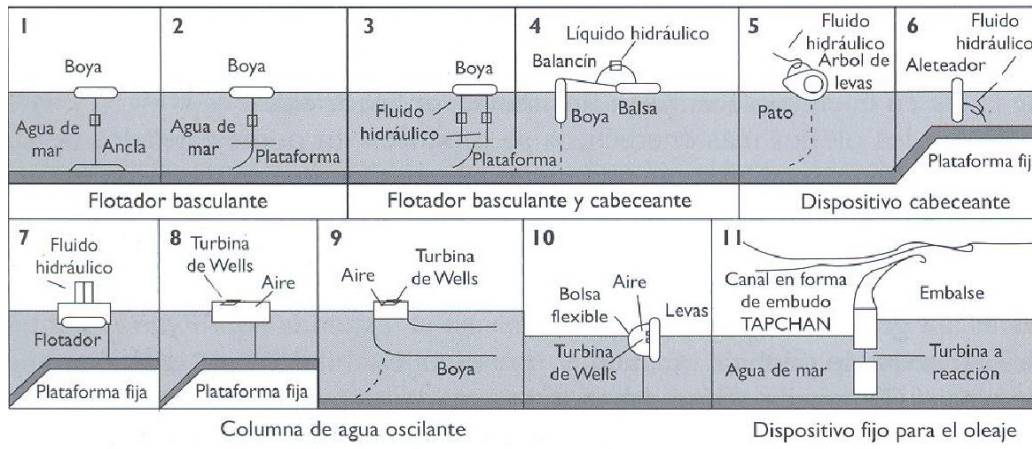
La amplitud de las olas depende de la velocidad del viento, su duración en la superficie y de la superficie en contacto. La energía cinética y potencial de las olas puede determinarse por medio de la expresión ( 2.10 ):

$$E_o = \underbrace{\frac{\rho g a^2}{4}}_{\text{cinética}} + \underbrace{\frac{\rho g a^2}{4}}_{\text{potencial}} = \frac{\rho g a^2}{2} \quad (2.10)$$

Y la potencia es determinada por medio de ( 2.11 ):

$$P_o = \frac{\rho g a^2 T}{8\pi} \quad (2.11)$$

Donde  $a$  es la amplitud y  $T$  es el período de la onda. Los dispositivos para aprovechar la energía de las olas se dividen en sistemas fijos los cuales se fijan a la plataforma continental y los sistemas flotantes los cuales se instalan en mara adentro flotan en la superficie de los mares. En la FIGURA 2.15 se muestran los distintos tipos de tecnología para aprovechar la energía de las olas.



**FIGURA 2.15:** Convertidores de energía del oleaje, (8).

La energía del gradiente salino: el agua dulce se mezcla con el agua salada, el gradiente de salinidad puede ser aprovechado mediante un proceso inverso a la presión retardada por ósmosis y las tecnologías asociadas de conversión.



**FIGURA 2.16:** Tecnología empleada para aprovechar la energía de los océanos, (5).

### 2.4.2 Ventajas y desventajas

En cuanto a las ventajas y desventajas con respecto a la energía almacenada en los mares se hablará de modo separado: mareomotriz, undimotriz y de las corrientes marinas.



### **Ventajas**

1. Son fuentes de energía renovable.
2. Su empleo directo no emite ningún gas de efecto invernadero.
3. La densidad del agua es mayor a la del viento por lo que el fluido ejercerá mayor presión sobre una superficie dada.
4. Con respecto a la tecnología usada para su aprovechamiento se puede decir que:

### Corrientes marinas

- Desde el punto de vista ecológico, la turbina debido a su baja velocidad, no perjudica la vida marina ni las migraciones de los peces y permite el flujo libre del agua. En este tipo de tecnología se instala una defensa contra los grandes mamíferos marinos para que no entren en contacto con las palas.

### Energía térmica del océano.

- En las zonas situadas en el trópico la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie permanece casi constante ( $\Delta T=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Los dispositivos que utiliza este tipo de central como los intercambiadores de calor, generador, turbinas y sistema de bombeo están muy bien desarrollados.
- Por la gran capacidad del agua la energía térmica del océano no depende a corto plazo de la energía solar.
- El agua fría que se bombea desde el fondo marino puede servir para la refrigeración y para la instalación de granjas de peces (acuicultura). Además se podrían sacar minerales del océano.

### Olas

- La energía de las olas es muy constante.
- La inversión en instalaciones de energía de las olas es del 1/200 de la instalación eólica, con menores costos de infraestructura.
- Protegen la costa pueden actuar como rompeolas.

- La energía de las olas es muy adecuada para la producción de hidrógeno, así como para la extracción de agua potable del mar.

#### Mareas

- Funciona en cualquier clima y época del año, las mareas son periódicas lo que no sucede con otras fuentes de energía renovable como los son la solar, eólica y el oleaje.
- No se presentan problemas de sequía como en las hidroeléctricas, dado que el promedio de amplitudes de marea puede considerarse constante a lo largo del año.
- Puede proporcionar protección contra inundaciones en las costas ocasionadas por las altas mareas esto debido a su capacidad de embalse, también disminuye la intensidad de las corrientes por lo que las costas tendrán menos efectos erosivos. Tiene un costo de mantenimiento bajo.
- Algunas formas de vida pueden ser favorecidas por las nuevas condiciones.

#### **Desventajas con respecto a la tecnología empleada**

##### Corrientes marinas

- Se necesitan inversiones muy fuertes para montar una planta de este tipo en el intento de fijación.
- En la transmisión de la energía eléctrica producida.

##### Energía térmica del océano

- Estas instalaciones pueden afectar a la fauna y flora marinas. El impacto ambiental lo constituyen los cambios potenciales en las propiedades del agua del mar debido al bombeo, descargar agua templada o fría en el agua circundante con una temperatura diferente representa una preocupación ya que interferir con el agua profunda de los océanos puede tener efectos ambientales imprevistos. Los cambios de salinidad y temperaturas locales pueden afectar el ecosistema local. La contaminación del agua, tienen que ver principalmente con la liberación de químicos o agua residual de vuelta al océano circundante.
- Otras consideraciones relativas a la polución comprende el riesgo de fuga y corrosión del fluido de trabajo ya que el agua salada es muy corrosiva y reduce

mucho la vida útil de los materiales de la instalación. Pueden ser positivos los efectos estructurales que favorecen la formación de arrecifes artificiales y que engloban el anidamiento y la migración de peces.

- Es necesario llegar a profundidades mayores para conseguir las diferencias de temperatura necesarias. Además de que la central tiene que ser de gran tamaño para producir grandes cantidades de energía.

#### Olas

- Tiene efectos en las áreas costeras afectando especialmente a las aves migratorias y a los peces.
- Pudieran generar ruido de baja frecuencia, que puede interferir con los sistemas naturales de comunicación.
- Pudieran dar los dispositivos ciertos riesgos para la navegación.
- Se necesitan elevadas inversiones de capital para la implementación de la tecnología.
- La mayoría de los dispositivos son prototipos por lo que necesitan un mayor desarrollo.

#### Mareas

- Ponen en peligro a las aves y peces, los cambios en los ecosistemas y la acumulación de contaminantes. Las fuertes corrientes de mareas tienden a elevar y volver a depositar los sedimentos del fondo.
- Necesitan una alta inversión inicial. Así como la subida y bajada de la marea no siempre concuerda con la mayor demanda de energía eléctrica.
- Los cambios hidrodinámicos pueden influir en la calidad del agua y en el movimiento y composición de los sedimentos del fondo. Cualquier turbidez del agua puede aumentar la producción biológica primaria, con efectos correspondientes a la cadena alimentaria.

## 2.5 Bioenergía

La bioenergía es energía que se origina de la biomasa, esta última se puede definir como cualquier material de origen orgánico, vegetal o animal, comprendiendo también los productos que de ella se derivan en sus distintas transformaciones, excluyendo a los alimentos. Es material, biológicamente renovable en un lapso de tiempo relativamente corto. El petróleo, el gas natural y el carbón mineral provienen de residuos orgánicos vegetales y animales, sin embargo no se les considera biomasa, ya que para su formación se necesitaron millones de años y como se dice líneas arriba tiene que ser material que se regenere en un tiempo no tan largo. Ejemplos de biomasa son la leña, la hojarasca, el zacate, el olote del maíz y todos los derivados de los vegetales que puedan someterse al proceso de combustión, así como también todos los residuos orgánicos que, al descomponerse, produzcan algún combustible como aceite o gas. Como vimos anteriormente la energía proveniente de la biomasa viene indirectamente del Sol y su base principal de captación son los organismos que realizan la fotosíntesis. Las plantas y microorganismos fotosintéticos son la base de la energía de los seres vivos, ellos captan la energía lumínica del Sol y la transforman en energía química por medio de la fotosíntesis, que es el proceso mediante el cual las plantas transforman la materia inorgánica en orgánica (ver expresión ( 2.12 )), elaboran su propio alimento para ellas y así para otras especies, para ello, muchas especies de animales consumen estas plantas para obtener la energía necesaria para sus funciones vitales y a la vez otras especies consumen a estas y a aquellas, iniciándose una cadena alimenticia y la transferencia de energía entre los organismos, los seres vivos que no fabrican su propio alimento (heterótrofos) necesitan sea directamente o indirectamente la energía captada en las moléculas de las plantas para realizar sus principales funciones vitales como: el movimiento, el transporte de nutrientes y la síntesis de nuevas moléculas. Las plantas, algunas bacterias y algas son organismos fotosintéticos, es decir, en ellos se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis mediante el cual se transforman moléculas inorgánicas<sup>42</sup> como el H<sub>2</sub>O y el CO<sub>2</sub> junto con sales minerales (P, N y S) y la energía del Sol, en compuestos orgánicos y en oxígeno; la glucosa resultado del proceso de fotosíntesis es una molécula con mayor energía química

---

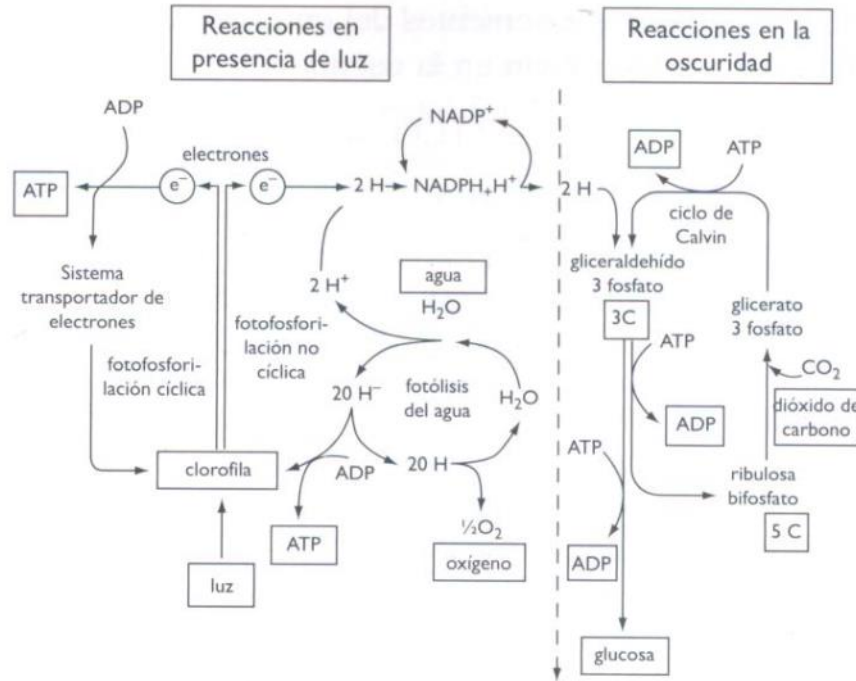
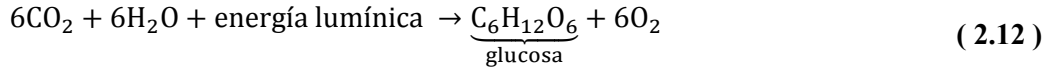
<sup>42</sup> Las moléculas orgánicas son aquellas que están compuestas por carbono, y que forman enlaces covalentes carbono-carbono y carbono-hidrógeno, no obstante aunque el CO<sub>2</sub> es una molécula conformada por carbono no es considerada un compuesto orgánico pues no contiene hidrógeno.

contenida en sus enlaces que la de los reactivos que la conformaron; a partir de la glucosa las plantas fabrican compuestos más complejos como el almidón y otros azúcares, así como grasas y aminoácidos. La energía almacenada en las moléculas de las plantas se utilizan para diversas funciones, una de ellas es: la respiración celular, en donde se produce la reacción contraria a la fotosíntesis, esto es la combustión. La fotosíntesis se agrupa en dos fases una llamada fase luminosa y la otra fase oscura, en la primera es necesaria la energía lumínica mientras que en la segunda no lo es, las reacciones que ocurren en esta fase se pueden llevar con o sin la presencia de luz (ver FIGURA 2.17). En la fase lumínica se capta la energía lumínica (fotones<sup>43</sup>) y se rompe la molécula del agua  $H_2O$  en  $O_2$  que es un residuo de la fotosíntesis y es enviado a la atmósfera, y en iones hidrógenos ( $H^+$ ) los cuales pasan a formar parte de la molécula NADPH, esta molécula junto con el adenosintrifosfato (ATP) —la cual se puede considerar como el combustible universal de los seres vivos— se usan para sintetizar moléculas de azúcares. En la fase oscura se emplea la energía almacenada en las sustancias ATP y NADPH obtenidas en la fase luminosa para provocar una reacción con el  $CO_2$  formando la molécula de la glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) y otros compuestos indispensables para la vida. Los componentes orgánicos de las plantas son inestables en presencia del oxígeno; las plantas obtienen biomoléculas de la glucosa. Los compuestos orgánicos de los organismos fotosintéticos reaccionan con el oxígeno al entran en contacto, esta reacción se conoce como combustión en ella se libera la energía química almacenada y los elementos participantes en el proceso de fotosíntesis como el agua y el dióxido de carbono, vuelven a pasar al entorno. La intensidad con que el proceso de fotosíntesis se da depende de varios factores como los son: el agua, el dióxido de carbono, la temperatura, la energía lumínica captada y del tipo de planta. De la cantidad de energía que llega del Sol a la Tierra sólo un porcentaje de esta se convierte en materia orgánica por el proceso de fotosíntesis.

La energía almacenada en la biomasa puede ser utilizada mediante un fenómeno químico: la combustión como lo describe la ecuación ( 1.3 ), además se debe de considerar la energía de activación, que es aquella energía necesaria para llevar a cabo esta reacción química. La biomasa contiene energía química, esta puede liberarse y hacerse manifiesta en forma de energía térmica, denominándose bioenergía a la energía procedente de ella.

---

<sup>43</sup> Como hemos visto en la definición de energía lumínica los fotones son paquetes de energía.



**FIGURA 2.17:** Proceso de la fotosíntesis, (8).

La biomasa puede provenir directamente de la naturaleza como los son los recursos forestales o puede ser producida, esto es se requieren áreas de terreno para cultivar plantas cuya finalidad es la obtención de un combustible a partir de ellas como el biodiesel, o proceder de residuos agrícolas, ganaderos, urbanos o industriales. De acuerdo a lo anterior la biomasa puede clasificarse como natural, residual y producida.

La biomasa natural: es aquella materia orgánica que está presente en la naturaleza sin que el humano intervenga en su transformación.

La biomasa residual: son aquellos residuos orgánicos producidos en las actividades que realiza el humano.

La biomasa producida: es aquella en se cultivan plantas no para alimento sino para la obtención de un *biocombustible*. La materia orgánica será tratada en un proceso de transformación para obtener un producto de mayor contenido energético.

Existen varios procesos por los cuales se puede obtener un biocombustible en la FIGURA 2.18 se resumen todos los procesos.

La forma de obtener energía de la biomasa es mediante la combustión directa que es el proceso en el cual se quema directamente los productos orgánicos, sin embargo existe algunos procesos de transformación por los que debe pasar la biomasa para obtener un combustible de acuerdo a las necesidades de los usuarios, este es el caso de la combustión indirecta, estos procesos se describen a continuación:

**Físico:** es un proceso físico en el cual la biomasa se tritura, compacta y se seca.

**Proceso termoquímico:** en ella ocurren reacciones químicas a temperaturas muy altas (300 °C a 1500 °C) en donde la biomasa se convierte en un nuevo combustible gaseoso o líquido. En este proceso se incluye la combustión directa de la biomasa.

**Proceso bioquímico:** es un proceso en el que la materia orgánica se degrada por la acción de microorganismos, estos procesos se puede producir en presencia del aire (aeróbicos) o en su ausencia (anaeróbicos).

De la producción primaria de energía en el mundo, la biomasa representó en 2012 el 10% (56.13 EJ) y el total de la capacidad instalada para la generación de electricidad fue de 78 GW.



**FIGURA 2.18:** Procesos fisicoquímicos, (5).

### 2.5.1 Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica

La tecnología empleada para aprovechar la bioenergía, es similar a la de los combustibles fósiles, se puede obtener energía térmica quemando el material y obtener así vapor que después moverá una turbina y en un generador se producirá energía eléctrica o puede fermentarse obteniendo un combustible líquido del cual se obtiene energía térmica a partir de su energía química, como hemos visto la biomasa puede transformarse para obtener diversos tipos de combustibles sean sólido, líquidos o gaseosos su finalidad es obtener energía química a partir de un proceso de combustión y generar energía eléctrica o mecánica. Los costos para la generación de energía eléctrica son de aproximadamente de 1 500 dólares por kW.

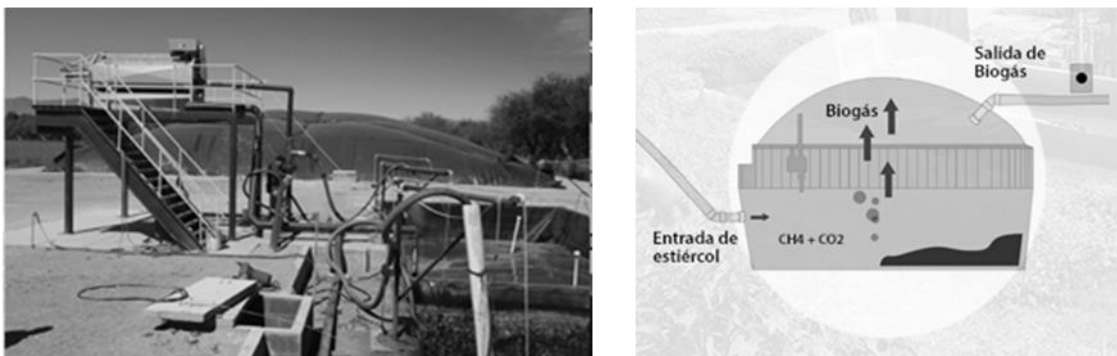


FIGURA 2.19: Procesos bioquímicos, (5).

### 2.5.2 Ventajas y desventajas

#### Ventajas

1. Dependiendo de su disponibilidad y de la capacidad a la que se utilice y regenere, en la mayoría de los casos se le considera una fuente renovable de energía.
2. En la combustión, la biomasa libera la misma cantidad de  $\text{CO}_2$  que utilizó en el proceso de fotosíntesis, considerándose un efecto neutro sobre la emisión de  $\text{CO}_2$  un gas de efecto invernadero.
3. Permite una reducción de los volúmenes de desperdicios destinados a la producción de gas de vertedero.



4. Es adecuada porque puede estar en forma sólida, líquida o gaseosa y en una forma almacenada, disponible en cualquier hora del día.

### **Desventajas**

1. Si la combustión de la biomasa es incompleta, se genera monóxido de carbono (CO).
2. En la combustión de la biomasa también se producen óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), como en menor cantidad óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y en la digestión anaeróbica se produce SH<sub>2</sub>. Estas emisiones pueden disminuir, utilizando filtros.
3. En los residuos sólidos, pueden contener plásticos u otras sustancias que pueden generar en la combustión, distintos contaminantes.
4. En la quema de madera se producen sustancias cancerígenas.
5. En los procesos de gasificación y pirolisis se producen residuos líquidos muchos de ellos cancerígenos.

## **2.6 La energía geotérmica**

La energía geotérmica es la energía térmica que hay en el interior de la Tierra, partiendo del centro, la Tierra tiene elevadas temperaturas y va disminuyendo conforme su distancia se aparta del centro, la energía térmica se transmite desde sus capas internas hasta llegar a la corteza terrestre, puesto que las capas con elevadas temperaturas conforman la mayor parte de la masa de la Tierra, es considerada una fuente de energía a la energía proveniente de ella. La energía del interior se manifiesta al salir a la superficie terrestre; a tal fenómeno se le conoce como vulcanismo. Sobre la superficie de la Tierra se forma grietas y por las grandes presiones ejercidas por el interior de la Tierra el magma contenido en el manto sale a la superficie. La manifestación natural de esta fuente de energía se presenta en los volcanes, en las aguas termales y en los géiseres, en estas dos últimas se eleva la temperatura del agua subterránea lanzándola en un estado gaseoso y líquido, el vapor es aprovechado como energía térmica para llevar a cabo distintos procesos de transformación. El humano al perforar la corteza terrestre observó que la temperatura con la profundidad incrementa; a la variación de la temperatura con la profundidad se le llama *gradiente geotérmico*.

*mico*. El valor del gradiente geotérmico en la corteza varía mucho de un lugar a otro, hay sitios en donde la temperatura incrementa 10 °C por kilómetro y en otras las variaciones van de los 200 °C a 800 °C por cada kilómetro de profundidad. No obstante en las zonas de la Tierra en donde no hay anomalías térmicas las variaciones van de 25 °C a 35 °C por kilómetro de profundidad.

Las altas temperaturas existentes en el interior de la Tierra se deben al proceso de formación del planeta en donde grandes cuerpos masivos chocaban y su energía cinética se transformó en energía térmica y en los cuales participaron materiales bastante densos como el hierro y el níquel alcanzando temperaturas por encima de su punto de fusión, estos materiales pasaron a formar parte del núcleo de nuestro planeta al ir conformándose la masa total de la Tierra, la superficie fue cediendo parte de su energía al exterior habiendo diferencia de temperaturas a lo largo de las diferentes capas que integran al planeta. Otros factores que intervienen en la cantidad de energía térmica proviene de la desintegración de materiales radiactivos como el uranio, el torio y el potasio, además de la fricción entre el núcleo con capas más externas.

Las principales capas que conforman la Tierra son tres: corteza, manto y núcleo, sus espesores son variables pero en promedio tienen valores de 70, 2 900 y 3 500 kilómetros respectivamente.

**TABLA 2.2:** Características principales de las capas de la Tierra.

Capa	Subcapa	Estado físico	Composición	Espesor (km)	Temperatura (°C)
Corteza terrestre	Continental	Sólido	Silicatos de aluminio y magnesio	70	400
	Oceánica	Líquido			
Manto	Superior	Viscoso	Silicatos de hierro y magnesio	2 900	2 000
	Inferior	Sólido			
Núcleo	Externo	Fluido	Hierro y níquel	3 500	5 000
	Interno	Sólido			

El gradiente de temperatura que hay entre el núcleo y la corteza terrestre pone en marcha la transferencia de energía (calor por difusión y convección), esta energía térmica llega hacia rocas y acuíferos próximos a la superficie de la Tierra, donde se manifiesta la energía térmica del interior del planeta, estos puntos se caracterizan por ser flujos anómalos en donde la energía geotérmica se manifiesta.

Los yacimientos geotérmicos están compuestos de tres principales sistemas: una fuente de energía térmica (la energía del interior de la Tierra), un acuífero (rocas porosas en las que se puede almacenar y fluir el agua) y un capa sello (cuya función es impedir que la energía térmica se disipe totalmente en la superficie).

Según su temperatura los yacimientos geotérmicos conformados por sistemas hidrotermales se clasifican de acuerdo a la temperatura que poseen, esto es:

Regiones de alta temperatura (o alta entalpía): estos lugares tiene temperaturas mayores a 200 °C, y son la única fuente factible para la producción de energía eléctrica.

Regiones de temperatura media (o media entalpía): estos lugares tienen temperaturas que van de los 150 °C a 200 °C, estos lugares son aptos para utilizar la energía en la calefacción del agua, procesos de secado, procesos agrícolas y ciertos procesos industriales, también se usan para la generación de energía eléctrica empleado otro fluido distinto al agua como intermediario para mover un primotor.

Regiones de baja temperatura (o de baja entalpía): las temperaturas en estos lugares son menores a los 40 °C, la energía es utilizada para la calefacción de agua para uso doméstico.

Existen además cinco tipos de recurso geotérmicos como son<sup>44</sup>:

Sistemas Hidrotermales. Se caracterizan porque se alimentan con agua de la superficie de la tierra en forma de lluvia, hielo o nieve, la cual se infiltra lentamente en la corteza terrestre a través de poros y fracturas, penetrando a varios kilómetros de profundidad en donde es calentada por la roca, alcanzando en algunas ocasiones temperaturas de hasta 4000 °C. En la actualidad estos sistemas son los únicos que se explotan comercialmente para la generación eléctrica.

Sistemas de Roca Seca Caliente. Se caracterizan por ser sistemas con alto contenido energético pero con poca o nula cantidad de agua. No se explotan comercialmente en la actualidad, pero se encuentra en desarrollo la tecnología que permita su aprovechamiento.

---

<sup>44</sup> Ver referencia (26).

Sistemas Geopresurizados. Se caracterizan por ser sistemas que contienen agua y metano disueltos a alta presión (del orden de 700 bares de presión) y mediana temperatura (aproximadamente 150 grados Celsius). No se explotan comercialmente en la actualidad;

Sistemas Marinos. Se caracterizan por su alta entalpía y localización en el fondo del mar.

Sistemas Magmáticos. Se caracterizan por ser sistemas de roca fundida existentes en volcanes activos o a gran profundidad, en zonas de debilidad cortical. No se explotan comercialmente en la actualidad. El atractivo más importante de este tipo de sistemas son las altísimas temperaturas disponibles (800 °C), lo cual cobra especial relevancia si consideramos que la eficiencia de las máquinas térmicas es proporcional a la temperatura máxima de su ciclo termodinámico. Sin embargo, en la actualidad no se cuenta con la tecnología y los materiales adecuados para resistir la corrosión y las altas temperaturas que permitan aprovechar la enorme cantidad de energía almacenada en las cámaras magmáticas de los volcanes activos.

La energía geotérmica considerada sólo en los puntos donde se manifiesta podría considerarse energía no renovable al ritmo que actualmente se explota, pues se extrae su energía térmica a una razón mayor a su ritmo de recarga esto lleva al agotamiento del recurso en un período no muy largo, y aunque posteriormente se recargue, como se menciona en la definición de energía renovable, esta es energía que se renueva a medida que se utiliza. Pero por su parte se considera energía renovable porque la cantidad de energía contenida en el interior es muy grande pudiéndola considerar en cierta manera inagotable, sin embargo lo que se manifiesta en la superficie es sólo una pequeña porción de la energía total del interior; es aquí donde se deben hacer consideraciones sobre el término de renovable, si consideramos en el término de renovable, visto en la definición, sólo a aquellas fuentes de las que podemos captar energía o si lo consideramos en los términos generales aunque no la podamos aprovechar de ninguna forma.

### **2.6.1 Tecnología empleada para la generación de energía eléctrica**

Existen diferentes métodos para aprovechar la energía térmica del interior de la Tierra, una es la forma natural en la que sale el agua caliente o el vapor de agua y otra es hacer perforaciones para acceder a lo que se conocerá como pozo de producción, el cual se utiliza para la generación de energía eléctrica.

Para la generación de electricidad a partir de la energía geotérmica se emplean distintos tipos de tecnología y están en función de las condiciones del pozo geotérmico como es la presión, temperatura, salinidad y los gases que contenga. En la FIGURA 2.20 se muestran los diferentes tipos de centrales geotérmicas.

El costo de inversión de una central geotérmica es aproximadamente de 3 800 dólares por kW, y la capacidad de generación en el mundo es de 11.7 GW.

### **2.6.2 Ventajas y desventajas**

#### **Ventajas**

1. Se le considera fuente de energía renovable.
2. Su empleo provoca bajas emisiones de gases de efecto invernadero y se tiene un escaso uso de la tierra.
3. En cuanto a la tecnología empleada
  - Las plantas geotérmicas que usan vapor como fluido de las turbinas, no necesitan fuentes externas de agua para enfriamiento, ya que el vapor condensado es reciclado, lo que constituye un beneficio.

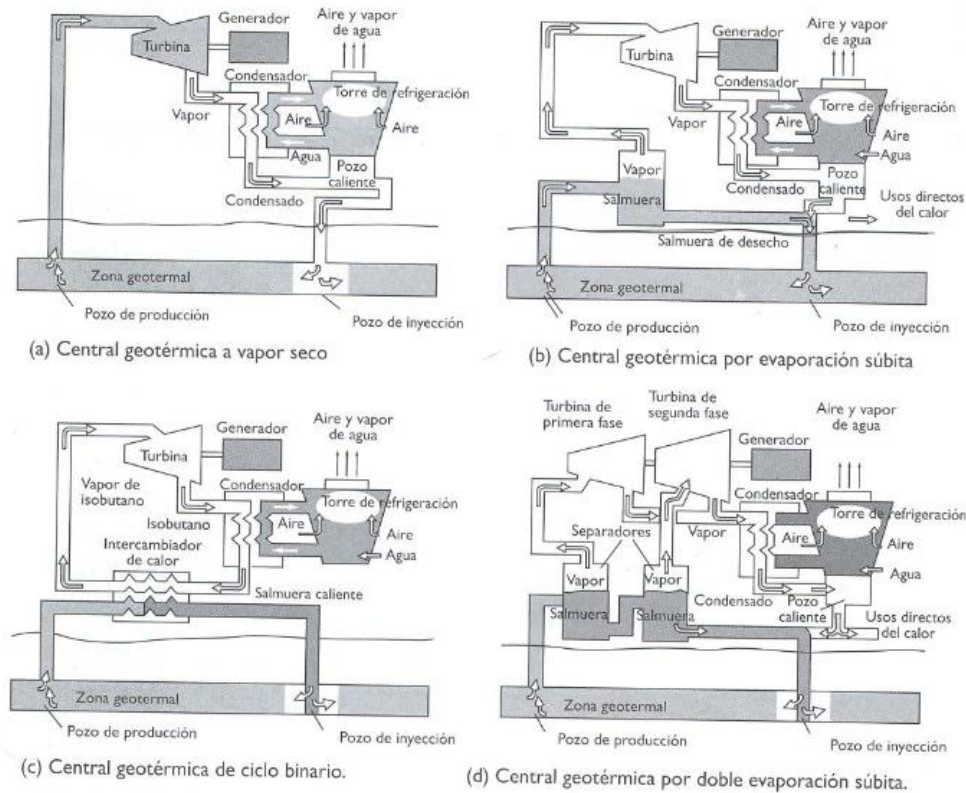
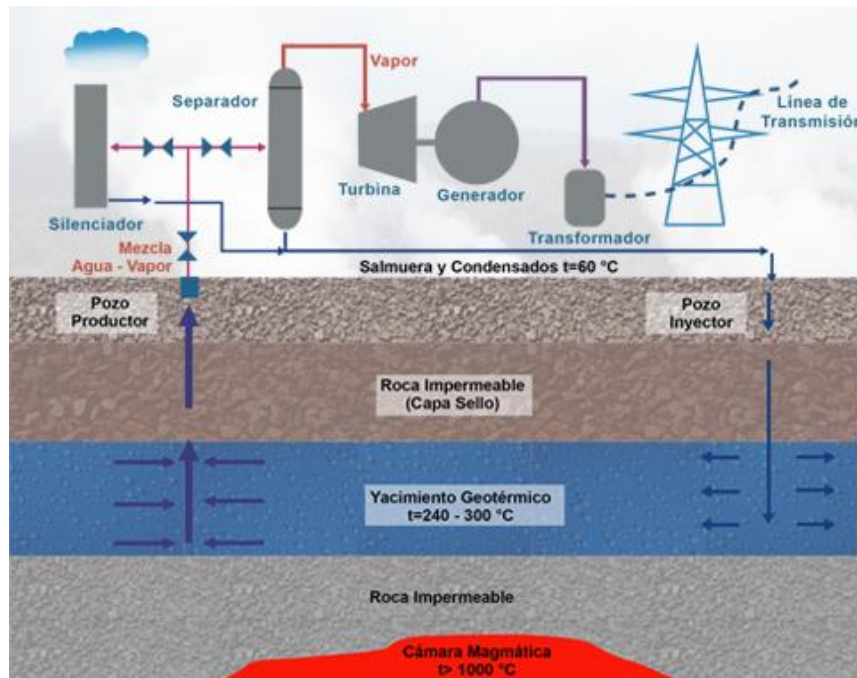


FIGURA 2.20: Tipos de centrales geotérmicas, (8).

**Desventajas con respecto a la tecnología usada**

1. El uso de la tecnología para captar la energía geotérmica, tiene efectos como: la contaminación del agua y el hundimiento en la tierra. La contaminación del agua puede evitarse, recogiendo todo líquido que se descargue de la planta. La reinyección ofrece la ventaja de recargar el sistema y prevenir el hundimiento.



**FIGURA 2.21:** Central geotérmica, (5).

2. Niveles de ruido altos en la perforación y operación de plantas.
3. Otras formas de impacto son el aumento de la erosión y sedimentación debido a los disturbios causados en el lugar, los posibles cambios del clima resultantes del calor desechado, del vapor de agua y del dióxido de carbono emitido, así como disturbios en el suelo, la vegetación y la vida animal.
4. El desarrollo geotérmico puede afectar tres aspectos relacionados con la extracción del agua geotérmica:
  - La emisión de agua con altas concentraciones
  - El impacto en manantiales de aguas locales
  - Las aguas de desecho geotérmicas contienen distintos tipos de contaminantes según los campos y no pueden ser dispuestas en todos ellos superficialmente. Existiendo la posibilidad de recuperar potasio y litio del agua evaporada y por otro lado la posibilidad de reinyectar el agua al yacimiento. La reinyección presenta varias ventajas desde el punto de vista de la contaminación ambiental y permite la recarga del yacimiento; sin embargo, plantea diversos problemas que deben ser estudiados, para evitar taponamientos de los pozos reinyectoros o enfriamiento del acuífero. La extracción continua de agua, puede llevar a un cambio en la hidrología del yacimiento,

reducir la cantidad de agua del reservorio y cambiar las características de temperatura o química de manantiales próximos.

## 2.7 Desarrollos tecnológicos “sostenibles” con base en el hidrógeno y la fusión nuclear

**El hidrógeno**, es el elemento más abundante en la naturaleza, además es un componente de la molécula de agua  $H_2O$  y es el elemento más simple que existe. Está compuesto de un protón y un electrón, bajo las condiciones ambientales en las que vivimos (como son la presión del aire y la temperatura) el elemento hidrógeno se encuentra en estado gaseoso.

Para obtener energía de la molécula de hidrógeno ( $H_2$ ) esta tiene que oxidarse, es decir tiene que reaccionar con el oxígeno. El hidrógeno como combustible genera una gran cantidad de energía en la combustión, la energía liberada es mayor que la de otros combustibles como la gasolina o el carbón. En el proceso de oxidación, al combinarse el hidrógeno con oxígeno el residuo o producto que queda es agua, un proceso bastante limpio. Pero aún se está desarrollando la tecnología para conseguirlo de forma eficiente y económica, las dificultades que se presentan son: (a) los procesos para separarlo requieren demasiada energía y son muy costosos y aunque abunda el hidrógeno en el planeta no se encuentra aislado sino como componente de varios compuestos, (b) el otro inconveniente es almacenarlo; a temperatura ambiente, en forma de gas, necesita un espacio muy grande y como un líquido necesita estar a grandes presiones por lo que requeriría un manejo especial para la seguridad. Este combustible puede ser muy peligroso si no se tienen las precauciones debidas.

**Las celdas de combustible**, son celdas electroquímicas, que transforman su energía química en energía eléctrica, la reacción es de oxidación y reducción donde hay transferencia de electrones, tienen una ventaja con respecto a la celdas voltaicas o pilas, ya que estas tienen limitada la cantidad de carga que pueden hacer fluir ( $i$ ) de acuerdo a la cantidad de reactivos que contienen, en cambio las celdas de combustible tienen un combustible y un oxidante que proviene de una fuente externa lo que quita esta limitante y aumenta la capacidad



para aportar energía. En estas los elementos que participan son el hidrógeno  $H_2$  y el oxígeno  $O_2$ . En la reacción de oxidación y reducción se obtienen: energía eléctrica, energía térmica y agua.

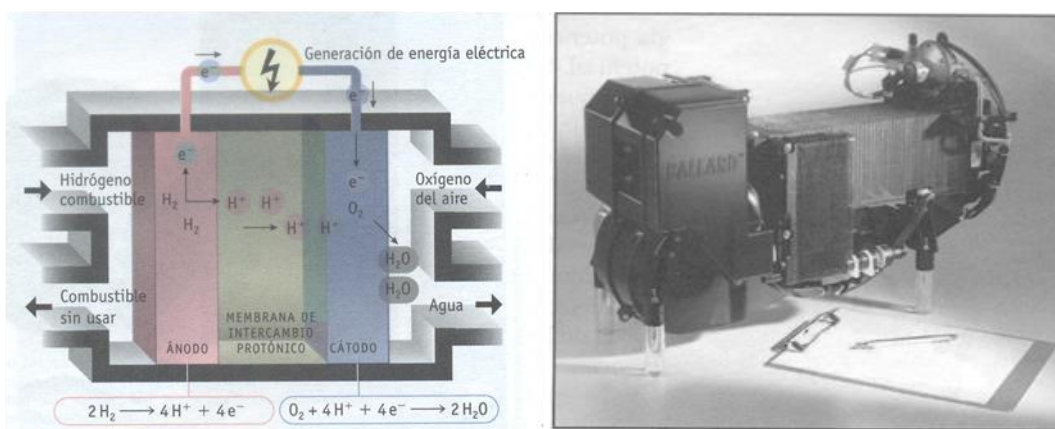
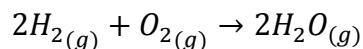


FIGURA 2.22: Celdas de combustibles, (4).

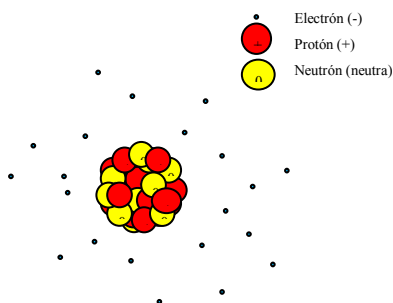
Las celdas de combustible se clasifican por lo común por el tipo de electrolito que usan en la siguiente tabla se enlistan las celdas por esta clasificación.

TABLA 2.3: Tecnologías, celdas de combustible, (9).

Tipo	Temperatura de operación [°C]	Potencia [kW]	Eficiencia [%]	Aplicaciones
Polímero electrolítico (CCPE)	50-100	< 1 a 100	60	Generación de energía eléctrica Transporte Vehículos espaciales
Alcalina (CCA)	90-100	10 a 100	60	Generación de energía eléctrica Transporte
Ácido fosfórico (CCAF)	150-200	400	40	Generación eléctrica
Carbonato fundido (CCCF)	600-700	300 a 3000	45-50	Generación eléctrica
Óxido sólido (CCOS)	700-1000	1 a 2000	60	Generación eléctrica

Las aplicaciones principales de las celdas de combustible son para la generación de energía eléctrica y para el transporte.

**La fusión nuclear**, es un proceso en el cual dos núcleos ligeros de átomos se unen para formar un núcleo de mayor tamaño. Al término de esta unión la masa total de los productos es menor que la de los elementos iniciales,  $(m_1 + m_2)_{final} < (m_1 + m_2)_{inicial}$ , el faltante de masa se convierte en energía, como lo describe la ecuación ( 2.13 ).



**FIGURA 2.23:** Modelo simple del átomo.

Toda la materia está conformada por átomos y estos átomos por partículas como: los electrones (carga negativa), protones (carga positiva) y neutrones (carga neutra). Los protones y neutrones conforman el núcleo del átomo y al conjunto de estos dos se les llama nucleones, los electrones giran alrededor del núcleo. Casi toda la masa de los átomos se encuentra concentrada en el núcleo, las masas de las partículas que constituyen al átomo son:

$$m_e = 9.109\ 381 \times 10^{-31} \text{ [kg]}$$

$$m_p = 1.672\ 621 \times 10^{-27} \text{ [kg]}$$

$$m_n = 1.674\ 927 \times 10^{-27} \text{ [kg]}$$

Como se puede ver la masa del protón y del neutrón son casi iguales, mientras que la masa del neutrón es 1 836.152 667 mayor que la del electrón aproximadamente 2 mil veces su masa. El número de masa  $A$  es la suma de los neutrones  $N$  y protones  $Z$  que contiene el átomo esto es  $A = N + Z$ , este número es aproximado a la masa total del átomo expresada en la unidad de masa atómica unificada ( $u^{45}$ ) por la razón que acabamos de ver, los electro-

<sup>45</sup> El valor de  $u$  es igual a  $1.660\ 538\ 73 \times 10^{-27}$  [kg].

nes contribuyen muy poco en la masa del átomo en comparación con el núcleo. En los átomos la masa del nucleón es menor que la suma de los protones y neutrones del núcleo del átomo tomados individualmente, a esta cantidad faltante se le llama defecto de masa y esto se debe a la energía de enlace relacionada con la energía total en reposo  $E_0 = mc^2$ . La fuerza que mantiene unidos a los protones y neutrones en el núcleo se llama fuerza nuclear esta fuerza es distinta a la fuerza eléctrica. Sin esta fuerza los protones con carga positiva se repelarían y no estarían unidos en el núcleo. En las reacciones de fisión y fusión hay una diferencia entre las masas de las partículas iniciales y las partículas finales esta diferencia se debe a la energía de reacción, esta energía de reacción se puede cuantificar por medio de la ecuación ( 2.13 ):

$$E = [(m_1 + m_2)_{inicial} - (m_1 + m_2)_{final}]c^2 \quad (2.13)$$

Donde  $m_1$  y  $m_2$  son las masas de las partículas correspondientes y los subíndices final e inicial indican las masas de las partículas antes y después de la reacción.

Para que se lleve a cabo la reacción de fusión —la unión de dos núcleos ligeros— los núcleos tienen que tener suficiente energía para superar la repulsión de sus protones, para que estos núcleos tengan esta energía deben estar a temperaturas demasiado altas como las que hay en el Sol<sup>46</sup>.

## 2.8 Ventajas y desventajas de las fuentes de energía renovable

La mayoría de las fuentes de energía renovable son intermitentes, dependen de las condiciones del clima.

Entre las ventajas y desventajas que se pueden mencionar sobre el uso de las fuentes de energía renovables podemos citar las siguientes:

---

<sup>46</sup> Se están abordando métodos para realizar la fusión a temperaturas no tan altas, lo que se conoce como fusión en frío.

### **Ventajas**

1. La primera son energía que están disponible en una cantidad muy grande y las cuales constantemente se regeneran y podemos considerarlas inagotables, a diferencia de los combustibles fósiles que en un período muy corto se terminarán las reservas.
2. La energía renovable está a la mano de todos, es decir en cualquier parte del mundo podemos encontrar alguna de las fuentes de energía mencionadas anteriormente, no es exclusiva de algunos países, como es el caso del petróleo que sólo unos países cuentan con esta fuente de energía.
3. Su empleo directo no contamina al ambiente: no producen dióxido de carbono y si lo hacen esta en cantidades pequeñas que forman parte de un ciclo natural de la Tierra, no emiten óxidos de azufre ni de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ).
4. No necesitan medidas de seguridad especiales para su utilización; como es el caso de la energía nuclear.

### **Desventajas**

1. Muchas de ellas son fuentes de energía intermitentes, no están disponibles en todo momento o no al menos con la potencia suficiente.
2. La tecnología para el aprovechamiento de esta energía aún está en desarrollo y los costos de inversión son altos.
3. Si no se usan de la forma adecuada y en los lugares apropiados podrían perjudicar el ecosistema de la zona.

# Capítulo 3 Impacto al entorno por el uso de las fuentes de energía

## 3.1 Recursos naturales

Los recursos naturales son los elementos presentes y emanados de la naturaleza. El ser humano puede disponer de los recursos naturales, usándolos para su beneficio. Uno de los recursos naturales visto con anterioridad son las fuentes de energía, también lo son los alimentos, el aire, los árboles, los minerales, el agua, el clima, el suelo etc. La energía eólica es un recurso natural, con ella el humano la puede emplear para mover partes móviles de un dispositivo mecánico, por ejemplo las hélices de una turbina para generar energía eléctrica; el petróleo es un recurso natural, con el se fabrican los plásticos; las plantas son recursos naturales, algunas de ellas se emplean como alimento y como medicinas. Los diferentes tipos de recursos naturales se presentan por desigual en distintas partes del planeta, algunos tienen una mayoría en un recurso natural y carecen de otros. Los recursos naturales se clasifican de acuerdo a la cantidad en la que están dispuestos en la Tierra y a su capacidad de regeneración en el tiempo. Se clasifican en recursos naturales renovables y los no renovables. Por lo que vimos anteriormente, las fuentes de energía son una parte de los recursos naturales, por este motivo a aquellas también se les clasifica de igual manera que a estos. Los recursos naturales renovables son los que por su gran uso permanecen inalterables y los que con un buen cuidado pueden mantenerse constantes. Los recursos naturales no renovables una vez que disponemos de ellos ya no los podemos volver a emplear. Para obtener beneficios de la naturaleza hemos transformado e intercambiado los recursos naturales, y su utilización de este modo lleva el nombre de actividades económicas (ver Capítulo 4). La transformación de los recursos naturales trae muchos beneficios para la humanidad pero también el desmedido trato inconsciente ha afectado al planeta, incluyéndonos.

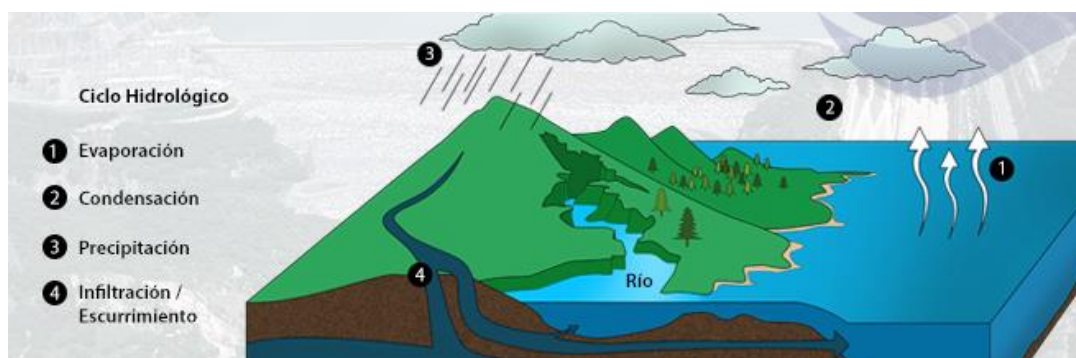
## 3.2 Ciclos naturales

Hay factores biológicos, físicos y químicos en el ambiente que permite la vida en el planeta, a estos factores se les conoce como ciclos biogeoquímicos. Los ciclos biogeoquímicos muestran el movimiento y transformación de los elementos de la naturaleza por medio de reacciones químicas y la actividad biológica. En estos ciclos, los elementos de la naturaleza pasan a los organismos vivos, y de estos regresan al medio repitiéndose este proceso sucesivamente, de forma continua; lo cual permite el desarrollo de la vida en la Tierra. Estos ciclos mantienen un equilibrio en el planeta, si se alteran se modifica la vida e incluso podría desaparecer. Los principales ciclos son: hidrológico, carbono, nitrógeno, fósforo y azufre.

### 3.2.1 El ciclo hidrológico

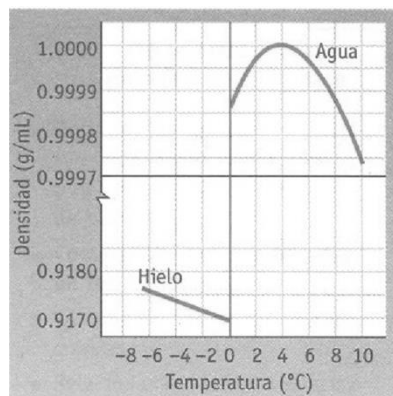
El agua es el componente vital, todas las células —las estructuras fundamentales de la vida— están compuestas por agua, sin ella no sería posible la vida, y según varios estudios es posible que en el agua se haya originado esta. La corteza terrestre está compuesta en su mayor parte por agua, el cuerpo del ser humano también, los alimentos que consumimos, el aire que respiramos. Puesto que es un recurso vital debemos de cuidarla y procurar no alterarla para no dañar a las otras especies que necesitan de ella. El agua tiene características muy especiales distintas a otras moléculas, como lo es su densidad; al bajar su temperatura por debajo de los 4 °C su densidad en vez de aumentar disminuye y al llegar al punto de congelación alcanza su mínima densidad de los estados sólido y líquido, por eso el hielo flota en el agua, permitiendo que haya lugares en la Tierra con grandes extensiones de hielo que regulen la temperatura del planeta (FIGURA 3.2). Otra propiedad característica del agua es su alta capacidad calorífica, esto es la capacidad para retener la energía térmica y la dificultad para aumentar su temperatura; mientras que algunos materiales al estar expuestos a un medio con una temperatura por arriba de la que ellos poseen, no tardan mucho en que equilibre su temperatura con el medio, sin embargo la rapidez con la que el calor pase de un cuerpo a otro depende de esta variable ( $c$ ), su capacidad calorífica. El agua necesita mucha energía para elevar su temperatura, (es un proceso no tan rápido) y la cede al ambiente de

manera más lenta que otros elementos, lo que regula la temperatura en las noches donde la energía del Sol no está presente en una parte del planeta. Es también por esta razón que el nivel del agua seguirá incrementándose aunque se dejen de emitir gases de efecto invernadero antropogénicos lo que ha provocado el calentamiento global en etapas recientes, el agua es en cierta medida como un almacenador de energía térmica y por ello los incrementos de temperatura en la Tierra en parte los ha absorbido el agua.



**FIGURA 3.1:** Ciclo hidrológico, (5).

El ciclo hidrológico consta del paso del agua de un lugar a otro: de la tierra al aire y del aire a la tierra (de las aguas continentales y oceánicas a la atmósfera). El agua que está contenida en los océanos, mares, lagunas, ríos y en las plantas; se evapora convirtiéndose en un gas que se mezcla con el aire (entonces se dice que el aire está húmedo), la evaporación del agua ocurre por la energía solar y el viento, que hace que el agua pase de su estado líquido a su estado gaseoso. El aire húmedo al ascender y expandirse va cediendo su energía térmica al entorno, bajando así su temperatura. Llegando a cierta temperatura el vapor de agua contenido en el aire, pasa a su estado líquido formando pequeñas gotas de agua, muy diminutas para observarse, estas gotitas se asientan sobre una superficie, algunos polvos que se encuentran suspendidos en el aire, constituyéndose de esta manera las nubes. Posteriormente cuando las nubes se hacen más densas la materia que la conforma cae a la tierra (precipitación) puede ser en forma líquida (gotas de agua) o sólida (en forma de nieve o granizo). El agua cae a la tierra pasando a formar parte de los ríos, agua subterránea, de la flora y océanos, y nuevamente al recibir energía del Sol comienza de nuevo el ciclo (FIGURA 3.1).



**FIGURA 3.2:** Variación de la densidad del agua con la temperatura, (4).

De la extracción de agua dulce en el mundo el 20% es para usos industriales, de los cuales entre el 57% y el 69% se destinan a la generación de energía eléctrica, sea por parte de centrales hidroeléctricas como nucleoelectricas, entre el 30% y 40% se destinan a procesos industriales y entre el 0.5% y 3% a la generación de energía térmica. En muchos países en vías de desarrollo las fugas en la distribución del agua están entre el 40% y 60%. En algunos países el consumo de agua por persona al día está entre los 200 y 300 litros, mientras que en otros el consumo es apenas de 10 litros de agua<sup>47</sup>.

### 3.2.2 El ciclo del carbono

Las células están compuestas por varios elementos entre los principales son: el carbono (C), el oxígeno (O), el hidrógeno (H) y el nitrógeno (N); al igual que el agua el carbono es un compuesto vital. Es uno de los elementos que constituyen a los organismos vivos. El ciclo del carbono es un proceso que se lleva a cabo por la acción de los organismos vivos y ahora en ello están interviniendo las actividades humanas. En la atmósfera terrestre hay compuestos de carbono como lo es el metano y el dióxido de carbono, este último compuesto es necesario para que las plantas lleven a cabo la fotosíntesis y para crear una serie de alimentos indispensables; unas especies se alimentan de estas plantas y otras especies de estas últimas formándose una cadena alimenticia, luego al ser desechadas los elementos son descompuesto por otros organismos, convirtiéndolos en compuestos gaseoso de carbono que vuelven a la atmósfera, también en la quema de bosques, en las erupciones

<sup>47</sup> Ver referencia (29).



volcánicas se desprenden cantidades de  $\text{CO}_2$ . Los seres vivos en la respiración desprende mos dióxido de carbono, enviándolo al aire. Otra parte del carbono se disuelve en las profundidades de los océanos mezclándose con otros componentes y formando grandes acumulaciones de roca caliza que después vuelve a la atmósfera por las erupciones volcánicas o por erosión. En todos los procesos anteriores, el carbono pasa de la atmósfera a la tierra y de la tierra a la atmósfera, constituyendo así lo que se conoce como el ciclo del carbono (FIGURA 3.3). El ciclo del carbono se lleva a cabo en la atmósfera, en la corteza terrestre y con los seres vivos. El ciclo como se ha descrito consta de dos fases, una de ellas es la fase geológica, esta fase tarda millones de años en completarse, la otra es la fase biológica que tarda mucho menos tiempo que va desde miles de años hasta días. En los recientes 200 años las actividades humanas han exigido un alto consumo de los combustibles fósiles, liberando gran cantidad de compuestos de carbono a la atmósfera alterando de esta manera el **ciclo natural**, además de las deforestaciones llevadas a cabo.

### 3.2.3 El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno es otro de los elementos por los que están compuestos los organismos. Está presente en la atmósfera en un 78% y se encuentra en estado gaseoso. Por acción de bacterias y hongos pasa del aire a la tierra. El ciclo se describe a continuación:

El nitrógeno se encuentra en la atmósfera como una *molécula* ( $\text{N}_2$ ) y pasa al suelo por la acción de microorganismos que lo fijan en este transformándolo en amoníaco, proteínas y otros compuestos nitrogenados que son aprovechados por los vegetales y animales. Los desechos orgánicos nitrogenados de los animales, son oxidados a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) por organismos que se encargan de descomponer el suelo. Estos iones son arrastrados por el agua y llevados a ríos y lagos donde permanecen disueltos. En el fondo de los mares, ríos y lagos existen bacterias desnitrificantes capaces de reducir el nitrito y nitrato al nitrógeno elemental regresándolo a la atmósfera.

El nitrógeno en la atmósfera se forma también por las descargas eléctricas de las tormentas y como producto de la actividad volcánica. Los compuestos nitrogenados son arrastrados por las lluvias para depositarse en el suelo o ser llevados al agua y vuelve de nuevo a la atmósfera por la acción de los microorganismos, completando el ciclo.

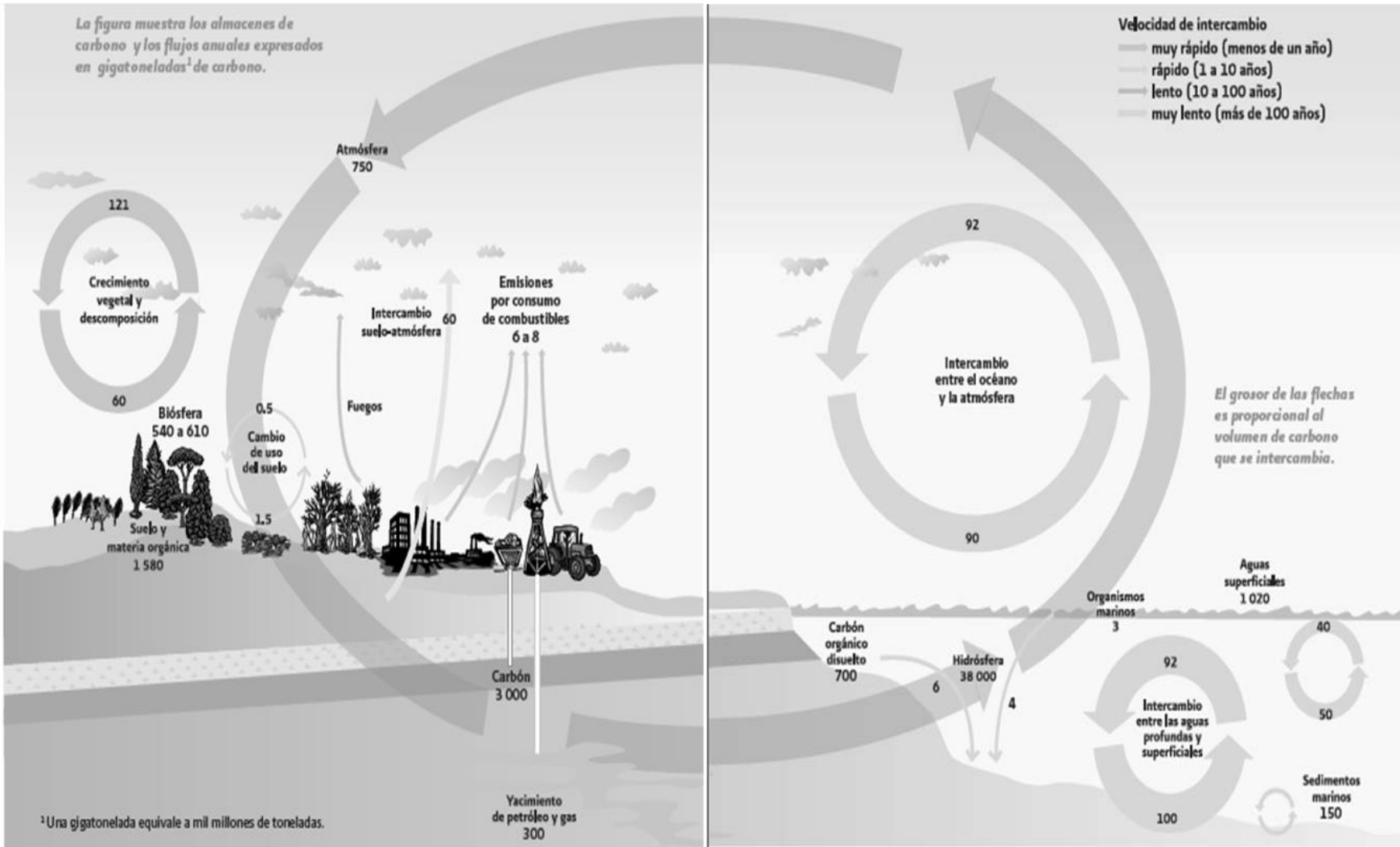


FIGURA 3.3: El ciclo del carbono, (11).

### 3.3 El efecto invernadero

El efecto invernadero es uno de los factores que ha permitido la vida en la Tierra. Gracias al efecto invernadero se mantiene la temperatura de la Tierra a un nivel adecuado para la vida, sin este efecto nuestro planeta estaría congelado. Hay diversos compuestos que participan en el efecto invernadero como lo son: el dióxido de carbono, el vapor de agua, el metano y el dióxido de nitrógeno entre los principales; si estos gases se encuentran en la atmósfera en ciertas cantidades permiten un nivel de temperatura adecuado para el equilibrio de los ecosistemas, pero si se alteran las concentraciones se altera el equilibrio existente en el planeta, originando grandes cambios. Los gases de efecto invernadero son producidos de forma natural por nuestro planeta, sea por las erupciones volcánicas, las actividades biológicas de los organismos como la respiración, la descomposición de la materia orgánica, etc., todas estas acciones desprenden estos gases. El compuesto que ha tenido relevancia en los últimos años es el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) compuesto que en los últimos 650 mil años no superaba las 300 partes por millón (ppm) y en la actualidad a superado esta concentración a 380 ppm, debido, principalmente a las actividades humanas llevadas a cabo desde la revolución industrial.

La temperatura de nuestro planeta se debe a la energía que recibimos del Sol y distintos sistemas en la Tierra que almacenan esta energía, uno de estos sistemas son los gases de efecto invernadero; al llegar las radiaciones emitidas por el Sol a la Tierra, la Tierra absorbe y refleja parte de esta energía al espacio, los océanos, las plantas absorben esta energía pero también lo hacen los gases de efecto invernadero que vuelve a reflejar la radiación infrarroja de nuevo a la superficie terrestre, manteniendo la energía térmica del planeta constante (FIGURA 3.5).

Cuando se incrementa la cantidad de los gases de efecto invernadero se incrementa la cantidad de energía en el planeta, estos gases impiden que la energía reflejada por la superficie de la Tierra escape de ella, incrementando de esta forma la energía térmica del planeta y por consiguiente la temperatura. Al incrementarse la energía térmica de la superficie terrestre suceden grandes cambios, tales como el derretimiento de los polos, los cuales también ayudan a mantener la temperatura de la Tierra y diversos fenómenos que repercutirán en todo el planeta.

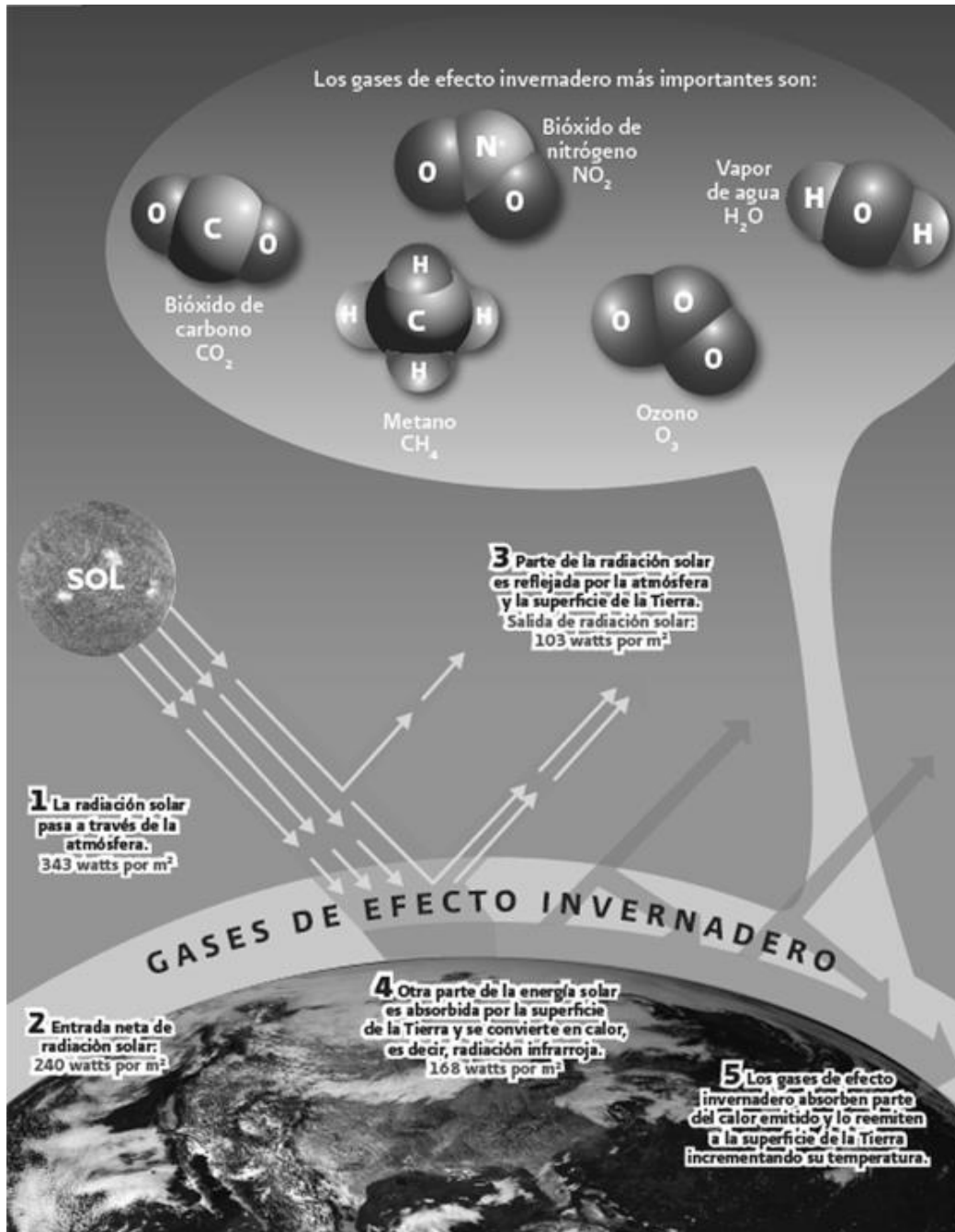


FIGURA 3.5: Efecto invernadero, (10).

### 3.4 Impacto en la biosfera por la actividad humana

Toda actividad humana afecta en mayor o en menor medida a su entorno, las actividades humanas que se realizaban anteriormente eran a una escala pequeña, si alguna activi-

dad intervenía en algún ciclo biogeoquímico, el efecto era mínimo. Actualmente las actividades realizadas por el humano se llevan a grandes escalas y sus efectos son cada vez mayores. La quema de leña, hojas y demás productos orgánicos de la naturaleza —que pueden entrar en ignición— han servido, como fuente de energía para el humano, los gases de efecto invernadero que se desprenden al aire libre de estos materiales, son los mismos que se consumieron para su formación, la combustión de estos materiales no altera los ciclos naturales. Ahora bien, las actividades que realizamos en la actualidad demandan grandes cantidades de energía<sup>48</sup>, las primeras fuentes y tecnología que se han usado y desarrollado hasta el momento en mayor medida, han sido los combustibles fósiles (energía no renovable); estas fuentes de energía son de gran importancia por su alto contenido energético, pero también son perjudiciales por las cantidades inmensas en las que se extraen y queman, en la obtención de energía. Estas fuentes liberan gases de efecto invernadero incorporándolos a los ciclos naturales, los efectos provocados son: la emisión de gases de efecto invernadero (lo cual altera los ciclos naturales, pues tales compuestos por los que están formados, no participaban en ellos, afectando el equilibrio en el planeta), la producción de residuos, la acidificación del suelo, destruyendo grandes extensiones de bosques, etc. La temperatura del planeta es regulada por los gases de efecto invernadero sin embargo, ahora estamos incorporando una gran cantidad de estos gases a la atmósfera, lo que incrementa el nivel de temperatura del planeta.

Las evidencias del cambio climático son estudiadas por diversos especialistas en todo el mundo, un grupo de especialistas es el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Las evidencias más notables del cambio climático se observan como se ha mencionado ya, en el incremento de la temperatura, también en las lluvias consecuencia del cambio de humedad atmosférica, en el derretimiento de los glaciales, en el aumento en el nivel del mar, en la gran cantidad de huracanes ocurridos recientemente y la pérdida de biodiversidad; en la FIGURA 3.7 se muestran algunos efectos atribuidos al cambio climático.

Sin embargo, aunque en este momento disminuyeran las emisiones de gases de efecto invernadero por la actividad humana, sus efectos seguirían manifestándose por mucho tiempo; estos gases presentan procesos con una inercia considerable, la temperatura del

---

<sup>48</sup>Incluyendo el derroche innecesario de energía por parte de nosotros.

planeta seguirá incrementándose durante un siglo más, el nivel del mar seguirá aumentando por la energía térmica contenida ahora en los océanos y, como consecuencia el derretimiento de los polos. Si no se disminuyen las emisiones de estos gases, mucha de la biodiversidad existente cambiará e incluso nosotros nos veremos en serios problemas.

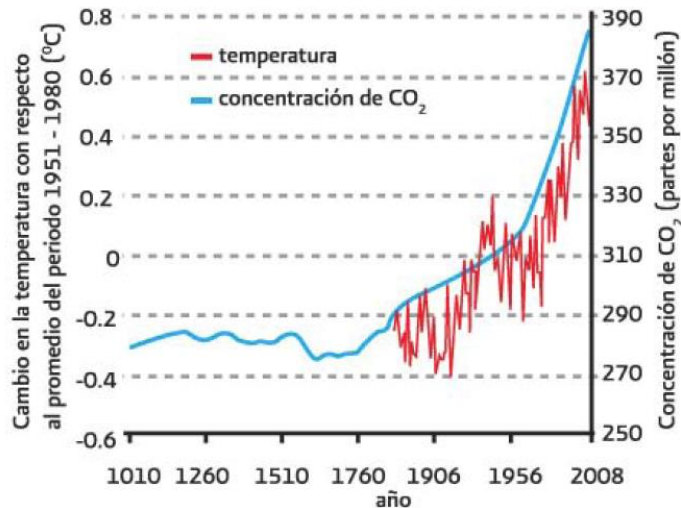


FIGURA 3.6: Relación entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> y el aumento de temperatura, (10).

### 3.5 Efectos nocivos sobre el medio y la salud

Los principales efectos por el uso de las fuentes de energía que más se usan en el mundo es su desprendimiento de gases nocivos para nosotros y para otras especies: contaminan el aire afectando el proceso respiratorio y la absorción del aire que tenga que ver con otros seres vivos. Otro de los efectos es el calentamiento global; el cual es un serio problema en el mundo, modificando abruptamente al ambiente (causando desastres ecológicos) ver FIGURA 3.7. Otras fuentes pueden provocar grandes daños a la salud e incluso pueden llegar a dañar el lugar donde se encuentran, desapareciendo casi por total la existencia de vida, como el uso de la energía nuclear. Otros pudiendo alterar una comunidad o población (como las centrales hidroeléctricas). La lluvia ácida es uno de los efectos provocados por la quema de combustibles fósiles y a las erupciones volcánicas que emiten óxidos de nitrógeno y azufre (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) la lluvia ácida por su nivel de acides afecta a las plantas, desprende del suelo minerales que son tóxicos y causa problemas respiratorios, así como daños en la infraestructura de la ciudades, la corrosión de los edificios y demás daños.



**FIGURA 3.7:** Eventos extremos, (11).

El uso de las energías renovables y su gran difusión en el mundo se debe en parte por los efectos del calentamiento global, por la disminución de los combustibles fósiles, y el alto precio de estos. En los problemas se pueden agrupar en tres ramas como los son: el medioambiental, que incluye el calentamiento global, la lluvia ácida y la contaminación de las grandes ciudades; el de sustentabilidad que involucra el agotamiento de los combustibles fósiles y por último problemas sociales y políticos debido a una gran dependencia de los países desarrollados con el petróleo y las continuas tensiones entre diferentes países por este recurso. Es por toda una serie de fenómenos tanto naturales, sociales y económicos por lo que toma gran relevancia el desarrollo de tecnología para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable, entendiendo este uso como un beneficio para nosotros sin alterar drásticamente la naturaleza, aunque indudablemente tendrá repercusiones sea de índole ecológico y social, sin embargo presentan una forma alterna para aprovechar fuentes de energía que no emitan gases de efecto invernadero, lo cual por lo que hemos visto son un gran problema mundial, el cual se trata de frenar.

El presente documento es un medio del que se puedan valer las personas para encontrar información sobre el tema, presentando el tema no como una solución completa y bien desarrollada, sino como la forma alternativa de contrarrestar en estos momentos los perjuicios ocasionados a la naturaleza por el uso de fuentes de energía no renovable, y poniendo énfasis en que aun falta muchos aspectos por desarrollar no solo en el ámbito tecnológico

sino con el social y cultural, también con aspectos ecológicos diferentes a lo relacionado con el cambio climático.

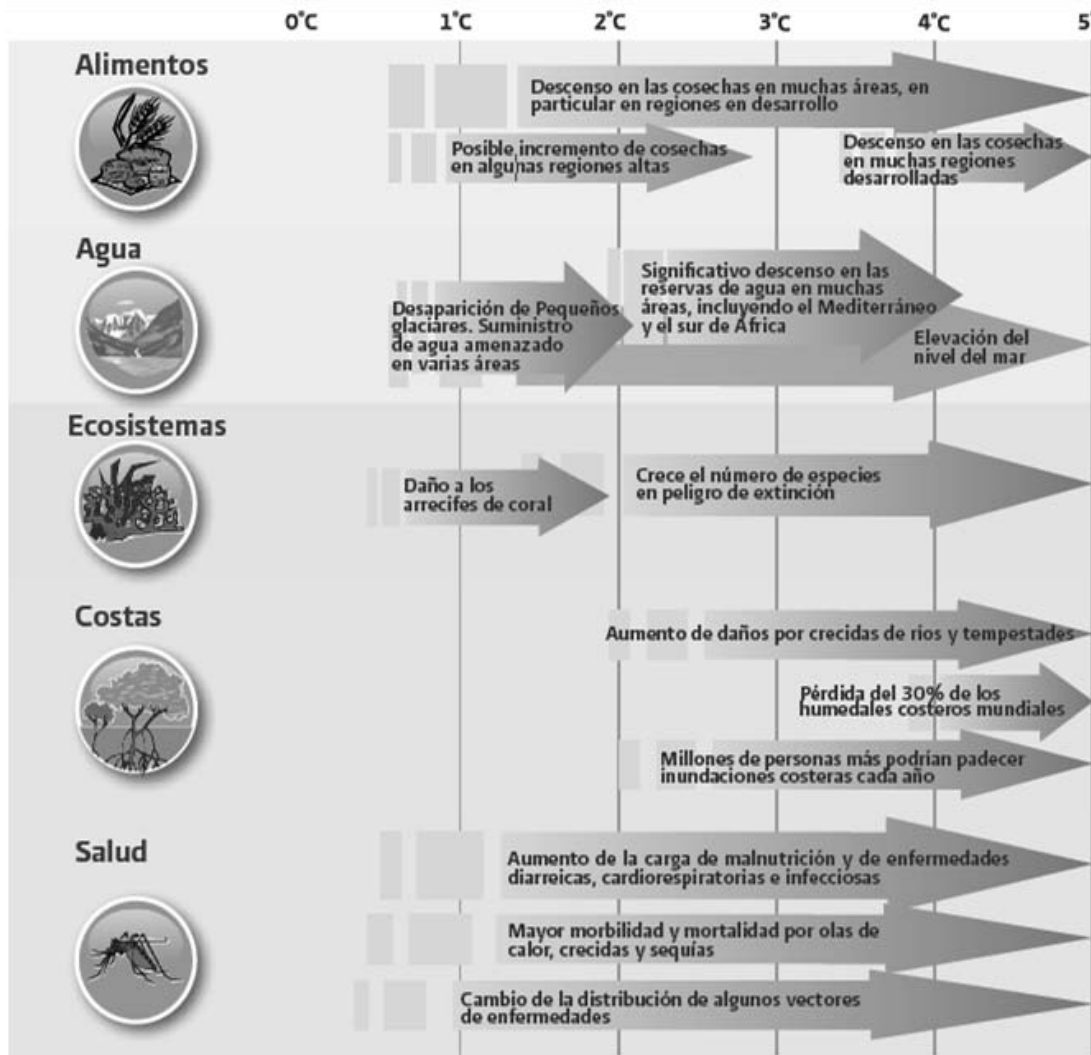


FIGURA 3.8: Impactos previsibles del cambio climático, (11).

### 3.6 Costo de los impactos ambientales

En una actividad económica se habla de los costos y beneficios que trae cierta actividad, y esto se nota en el precio del producto o servicio, sin embargo el precio de esto no incluye cosas externas al proceso de producción; no se toman en cuenta los daños o beneficios que tal materia trae al entorno o a la sociedad. Al tratar con fuentes de energía no sólo debe considerarse los costos y beneficios económicos que esta actividad acarrea, sin considerar los efecto medioambientales y sociales en los que ella repercutirá, para ello es necesar-



rio evaluar tanto costos y beneficios causados al ambiente y a la sociedad, del efecto en conjunto que conlleva una actividad económica, estas evaluaciones externas que provoca una actividad económica se les llama externalidades.

Por tanto una externalidad se entiende como todo aquel costo y beneficio que impacta sobre el medio y la sociedad, esto consecuencia de una actividad económica, los cuales no están incluidos en la estructura del precio del producto que ocasiona tales efectos.

Por ejemplo en la instalación de una fábrica de papel, el precio del papel estará relacionado con el costo de producción del material, el costo de operación y la materia prima, pero no incluye los costos y beneficios, que suponen un costo para el medio y la sociedad, como por ejemplo: esta fábrica es generadora de empleos, lo cual se considera un efecto positivo para la economía de una sociedad, también genera la deforestación de bosques lo que impacta de forma negativa al ambiente.

Medir los efectos externos que una actividad económica realiza, puede resultar complejo, ¿cómo medir el daño que provoca el ruido de los automóviles en las personas, o los problemas de salud que causa la emisión de gases nocivos, etc.? Todo esto resulta difícil de cuantificar. A la fecha se han elaborado metodologías para medir las externalidades en la producción de energía por fuentes renovables. En estos aspectos se puede considerar el efecto como: el daño a la salud, la contaminación en la producción agrícola, en los ecosistemas, en el agua, como también la alteración de zonas recreativas, emisiones de gases de efecto invernadero, la creación de empleos, reducción de movimiento migratorios internos, etc.

Las etapas de las metodologías con respecto a la energía eléctrica consisten en:

- Caracterización de la tecnología y cuantificación de los futuros usuarios de energía eléctrica.
- Cálculo de la concentración de contaminantes en el área de estudio, aplicando modelos de dispersión atmosférica.
- Estudio de la distribución de la población, el uso de la tierra, los ecosistemas existentes en el lugar y la distribución y uso del agua.
- Cálculo del impacto físico, a partir de las funciones dosis-respuesta que relacione la dosis recibida y el efecto producido en función del daño.
- Valoración económica de los efectos producidos.

Sin embargo aunque se emplee una metodología aun resulta difícil cuantificar con exactitud las externalidades, ya que estas se basan principalmente en resultados experimentos obtenidos por métodos estadísticos.

# Capítulo 4 Utilización de la energía eléctrica en México

En este capítulo como introducción se hablará primero de las actividades económicas, con el fin de entrar en el contexto de la energía desde otro punto de vista, el económico y del desarrollo social.

## Las actividades económicas

Las actividades económicas son aquellas acciones que realiza el humano para obtener, transformar e intercambiar los recursos que le ofrece la naturaleza. Así, cultivar la tierra es una actividad económica. También lo son elaborar una bolsa de plástico, construir un edificio o vender mercancías en una tienda. Existen tres tipos de actividades económicas: primarias, secundarias y terciarias (12).

- Las actividades económicas primarias tienen como finalidad obtener productos directamente de la naturaleza entre ellas encontramos: la agricultura, la ganadería, la pesca, la minería y la explotación forestal; de igual forma lo es extraer y captar energía de las fuentes disponibles.
- Las actividades económicas secundarias son las que transforman las materias primas en productos elaborados. Las actividades económicas secundarias son muy variadas y se realizan en lugares diversos, que van desde pequeños talleres hasta grandes fábricas, en el caso de la energía es transformar, la energía primaria obtenida de una fuente natural y convertirla en otro tipo de energía de acuerdo a nuestras necesidades, por ejemplo la energía solar es captada para transformarla en energía térmica o eléctrica.
- Las actividades económicas terciarias agrupan distintos tipos de servicios, el comercio, los transportes y las comunicaciones, con respecto a la energía la electricidad

generada en algún punto tiene que ser enviada hacia los puntos de consumo<sup>49</sup> dando un servicio a la comunidad.

Cuando un país adquiere productos de otro país, se dice que está “importando” productos.

Cuando un país le vende productos a otro país, se dice que está “exportando” productos.

La energía ya sea como energía primaria o energía secundaria puede ser importada o exportada.

## 4.1 Fuentes de energía utilizadas en México

Las fuentes de energía captadas y extraídas en nuestro país son los combustibles fósiles con un participación de (92.15%), el uranio (con 1.01%) y energía renovable como: la biomasa (con 3.90%), la geotérmica (con 1.47%), la energía hidráulica (con 1.26%), la energía eólica (con 0.14%) y la energía solar (con 0.07%)<sup>50</sup>.

La cantidad de energía primaria captada y extraída en México aparece en la TABLA 4.1. Esta energía es la energía explotada y producida dentro del territorio nacional, técnica y económicamente utilizable o comercializable. Esto último nos quiere decir que sólo una porción de la energía presente en el país es aprovechada. Hay diversas fuentes de energía en distintas partes del país, pero las cuales no son aprovechadas por motivos económicos, ecológicos o tecnológicos; sea porque se necesita invertir demasiado para captar o extraer la energía o porque afectaría una zona ecológica o una población humana o porque todavía no se cuenta con la tecnología para aprovecharla o están en desarrollo como lo es la fusión nuclear.

Podemos notar que la energía no renovable suma aproximadamente el 93% de la energía extraída en el país mientras que la energía renovable suma casi un 7%. Lo que nos

---

<sup>49</sup> Este término se refiere a la adquisición de energía por parte del usuario, obtenida a partir de una central generadora, se le denomina consumo porque la energía no vuelve al lugar donde fue generada, sino que el usuario hizo uso de esta por medio de dispositivos de transformación de energía o la empleo directamente para realizar alguna actividad y por tanto la energía pasa de un lugar a otro, por lo que la energía inicial no estará disponible para otros usuarios.

<sup>50</sup> Esto con respecto a la producción de energía primaria en 2012, la cual totalizó en 9 073.829 [PJ].

indica la dependencia que tenemos de los combustibles fósiles pero también indica la pequeña pero importante participación que está teniendo la energía renovable en la actualidad, con el fin de mitigar las causas que provocan el cambio climático y el alza de precios de los combustibles fósiles.

Sin embargo toda esta cantidad de energía primaria<sup>51</sup> no es la cantidad total que se transforma y se consume, hay varios cambios en esta cantidad debido a diversos factores como lo son: la exportación e importación de energía, algunos elementos como los hidrocarburos y la biomasa que no son usados para uso energético sino para elaboración de productos<sup>52</sup>, y la “pérdida” en la transformación de energía primaria a energía secundaria, entre las principales variables, en la FIGURA 4.1 se muestran los procesos en el uso y obtención de la energía desde su extracción hasta su consumo en nuestro país. Notemos también que de las fuentes de energía renovable existentes para su captación, la energía oceánica no participa como fuente de energía en nuestro país, sin embargo hay un proyecto en etapa de desarrollo en el estado de Baja California.

En 2012 la energía primaria y secundaria pasaron a los centros de transformación fue de 7 338.31 [PJ] y la energía no aprovechada o las “pérdidas” que tuvieron estos centros fue de 1 813.244 [PJ] dando un total de 5 524.47 [PJ] en la energía transformada, si pensáramos en los distintos centros de transformación como un solo sistema, la eficiencia de este sería  $\eta\% = \frac{E_{transformada}}{E_{entrada}}\% = \frac{5\,524.47}{7\,338.31} \times 100 = 75.3\%$ . Un sistema bastante aceptable para la transformación de energía.

Del total de energía primaria y secundaria que se destinan para la transformación (7 338.31 [PJ]), el 34.3% (2 520. 90 [PJ]) es para la generación de energía eléctrica, con “pérdidas” de energía de 1 453.03 [PJ] y una generación total de 1 067.87 [PJ]. Ahora si volvemos a considerar todas las centrales de energía eléctrica como un solo sistema, la eficiencia de este sería  $\eta\% = \frac{E_{transformada}}{E_{entrada}}\% = \frac{1\,067.87}{2\,520.90} \times 100\% = 42.4\%$  un sistema en donde más de la mitad de la energía no es aprovechada.

---

<sup>51</sup> Pueden ver las definiciones de energía primaria, secundaria y útil en 1.1.3.

<sup>52</sup> Por ejemplo la madera para la elaboración de papel y el petróleo para la elaboración de plásticos.

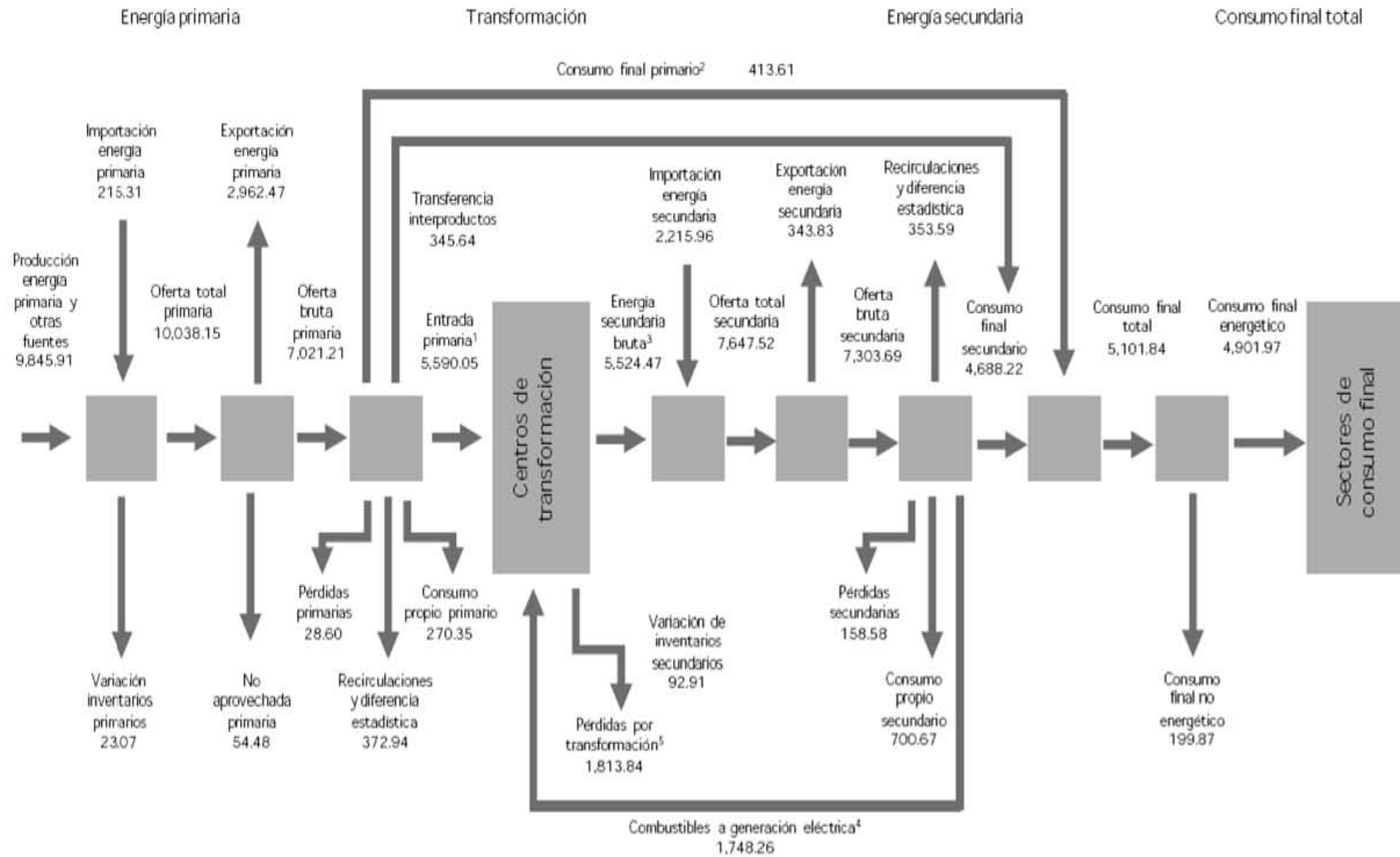


FIGURA 4.1: Estructura del Balance Nacional de Energía, (6).

TABLA 4.1: Energía primaria en el país en 2012, (13).

Tipo de energía	Energía [PJ]	Porcentaje [%]	No renovable [%]	Renovable [%]
<b>Hidrocarburos</b>	<b>8 033.58</b>	<b>88.54</b>	<b>88.54</b>	
Petróleo crudo	5 918.86	65.23		
Condensados	87.69	0.97		
Gas natural	2 027.03	22.34		
<b>Carbón</b>	<b>327.69</b>	<b>3.61</b>	<b>3.61</b>	
<b>Nuclear</b>	<b>91.32</b>	<b>1.01</b>	<b>1.01</b>	
<b>Renovable</b>	<b>621.24</b>	<b>6.85</b>		<b>6.85</b>
Biomasa	353.65	3.90		
Bagazo de caña	95.08	1.05		
Leña	256.74	2.83		
Biogás	1.82	0.02		
Geotérmica	133.13	1.47		
Hidráulica	114.68	1.26		
Eólica	13.12	0.14		
Solar	6.67	0.07		
<b>Total</b>	<b>9 073.83</b>	<b>100.00</b>	<b>93.15</b>	<b>6.85</b>

### ¿En que se utiliza la energía en México?

La energía es utilizada para realizar diversas actividades como la fabricación de productos, en el transporte, en la iluminación y en muchas actividades donde es necesario realizar trabajo, es requerida la energía. En lo que respecta al consumo energético, el consumo final de energía se muestra en la TABLA 4.2, (si se observa la FIGURA 4.1 es la parte final del proceso de energía desde su extracción hasta su uso) así como los sectores en los que se clasifican los usuarios de energía. De todos los procesos mostrados en la FIGURA 4.1 no se tratarán todos los procesos intermedios, esto con el fin de evitar confusiones al lector con el manejo de las cantidades, por ejemplo si se menciona un porcentaje en el uso de la energía renovable este podría ser para transformación o para un consumo final total, y a su vez este último sería tanto para el consumo energético como no energético. En lo que respecta a este trabajo se indicará en claro las cantidades y se indicará su participación de acuerdo a los procesos dados en la FIGURA 4.1.

TABLA 4.2: Consumo final de energía por sector en 2012, (13).

Sector	Energía [PJ]	Porcentaje (%)
<b>Residencial</b>	<b>771.33</b>	<b>15.74</b>
<b>Comercial</b>	<b>127.41</b>	<b>2.60</b>
<b>Servicio público</b>	<b>30.20</b>	<b>0.62</b>
<b>Transporte</b>	<b>2 282.35</b>	<b>46.56</b>
Autotransporte	2 098.21	42.80
Aéreo	121.19	2.47
Marítimo	32.67	0.67
Ferroviario	26.38	0.54
Eléctrico	3.91	0.08
<b>Agropecuario</b>	<b>160.05</b>	<b>3.26</b>
<b>Industrial</b>	<b>1 530.63</b>	<b>31.22</b>
Siderurgia	207.34	4.23
Química	90.58	1.85
Azúcar	41.36	0.84
Petroquímica de PEMEX	106.28	2.17
Cemento	139.50	2.85
Minería	59.69	1.22
Celulosa y papel	45.44	0.93
Vidrio	55.78	1.14
Cerveza y malta	16.11	0.33
Fertilizantes	1.27	0.03
Automotriz	14.35	0.29
Aguas envasadas	9.72	0.20
Construcción	13.20	0.27
Hule	9.15	0.19
Aluminio	0.00	0.00
Tabaco	0.51	0.01
Otras ramas	720.35	14.70
<b>Consumo energético total</b>	<b>4 901.97172</b>	<b>100</b>

A continuación se describen los sectores que aparecen en el consumo final de energía.

- El sector residencial se refiere al consumo de energía en los hogares de los habitantes del país, su empleo principal es para la iluminación para la cocción de los alimentos, refrigeración, etc.
- El sector comercial se refiere al consumo de energía que se realiza en los locales comerciales como las tiendas, los bancos, los hoteles, etc.
- El sector de servicio público es la energía utilizada en alumbrado público y el bombeo de agua.



- El sector transporte es la energía consumida por los distintos medios de transporte para su operación.
- El sector agropecuario la energía se utiliza para el bombeo de agua y riego, y para desempeñar todas las actividades relacionadas con la agricultura y la ganadería.
- El sector industrial comprende el consumo de energía de los procesos productivos que se llevan a cabo en las industrias.

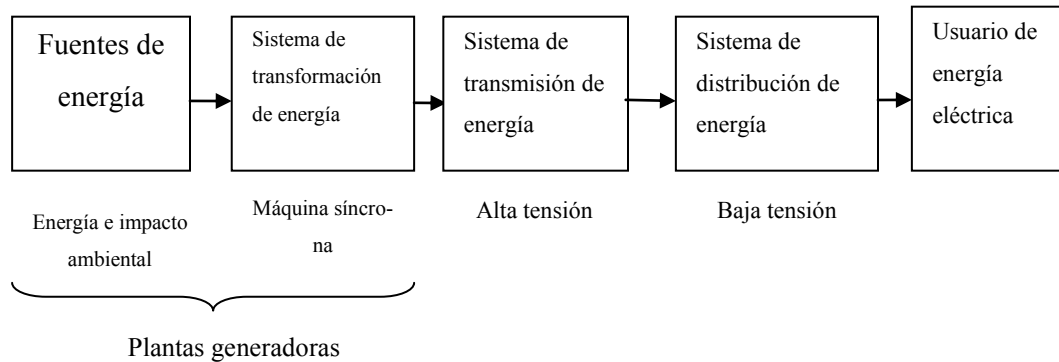
Como puede apreciarse en la TABLA 4.2 el mayor consumo de energía está en el sector transporte (46.56%) siguiendo en orden el sector industrial (31.22%), residencial (15.74%), agropecuario (3.26%), comercial (2.60%) y servicio público (0.62%). Como podemos ver en nuestros hogares podemos aportar para disminuir el consumo de energía pues el consumo por cada persona en el hogar al año es de  $E = \frac{771.33 \times 10^{15} \text{ [J]}}{117\,053\,700 \text{ [habitantes]}} = 6.59 \times 10^9 \text{ [J]}$ , lo que equivaldría a tener 9 lámparas fluorescentes de 23 W prendidas todo el día durante todo el año.

Debemos notar que en el consumo final de energía participan tanto la energía no renovable como la energía renovable; tanto energía primaria como energía secundaria de acuerdo con las clasificaciones que hemos visto y entre ellas se incluye la energía eléctrica, en fin se habla en general de la energía y su consumo.

En lo que concierne a la transformación de la energía primaria y energía secundaria en energía eléctrica y su empleo final se hablará más adelante, también de la energía renovable destinada para la generación de energía eléctrica.

## 4.2 El sistema eléctrico de potencia en México

Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos interconectados que realiza la generación, transformación, transmisión y distribución de la energía eléctrica (FIGURA 4.2 y FIGURA 4.3).

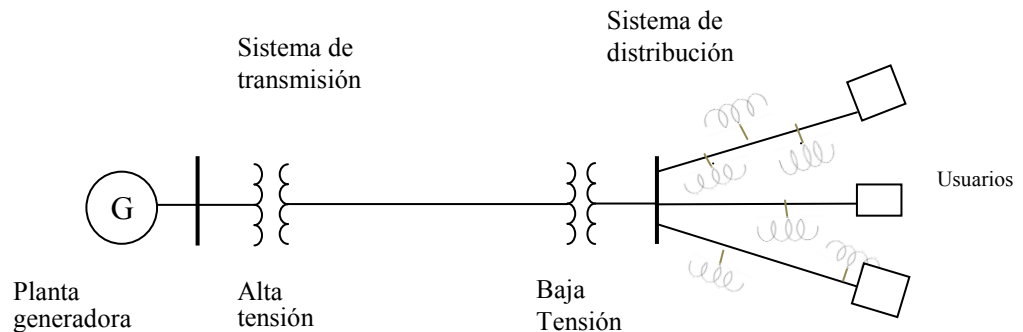


**FIGURA 4.2:** Sistema eléctrico de potencia.

Un sistema eléctrico de potencia consiste de centrales generadoras de electricidad, una red de transmisión y distribución para transportar la energía eléctrica producida en las centrales hacia los puntos de consumo, de igual manera el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se realice con las características de: regulación de tensión, continuidad de servicio y control de frecuencia requeridas.

1. La generación consiste en la *producción* de energía eléctrica a partir de las fuentes de energía.
2. La transmisión es el transporte de energía eléctrica desde los puntos de generación hacia los puntos donde se tendrá que distribuir.
3. La distribución o suministro, que se identifica por la conducción dentro de una región a través de una región específica para su entrega a los hogares, comercios, gobierno e industria.

En México el Sistema Eléctrico Nacional está conformado por el sector público y privado. El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es como su nombre lo indica un sistema eléctrico de potencia: un conjunto de instalaciones destinadas a la generación, transformación, transmisión y distribución de energía eléctrica, estén o no interconectadas.



**FIGURA 4.3:** Sistema eléctrico de potencia (diagrama unifilar).

El SEN está integrado por el sector público y la empresa encargada es la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el sector privado en donde están incorporadas las siguientes modalidades: autoabastecimiento, productor independiente, pequeña producción, cogeneración y exportación e importación de energía eléctrica. En la TABLA 4.3 se describen estas modalidades.

### 4.3 Evolución de la demanda de energía eléctrica

El conocimiento del humano sobre la carga eléctrica data de varios siglos a.C. cuando los griegos al frotar ciertos elementos observaron que se producía una fuerza entre los objetos frotados distantes. Sin embargo el estudio sobre estas partículas comenzó a finales del siglo XV de nuestra era y de ahí se dio inicio a la comprensión y aplicaciones que las partículas eléctricas traería hasta nuestros días.

El empleo de la energía eléctrica en nuestro país comenzó en 1879 con una planta generadora termoeléctrica usada en una fábrica textil, posteriormente varias plantas de generación de electricidad fueron empleándose en la minería y en la iluminación de los hogares

**TABLA 4.3:** Sector eléctrico mexicano, (14).

Sector público	
<i>Comisión Federal de Electricidad</i>	Es la empresa encargada del suministro de energía eléctrica al servicio público en la República Mexicana.
Sector privado	
<i>Cogeneración</i>	—Es la producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas;
	—Es la producción directa e indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate, y;
	—Es la producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.
	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, o;
	—Sean copropietarios de las instalaciones o miembros de la sociedad constituida para realizar el proyecto.
<i>Producción independiente</i>	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.
<i>Autoabastecimiento</i>	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.
<i>Pequeña producción</i>	Es la generación de energía eléctrica destinada a:
	La venta a CFE de la totalidad de la electricidad generada, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor de 30 MW en un área determinada.
	El 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.
	La exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.
<i>Exportación</i>	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 Comisión Reguladora de Energía (CRE) para realizar dicha actividad en la modalidad de que se trate.
<i>Importación</i>	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.

y lugares públicos; diez años después de la primera planta generadora de electricidad se pone en operación la primera planta hidroeléctrica en nuestro país (1889). A partir de entonces, la industria eléctrica pasó por muy diversas etapas, como: el esparcimiento de su uso en diversos sectores, la construcción de centrales eléctricas y el aumento de su capacidad de generación de para dar servicio a los habitantes del país y satisfacer la demanda de energía eléctrica, la normalización de las variables eléctricas —como lo es la tensión ( $v$ ) y

la frecuencia ( $f$ )— para la interconexión de diferentes sistemas de generación y la utilización de esta energía por parte de los usuarios para el funcionamiento y correcta operación de sus aparatos tanto eléctricos como electrónicos, la nacionalización de la industria eléctrica, etc. Ahora la mayoría de los habitantes del país contamos con el servicio de energía eléctrica.

La evolución del sistema eléctrico en nuestro país desde 1960 hasta años recientes ha cambiado; a continuación se describe este cambio<sup>53</sup>:

La capacidad instalada de generación en 1960 era de 3 021 MW y el suministro de electricidad se efectuaba mediante diversos sistemas aislados.

Al paso del tiempo, las redes regionales se interconectaron utilizando mayores tensiones de transmisión (400 kV y 230 kV), la frecuencia se unificó a 60 Hz, se desarrollaron grandes proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos, y se logró la diversificación del parque de generación mediante el uso de grandes fuentes de energía hidráulica, geotérmica, nuclear, carbón y eólica. En el campo de administración de la demanda, se estableció el horario de verano y el uso de tarifas con diferenciación horaria.

A partir de 2000 y con base en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) se permitió a Productores Independientes de Energía (PIE) la generación de energía eléctrica. Esta ley también ha permitido a los autoabastecedores privados usar la red de transmisión del servicio público a fin de transportar la energía producida hasta donde se ubican sus cargas.

En 2004 entró en operación la primera repotenciación de unidades termoeléctricas convencionales mediante el acoplamiento de unidades turbogás convirtiéndose en centrales de ciclo combinado. En 2005 se inició la conversión de unidades de turbogás existentes a ciclos combinados con la adición de turbinas de vapor.

En octubre de 2009 se publicó el decreto que declaraba la extinción de Luz y Fuerza del Centro (LyFC), organismo que suministraba la energía eléctrica en la región centro del país. El área de influencia de la extinta LyFC se localizaba en los estados de

---

<sup>53</sup> Ver referencia (28).

México, Morelos, Hidalgo, Puebla y el Distrito Federal, la cual ahora es atendida por CFE.

Al 31 de diciembre de 2010, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) contaba con una capacidad efectiva de 52 947 MW para el servicio público y un total de 833 081 km de líneas de transmisión y distribución (15).

Para llevar a cabo todas las actividades económicas, es indispensable el uso de la energía y en nuestra época es indispensable el uso de la energía eléctrica. Los usuarios de la energía eléctrica suelen agruparse en los siguientes sectores: doméstico, comercial, servicios, agrícola e industrial (empresa mediana, gran industria). En la TABLA 4.4 se muestra la cantidad de usuarios en el año 2012.

**TABLA 4.4:** Usuarios de la energía eléctrica en 2012, (13).

<b>Usuarios</b>	<b>Número de usuarios</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Residencial	32,189,614	88.433
Comercial	3,625,078	9.959
Servicios	189,695	0.521
Agrícola	124,162	0.341
Empresa mediana	270,366	0.743
Gran industria	889	0.002
<b>Total</b>	<b>36,399,804</b>	<b>100</b>

Como se puede observar en la TABLA 4.4 el mayor número de usuario radica en el sector doméstico con un poco más de 33 millones de usuarios.

La producción de energía eléctrica en el año 2012 se muestra en la TABLA 4.5.

**TABLA 4.5:** Electricidad [PJ] en 2012, (13).

<b>Producción bruta [PJ]</b>	<b>1 067.88</b>
Centrales eléctricas públicas	644.48
Centrales eléctricas PIE	299.59
Centrales eléctricas autogeneración	123.81

Como lo demuestra la FIGURA 4.4 el consumo total de energía por habitante ha aumentado pero hay periodos en donde tiende a estabilizarse después de un aumento. En cambio el consumo de energía eléctrica muestra un aumento constante donde podemos decir que cada año el consumo por habitante aumenta en 132.7 MJ cada año; el consumo de energía eléctrica en el sector doméstico es de 22% (189.98 PJ en 2012), sin embargo el sec-

tor que tiene un mayor peso en el consumo de energía eléctrica es el industrial con una participación de casi 63% (TABLA 4.6).

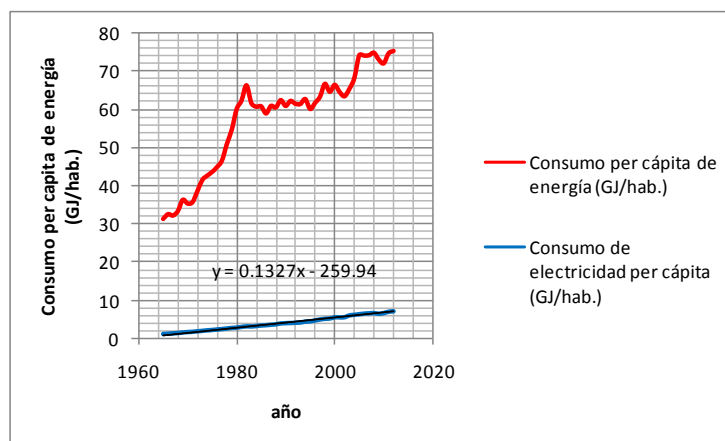


FIGURA 4.4: Consumo per cápita de energía en 2012, datos obtenidos de (13).

TABLA 4.6: Consumo final de energía eléctrica en 2012, (13).

Sectores	Energía (PJ)	Porcentaje (%)
Residencial	189.98	22.57
Comercial	50.40	5.99
Servicio público	30.20	3.59
Transporte	4.07	0.48
Industrial	528.13	62.74
<b>Total</b>	<b>841.71</b>	<b>100.00</b>

## 4.4 Desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible o sustentable tiene que ver con el desarrollo económico y social relacionado con el impacto al ambiente, de acuerdo con este concepto, toda la actividad humana debe realizarse procurando el mínimo impacto sobre el medio ambiente, esto con el fin de mitigar el daño que el humano causa a su entorno y por consiguiente asimismo alterando el equilibrio de los ecosistemas y explotando de forma inadecuada los recursos naturales que el planeta le brinda. Los términos sustentable y sostenible se usan como sinónimos y así los emplearemos en este trabajo<sup>54</sup>. Como se mencionó en el Capítulo

<sup>54</sup> Una definición de sustentable y sostenible en el que radican diferencias se da a continuación:

Sustentable: es el proceso por el cual se preservan los recursos naturales esto sin tener en cuenta las necesidades sociales, políticas o culturales del ser humano.

Sostenible: es un proceso en el cual se intentan satisfacer las necesidades económicas, sociales y medio ambientales sin comprometer de forma drástica los recursos naturales.

3 el humano modifica su entorno más que cualquier otra especie que habita el planeta, por esta razón tenemos una gran responsabilidad para preservar los ecosistemas existentes en la Tierra. El desarrollo sostenible promueve iniciativas financieras para un desarrollo económico viable, que mejore la calidad de vida de las personas desarrollando métodos adecuados en el uso de los recursos naturales.

En el caso de México se puede citar lo siguiente<sup>55</sup>:

«Durante los últimos años, se han desarrollado diferentes programas para el uso sustentable de la energía y algunos más están por desarrollarse. Como ejemplos pueden mencionarse los siguientes:

1. Los programas de alumbrado público estatales y municipales para la sustitución de luminarias públicas convencionales por ahorradoras de energía;
2. La sustitución de refrigeradores y aires acondicionados por aparatos nuevos y de bajo consumo a nivel doméstico;
3. La sustitución de lámparas incandescentes a nivel doméstico, y
4. El remplazo de motores industriales, entre otros.»

## **4.5 La generación de energía en México a partir de fuentes de energía renovable**

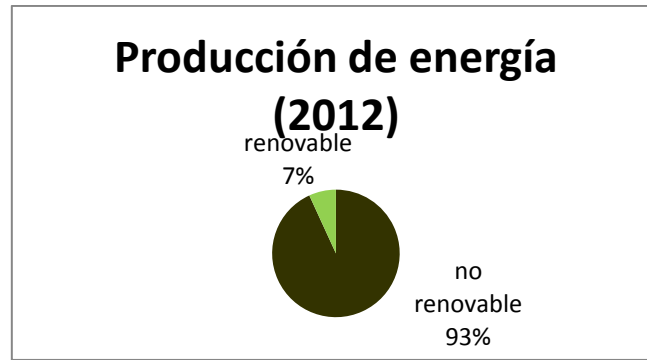
La contribución de la energía renovable en la producción de energía primaria en el país fue en el 2012 como lo muestra la TABLA 4.7.

La producción de energía primaria renovable en 2012 fue de 621.24 [PJ] que es el 6.8% del total de producción de energía primaria (9 073.82 [PJ]). De la cantidad de energía renovable producida 315.88 [PJ] se destinaron para la generación de energía eléctrica, 304 .15 [PJ] pasaron directamente para su consumo energético final y 0.16 [PJ] para su consumo no energético.

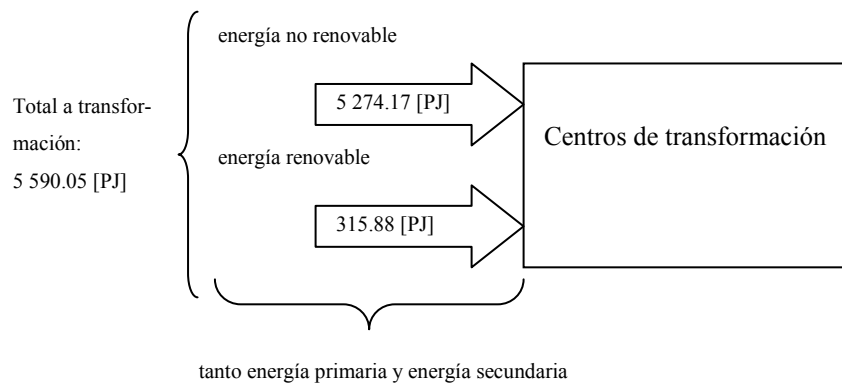
---

<sup>55</sup> Ver referencia (27).

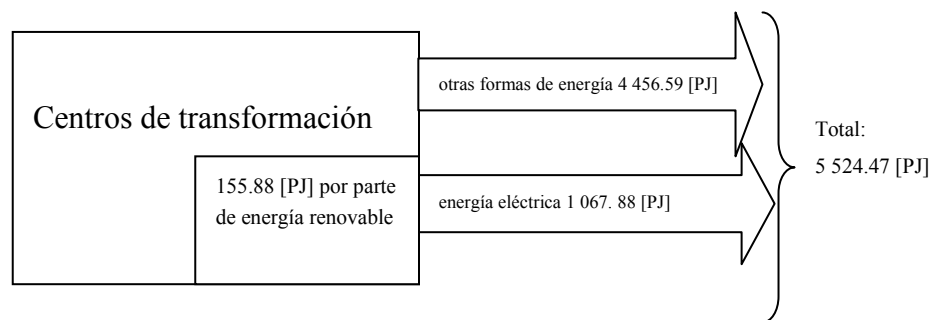




Del total de energía primaria que entró a los centros de transformación (5 590.05 [PJ]) el 5.65% fue a partir de energía renovable esto es 315.88 [PJ].



De la energía secundaria producida (5 524.47 [PJ]) en los centros de transformación 1 067.88 [PJ] fue para generar energía eléctrica y del total de esta última cantidad 155.88 [PJ] (14.6%) resultó por parte de energía renovable.



**TABLA 4.7:** Producción de energía renovable [PJ] en 2012, **(13)**.

<b>Energía renovable</b>	<b>621.24</b>
Biomasa	353.65
Bagazo de caña	95.08
Leña	256.74
Biogás	1.82
Geotérmica	133.13
Hidráulica	114.68
Eólica	13.12
Solar	6.67

## 4.6 Tecnología usada para el uso de la energía renovable

La tecnología que se utiliza en México para la generación de energía eléctrica con energía renovable se describe a continuación (16):

**Energía Eólica.** En México se genera energía eólica mediante máquinas generadoras de eje horizontal (la tecnología más utilizada en el planeta para la generación de energía eólica) y generadores de eje vertical. Con una capacidad de 597.6 MW en 2012.

**Energía Solar.** Existen dos formas de aprovechar la energía solar, la fotovoltaica y la termosolar. La primera mediante la transformación de la energía solar fotovoltaica en electricidad a través de paneles, celdas, conductores o módulos fotovoltaicos. La segunda mediante colectores de energía térmica a través de los cuales se hace pasar un fluido con el que se genera vapor. Con una capacidad para celdas fotovoltaicas de 6 MW.

**Energía Minihidráulica.** La energía minihidráulica es producida en instalaciones hidroeléctricas de capacidad limitada (menores a 30 MW). Con una capacidad de 11 497.6 MW.

**Energía Geotérmica.** Este tipo de energía es convertida en electricidad mediante turbinas y generadores que son alimentados mediante el vapor de los sistemas hidrotermales.

Entre las instalaciones geotérmicas existentes en nuestro país, destacan la de Cerro Prieto, Tres Vírgenes, Azufres y Humeros. Con una capacidad instalada de 811.6 MW.

**Energía de la Biomasa.** Este tipo de energía se obtiene de productos y residuos animales y vegetales al quemarla para producir calor o transformándola en combustible. Para

generar electricidad se utilizan sistemas para producir vapor que se conectan a turbinas o motores de combustión interna. Ambos equipos se conectan mecánicamente a un generador eléctrico.

En la TABLA 4.8 se enlistan distintas políticas, programas y proyectos relacionados con las energías renovables.

**TABLA 4.8:** Resumen de políticas, programas y proyectos, (17).

Política/ programa/ proyecto	Instituciones	Tecnologías	Vínculo
Programa Sectorial de Energía	SENER	Todas	<a href="http://tinyurl.com/prosener">tinyurl.com/prosener</a>
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables	SENER	Todas	<a href="http://tinyurl.com/PRenovables">tinyurl.com/PRenovables</a>
Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala	SENER, GEF, BM,	Eólica	<a href="http://tinyurl.com/36733h">tinyurl.com/36733h</a>
Proyecto de Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en el Sureste de México	SENER, GEF, BM	Solar, hidráulica, eólica, bioenergía	<a href="http://tinyurl.com/SIE">tinyurl.com/SIE</a>
Proyecto térmico solar Agua Prieta II	SENER, GEF, BM	Concentración solar	<a href="http://tinyurl.com/AguaPrieta">tinyurl.com/AguaPrieta</a>
Programa Energía Sustentable en México	SENER, CONUEE, CRE, CFE, GTZ	Todas	<a href="http://tinyurl.com/PES-GTZ-eng">tinyurl.com/PES-GTZ-eng</a>
Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México	CONUEE, GTZ, ANES	Calentamiento solar de agua	<a href="http://www.procaisol.gob.mx">www.procaisol.gob.mx</a>
Anteproyecto de Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico	SAGARPA	Biocombustibles	<a href="http://tinyurl.com/ppsibio">tinyurl.com/ppsibio</a>
Ante proyecto de Programa de Introducción de Bioenergéticos	SENER	Biocombustibles	<a href="http://tinyurl.com/pibioen">tinyurl.com/pibioen</a>
Programa de sustitución de fogones abiertos por fogones ecológicos	SEDESOL	Estufas de leña	<a href="http://tinyurl.com/pdzprior">tinyurl.com/pdzprior</a>
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	<a href="http://tinyurl.com/fae2009">tinyurl.com/fae2009</a>
Depreciación acelerada	SHCP	Todas	<a href="http://tinyurl.com/LISR2008">tinyurl.com/LISR2008</a>
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	<a href="http://tinyurl.com/MetExtern">tinyurl.com/MetExtern</a>
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	<a href="http://tinyurl.com/IntNalER">tinyurl.com/IntNalER</a>
Políticas y Medidas para Facilitar el Flujo de Recursos Derivados de los Mecanismos Internacionales de Financiamiento	SENER	Todas	<a href="http://tinyurl.com/MecFinanc">tinyurl.com/MecFinanc</a>

# Capítulo 5 Fuentes de energía renovable en México

Los recursos energéticos renovables con los que nuestro país cuenta son muy abundantes, sin embargo ello no indica que todas estas fuentes de energía sean técnica y económicamente viables para su aprovechamiento. Existen estudios para calcular el potencial de aprovechamiento de estos recursos naturales, en el corto y mediano plazo. De acuerdo a los estudios realizados los recursos energéticos renovables se clasifican en:

- Recursos: potencial teórico del recurso sin considerar ninguna restricción técnica, económica, social ni ambiental, resultado de una metodología de aceptación general de acuerdo a estándares internacionales.
- Posible: potencial teórico de capacidad instalable y generación de energía eléctrica de acuerdo a estudios indirectos, utilizando supuestos, sin estudios de campo que permitan comprobar su facilidad técnica y económica.
- Probable: indica que se cuenta con estudios directos e indirectos de campo, pero que no cuentan con suficientes estudios que comprueben su factibilidad técnica y económica.
- Probado: indica que cuenta con suficientes estudios técnicos y económicos que comprueban su factibilidad de generación de energía eléctrica.



FIGURA 5.1: Clasificación del potencial de las energías renovables, (5).

En la TABLA 5.1 se muestra el potencial de energías renovables en nuestro país.

TABLA 5.1: Potencial de generación eléctrica por fuentes renovables (GWh/año), (5).

Recursos	Geotérmica	Hidráulica	Oceánica	Eólica	Solar	Biomasa
Probado	513	3 771	---	11 411	1 876	644
Probable	45 207	23 028	---	---	---	391
Posible	52 013	44 180	---	87 600	6 500 000	11 485

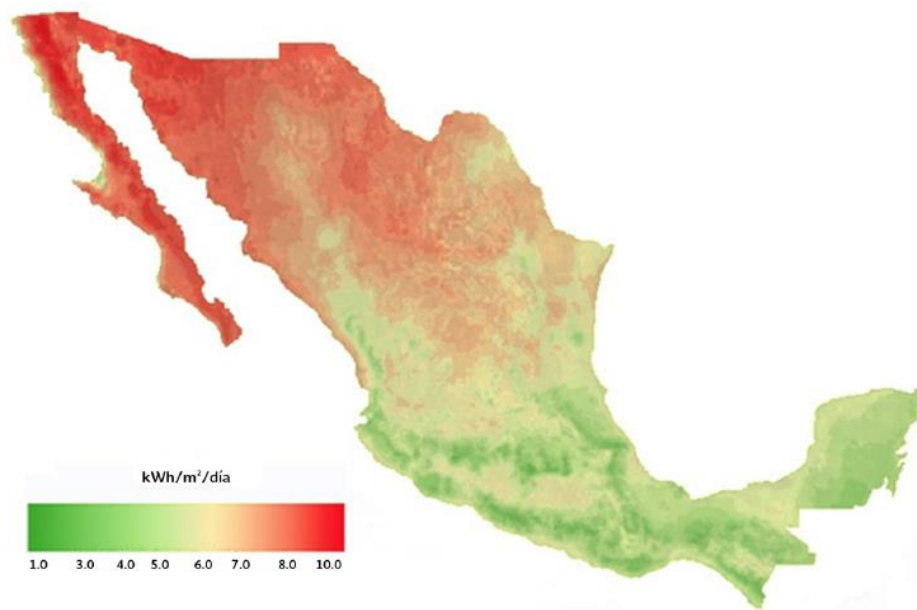
## 5.1 Energía solar

Para la estimación y evaluación de la energía solar en México se llevan a cabo diversos estudios donde se emplean modelos matemáticos e información de las imágenes satelitales para determinar el potencial de esta fuente de energía en nuestro país. Existen además dispositivos como las radiómetros de cavidad activa y los solarímetros que miden la insolación diaria ( $H = \int G dt \left[ \frac{J}{m^2} \right]$ )  $H$  es la insolación a lo largo del día y  $G$  es la constante solar en el Apéndice D se habla un poco sobre estas variables.

La radiación global media solar en nuestro país es aproximadamente de  $5.5 \left[ \frac{kWh}{m^2} \right]$  al día o lo que es igual a  $3.6 [MJ]$  cada día por metro cuadrado, si por ejemplo tenemos un área de  $5 [m^2]$  la energía irradiada en un día en ese espacio sería  $3.6 \times 5 = 18 [MJ]$ . Sin embargo la irradiación promedio diaria cambia a lo largo del día y de las estaciones del año<sup>56</sup>

<sup>56</sup> Esta variaciones de irradiación solar se pueden determinar por medio de la expresión ( D.3 ), ver más información en el Apéndice D:

estando en el siguiente intervalo  $3 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right] \leq \text{irradiación solar} \leq 8.6 \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$ . Si tomamos el valor mínimo de este promedio y suponiendo que toda la energía pudiera ser transformada casi completamente en energía eléctrica, su equivalente de energía durante un día por metro cuadrado ( $3 \text{ kWh} = 10\,800\,000 \text{ J}$ ) serviría para iluminar un foco incandescente de  $100 \text{ W}$  todo el día y para mantener iluminadas cinco lámparas fluorescentes de  $23 \text{ W}$  todo el día. En la FIGURA 5.2 que se muestra a continuación se presenta el nivel de irradiación a lo largo del país en el mes de junio.



**FIGURA 5.2:** Mapa de irradiación solar directa en el mes de junio, (18).

La capacidad instalada de celdas fotovoltaicas en 2012 fue en México de  $6 \text{ [MW]}$  y la generación de energía eléctrica en ese año por medio de esta tecnología fue de  $2\,076.424 \text{ [MWh]}$ .

«El desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos para generación de electricidad, superiores a  $500 \text{ kW}$  en México es relativamente nuevo, inició en 2011, con un proyecto privado en la modalidad de autoabastecimiento en el estado de Aguascalientes de  $3.8 \text{ MW}$ , y dos proyectos piloto desarrollado por CFE en 2012 de  $1 \text{ MW}$  en Sata Rosalía, Baja California Sur y otro de  $5 \text{ MW}$  en Cerro Prieto, Baja California. En cuanto al aprovechamiento de

---


$$G(n) = 1\,367 \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

la energía térmica en México no se cuenta con centrales en operación que utilicen exclusivamente este tipo de tecnología de aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, en el estado de Sonora se encuentra el proyecto Agua Prieta II, a cargo de la CFE, mismo que consiste de un sistema híbrido de ciclo combinado (477 MW) y de un campo termosolar de canales parabólicos con una potencia de 14 MW en un área de 600 000 m<sup>2</sup>. Se espera que el proyecto entre en operación en 2014, (18)».

**TABLA 5.2:** Irradiación solar global diaria promedio mensual en México (kWh/m<sup>2</sup>), (18).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínimo	3.1	3.3	3.1	3.8	4.1	4.4	4.5	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8
Máximo	5.4	6.3	6.6	7.5	8.3	8.6	7	6.6	6.7	6	5.7	5.6
Promedio	4.1	4.7	5.3	5.7	5.9	5.6	5.6	5.5	5.1	4.7	4.3	3.8

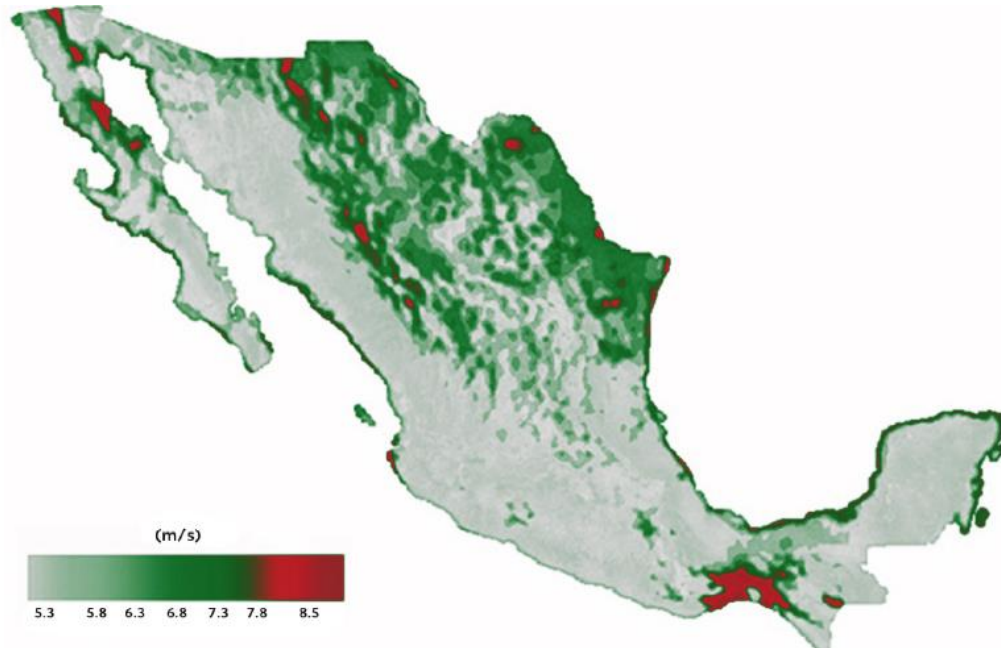
## 5.2 Energía eólica

Para calcular el potencial de la de energía eólica se han desarrollado de modelos numéricos de la atmósfera diseñados para proporcionar una visión general de los recursos del viento. Aunque en nuestro país no se han tomado las mediciones directas de manera exhaustiva sí se han realizado las mediciones en regiones específicas. En la FIGURA 5.3 se muestra la potencia por metro cuadrado.

La capacidad de las centrales eoloelectricas en 2012 fue de 597.6 [MW] y la generación de energía eléctrica fue de 1 744 144 [MWh].

«Los primeros desarrollos eólicos en México comenzaron con los proyectos de CFE Guerrero Negro (Puerto Viejo) y La Venta, inaugurados en 1982 y 1994 respectivamente, estos fueron los únicos proyectos hasta el año de 2009, cuando, a partir del desarrollo de la primera temporada abierta de reserva de capacidad en el estado de Oaxaca se inauguraron múltiples proyectos eólicos con participación privada. El mecanismo de temporadas abiertas permitió la planeación y desarrollo de nueva infraestructura de transmisión para el aprovechamiento del recurso eólico. Sin embargo, a pesar de que la línea de transmisión ya está en operación, diversos proyectos fueron afectados por la crisis económica mundial que redujo las alternativas de financiamiento desde el año 2009, por lo que se observaron algunos retrasos. En el Servicio Público, a partir de 2009 se desarrollaron cinco proyectos bajo el esquema de Productor Independiente de Energía, La Venta III y Oaxaca I, II, III y IV, adi-

cionando 510 MW de capacidad al entrar en operación en 2012. En la modalidad de autoabastecimiento, al 31 de diciembre de 2012 se encontraban en operación nueve proyectos con una capacidad instalada de 729.05 MW, de los cuales 690 MW se encontraban instalados en el estado de Oaxaca. Adicionalmente se encuentran en construcción o por iniciar obras 18 proyectos con una capacidad total de 1,778.15 MW que con los cuales se espera incrementen la capacidad hasta 2,923.2 MW en el corto plazo (18)».



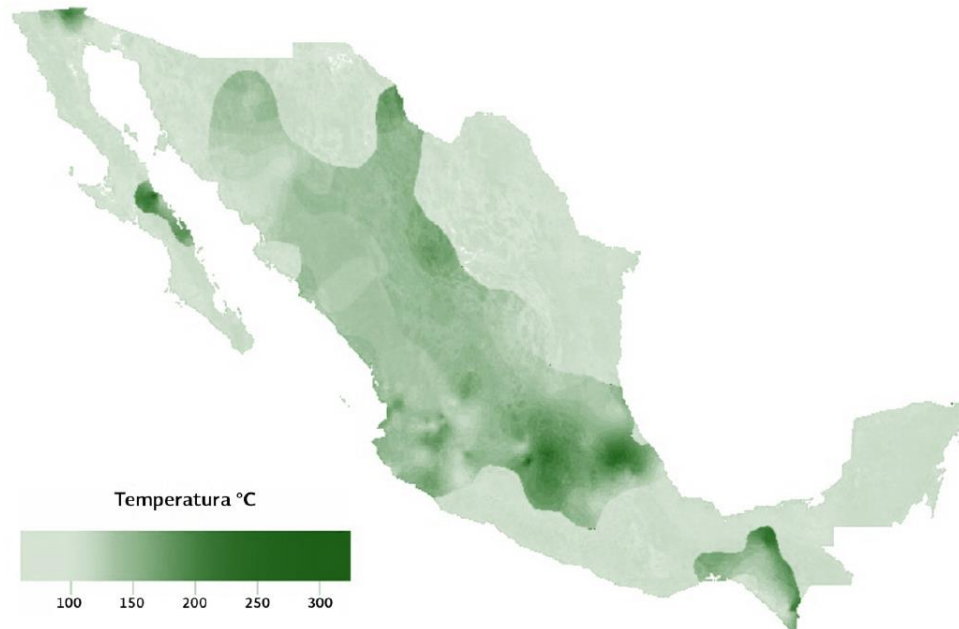
**FIGURA 5.3:** Densidad de potencia a 80 m en el mes de abril ( $W/m^2$ ), (18).

### 5.3 Energía geotérmica

Para determinar los recursos de fuentes de energía geotérmica, se recolectan muestras de los manantiales termales en donde se hacen estudios de la composición química del lugar, del tipo de agua y de las temperaturas de equilibrio entre el agua y las rocas, como un indicativo de las temperaturas probables en el subsuelo. Asimismo se investiga lo siguiente: a) existencia de una fuente primaria de calor, b) un reservorio o yacimiento receptor del calor con roca dentro de las cuales pueda circular el fluido confinado, c) una capa sello o cobertura impermeable sobre el yacimiento que ayude al almacenamiento del fluido calien-



te y que impida el escape de esta hacia la superficie. El mapa siguiente muestra los recursos geotérmicos en nuestro país.



**FIGURA 5.4:** Mapa de recursos geotérmicos en México, (18).

La capacidad de las centrales geotérmicas en México en el año 2012 fue de 811.6 [MW] y la generación de energía eléctrica fue de 5 816 642 [MWh].

«El desarrollo de la geotermia en México inició con el Proyecto Cerro Prieto I de 30 MW desarrollado por CFE en 1973. Su crecimiento ha continuado hasta alcanzar una capacidad instalada de 823.4 MW en 2012. El desarrollo de la geotermia para generación de electricidad en México había sido prácticamente un campo exclusivo de CFE, por el alto riesgo y costo del proceso de exploración. No obstante lo anterior, el 5 de septiembre de 2013, la CRE expidió el primer permiso para generación eléctrica por geotermia bajo el esquema de Autoabastecimiento por 35 MW. Esta planta se encuentra actualmente en construcción en el estado de Nayarit y se tiene previsto que una primera etapa entre en operación en 2014. Asimismo, la CRE otorgó otro permiso, bajo el esquema de Pequeño Productor la cual está por iniciar obras, con una fecha estimada de entrada en operación para 2016, (18)».

## 5.4 Energía hidráulica

En nuestro país se considera como fuente de energía renovable a las centrales hidroeléctricas menores a 30 MW. La capacidad total de las centrales hidroeléctricas en 2012 fue de 11 497.6 [MW] y la generación de energía eléctrica fue de 31 316 574 [MWh].

«La capacidad de generación hidráulica para servicio público que opera la CFE en centrales con una capacidad igual o menor que 30 MW se integra por 94 unidades en 42 centrales, con una capacidad total de 286.6 MW. Esta capacidad instalada para la generación eléctrica por medio de las plantas, mini y micro hidroeléctricas (menores que 30 MW) se concentra en 14 estados de la República. Cabe destacar la existencia de plantas instaladas hace ya más de cien años, las cuales siguen en servicio, como es el caso de las ubicadas en los estados de Hidalgo, México y Puebla. En lo que corresponde a plantas hidráulicas que no pertenecen al Servicio Público, la CRE otorgó 32 permisos de generación al 31 de diciembre de 2012 con una capacidad de 418 MW, las cuales están situadas en nueve estados de la República. De estas plantas, 26 tienen permiso para autoabastecimiento y 6 de pequeña producción, pero sólo 16 plantas se encuentran en operación con una capacidad de 148 MW, con una generación autorizada anual de 784 GW h/año, (18)».

## 5.5 Bioenergía

Para calcular la cantidad de la biomasa disponible para transformación de energía sólo se toma aquella materia orgánica que pueda ser utilizada sosteniblemente para fines energéticos, entre los que se considera la biomasa residual agrícola y forestal, residual industrial, residual urbana, residual pecuaria, cultivos especializados y bosques.

«La biomasa en México supone una oportunidad significativa de producción de electricidad competitiva y de bajo impacto ambiental. La capacidad actualmente instalada para la producción eléctrica por medio de la biomasa es de 677.8 MW, donde el 89.62% de la producción es por medio del aprovechamiento de la combustión directa del bagazo, el 6.61% proviene del biogás producido de los lodos residuales, agropecuarios, industriales y residuos sólidos urbanos, y el 3.76% proviene del licor negro producido en la industria papelera, (18)».

## 5.6 Externalidades

La Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) define a esta metodología de evaluaciones conocida como “externalidades” como: Los impactos positivos o negativos que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan a una tercera persona. Las externalidades ocurren cuando los costos o beneficios de los productores o compradores de un bien o servicio son diferentes de los costos o beneficios sociales totales que involucran su producción y consumo.

En México para valorar las externalidades, se elaboró el documento “Metodología para Valorar Externalidades Asociadas con la Generación de Electricidad en México” en este documento sólo se valora las emisiones de sustancias contaminantes producidas por la generación de energía eléctrica, esto se toma como un punto de partida, sin embargo debemos tener en cuenta que los efectos son diversos como la salud, e impactos al ecosistema ocasionados por otros efectos distintos a la emisión de contaminantes.

De manera simplificada se resumen expresiones para calcular cuestiones relacionadas con las externalidades.

- Cálculo de la generación de electricidad de acuerdo a la tecnología y combustibles fósiles usados durante un periodo:

$$MWh_{i,c} = \sum_{c=1}^n MWh_i$$

Donde  $MWh_{i,c}$  es la generación de energía eléctrica por el tipo de tecnología (i), con el combustible (c {combustóleo, gas natural, diesel, carbón y otros})

- Cálculo de emisiones de sustancias contaminantes

En esta parte se deberá estimar las sustancias contaminantes derivadas por la generación de energía eléctrica con una tecnología dada.

$$E_S = \text{Toneladas de emisiones de sustancias contaminantes}$$

- Valoración monetaria de la emisión de sustancias contaminantes

$$VM_{i,c} = \sum_{S=1}^n E_S P_S$$

Donde  $VM_{i,c}$  es el valor monetario de las emisiones por la tecnología (i) con el combustible (c),  $E_s$  representa la emisión de sustancias contaminantes y  $P_s$  es el precio por tonelada en dólares en la emisión de sustancias contaminantes.

- Valoración de las externalidades

$$X_{i,c} = \frac{VM_{i,c}}{MWh_{i,c}}$$

De esta manera se obtiene el valor en dólares por MWh de la externalidad para cada tecnología y combustible.

En la TABLA 5.3 aparecen los valores actualizados a precios de 2013, en la evaluación de externalidades en México

**TABLA 5.3:** Externalidades en la producción de electricidad, (19).

Valores unitarios del impacto de externalidades en la producción de electricidad ( $\$^{2013}$ / MWh)				
Combustible (Tecnología)	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PST (PM <sub>10</sub> )	TOTAL
Carbón (Carboeléctricas)	13.82	1.61	1.56	16.99
Combustóleo (Térmicas convencionales)	27.03	1.06	0.94	29.02
Diésel (Turbogás de baja eficiencia y caso particular CCC Valladolid II).	10.55	1.55	0.09	12.19
Gas (Ciclos combinados de alta eficiencia)	0.00	0.55	0.00	0.55
Gas (Turbogás de alta eficiencia, turbogás generación distribuida, ciclo combinado antiguo y térmica convencional)	0.00	0.58	0.00	0.58
Resto de tecnologías (Nuclear, geotérmica, eólica, solar, hidráulica)	-	-	-	-

En la TABLA 5.4 se muestra la cantidad de contaminantes en nuestro país.

**TABLA 5.4:** Externalidades, (19).

Combustible	Emisiones de CO <sub>2</sub> (Ton/MWh)	Costo de externalidad ( $\$^{2013}$ / MWh)
Combustóleo	0.822	58.04
Carbón	1.082	76.41
Gas natural	0.524	37.00

# Conclusiones

Debido a los problemas ambientales que presenta nuestro planeta, estos ocasionados por el uso de los recursos energéticos más empleados hasta ahora, se necesita frenarlos recurriendo a posibles soluciones, como lo son las fuentes renovables de energía, las cuales presentan beneficios con respecto a las fuentes no renovables como son: no emiten gases de efecto invernadero o son mínimos o son parte de los ciclos naturales (los cuales, su excesiva emisión han provocado el calentamiento global), como el nombre lo dice, estas fuentes se renueva constantemente, muchas de ellas por los ciclos naturales del planeta —por eso, mientras procuremos un estado de armonía con nuestro planeta podremos gozar de los beneficios que nos otorga la naturaleza— y cualquier país cuenta con más de una de estas fuentes de energía, no son un recurso energético del cual sólo contados países cuenten con él (como el petróleo). No obstante con las grandes ventajas que tiene la energía renovable con respecto a la no renovable, se presentan algunos problemas en cuanto a la tecnología y métodos para aprovecharla (como lo es la eficiencia de algunos dispositivos, las inversiones, el almacenamiento de la energía, los lugares idóneos de extracción de energía etc.), lo que nos indica la importancia que debe seguir teniendo el desarrollo en el uso de estas fuentes energéticas. Con el presente trabajo se pretendió indagar sobre las fuentes renovables de energía, la relación inherente que tienen con los ciclos y procesos naturales; tanto como las distintas tecnologías para su captación o extracción, mencionando también ventajas y desventajas que presentan de manera general en el aprovechamiento de estas fuentes.

Se ha visto con detalle el término “energía”, el por qué no se puede dar una definición en la ciencia de este término, la energía, una cantidad física, no puede definirse en general por medio de una(s) variable(s), se definen con estas sus diferentes formas, pero no en sí la energía y es en este sentido donde no existe una definición general del término energía. Se ha adoptando una manera de agrupar los distintos adjetivos que escuchamos a diario sobre la energía, como la energía potencial, energía solar, energía útil, ..., asociando estos diferentes términos dentro de criterios de clasificación como son: la disponibilidad que hay en el planeta y la forma en cómo la obtenemos y utilizamos; ejemplificando esto mediante sucesos que notamos a diario y en los cuales podemos ver la forma de energía que se está

tratando; podemos recurrir a las definiciones de la energía de acuerdo a su clasificación, y en base a esto decir si una fuente de energía es renovable o no, energía útil o secundaria, etc. Por ejemplo en muchos documentos se considera a las grandes centrales hidroeléctricas como no renovables, sin embargo puede que no sea cierto, si el recurso en cierto lugar se regenera a medida que se usa, entonces debe considerársele energía renovable y en caso contrario no renovable, mas el motivo por el que no se les considera renovable, es por los efectos negativos que provocan en la región, pero a esto alude otro término el de ser no sustentable. Otra cosa que se puede concluir de las definiciones dadas es cuestionarnos sobre las fuentes geotérmicas de energía, si son o no renovables y desde que punto de vista; ya que los yacimientos geotérmicos se explotan a un ritmo más rápido de lo que tardan en regenerar su energía, puede pensarse en este tipo de fuente como no renovable, si vemos en el término renovable sólo aquella energía que podemos aprovechar; no obstante si consideramos al término en general, es decir vemos al término renovable como toda aquella forma de energía permanente o que se renueva a medida que se emplea aunque no la podamos aprovechar, entonces la energía geotérmica es renovable, pues la energía interna de la Tierra, tardará mucho tiempo en agotarse, considerándola como una fuente permanente de energía, con este fin se han dado las definiciones para calificar a las fuentes de energía. Podemos decir entonces, con respecto a las tecnologías y formas de extracción de la energía renovable, que en su generalidad no implican que sean amigables con el ambiente ni que todas las fuentes de energía las podamos aprovechar, sino sólo son una forma de energía que no se termina a medida que se usa. Si en los lugares donde se extrae la energía no son los adecuados o se usa una tecnología inadecuada, sea por problemas que pudieran atraer a los ecosistemas o a la misma población, la extracción de la energía no debería considerarse una solución a los problemas medioambientales que se presentan en la actualidad, pues traerá problemas de los que probablemente no sabremos su magnitud en un futuro, como ha sucedido con el uso de los combustibles fósiles cuando comenzaron a emplearse; por esto, no siempre que escuchemos, la implementación de tecnología para el aprovechamiento de energía renovable, lo asimilemos como un forma de extracción amigable con el medio, estas lo son en la medida en que lo perjudiquen menos. Sólo para recalcar las energías renovables están presentes en nuestro entorno forman parte de los procesos y ciclos naturales, ellas no perjudican al medio forman parte de él, lo que podría dañar a nuestro entorno so-

mos nosotros al extraer la energía de estas fuentes de manera inadecuada e inconsciente. Por esta razón se mencionan tanto las ventajas y las desventajas con respecto a la tecnología empleada en la extracción de energía de las fuentes renovables.

La mención de, la transformación *directa* de un tipo de energía a energía eléctrica es, porque nos permite tener una idea general de cómo obtener energía eléctrica sin procesos intermedios de transformación, con el fin de ver transformaciones en donde las “pérdidas de energía” se reduzcan, con esto podemos acercarnos a entender mejor el comportamiento de la energía eléctrica; y en un futuro y con más conocimiento utilizarla para aprovechar las fuentes de energía en nuestro país de un mejor modo con dispositivos más eficientes.

Se han dado cifras de la extracción de energía en nuestro país y la participación que están teniendo las fuentes renovables, debemos ver a las fuentes de energía renovable principalmente como recursos donde obtenemos energía pero sin impactar drásticamente nuestro planeta, con el respeto al medio ambiente sin desviarnos de este objetivo principal, ya no solo en dejar de emitir gases de efecto invernadero sino procurar un estado de equilibrio entre los ecosistemas al momento de emplear estas fuentes de energía, se deberán seguir adoptando nuevas formas y seguir estudiándolas para mejorar el aprovechamiento en las fuentes de energía. México posee grandes recursos naturales y entre ellos se cuentan sus diversas fuentes de energía renovable, tenemos que seguir aprendiendo a aprovechar de manera adecuada estas fuentes para un mejor desarrollo, en fin la riqueza de un lugar depende de sus recursos naturales y la forma en que se aprovechan.

El uso de las fuentes no renovables durante los últimos siglos ha provocado cambios perjudiciales para el planeta, por lo que tenemos que frenar los daños ocasionados por el empleo de este tipo de fuentes, no sólo son perjudiciales para otras especies sino también para nosotros, puesto que todo en el planeta está relacionado cualquier cambio que altere su naturaleza impactará sobre todo, de alguna manera. El aprovechamiento de las fuentes de energía renovable está teniendo gran auge por lo que en un futuro pueden que sean las principales fuentes energéticas, no obstante debemos de tener siempre en mente que el uso de estas fuentes deben respetar a los ecosistemas, en cualquiera de sus formas, debemos contribuir al desarrollo de los métodos y tecnología para un buen aprovechamiento.

# Apéndice A Ejemplos

## Trabajo

En mecánica se define trabajo, como el producto de la fuerza que se aplica sobre un objeto por la longitud del desplazamiento causado por esta fuerza, ver FIGURA 1.6, la expresión ( A.1 ) se usa para calcular el trabajo efectuado en algún objeto:

$$W = Fd \quad (A.1)$$

Sin embargo no siempre podremos notar el desplazamiento producido por una fuerza o ni siquiera conocer la fuerza, pero podemos conocer el tipo de interacción que se da en principio. Por esta razón en la termodinámica una de las ramas de la física se da una definición más amplia que en la mecánica de lo que es el trabajo. Que define al trabajo como *la interacción entre un sistema y sus alrededores; y lo efectúa el sistema si el único efecto externo a las fronteras de este pudo haber sido el levantamiento de un peso ( $w = mg$ )*.

¿Cómo se puede entender esto?, no siempre veremos que un sistema o cuerpo efectúe trabajo sobre otro al aplicarle una fuerza y desplazarlo. Como es el caso de un resistor eléctrico que se usa como calentador. Al conectar el resistor o alambre al contacto de energía eléctrica de nuestro hogar, la energía eléctrica provoca el movimiento de los electrones libres a través de este (FIGURA A.1), que al ir chocando con las partículas “fijas” del material incrementa su temperatura; y este es el efecto que nosotros notamos y no el movimiento de electrones, sin embargo el sistema (en este caso el suministro de energía eléctrica) efectuó trabajo sobre el resistor y no transferencia de energía en forma de calor, este fue el efecto secundario, ver también sección 1.6.



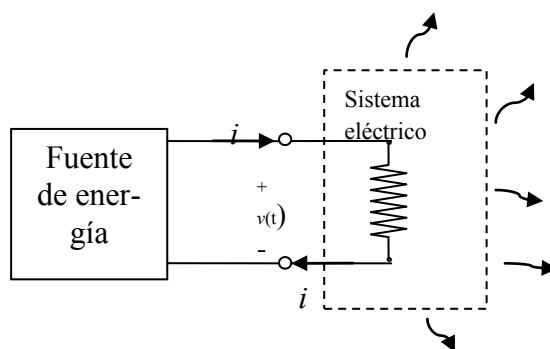


FIGURA A.1: El trabajo en un circuito eléctrico.

## Energía mecánica en la Tierra

La fuerza presente entre dos cuerpos con masa está expresada por relación ( A.2 ):

$$F = G \frac{mM}{d^2} \quad (\text{A.2})$$

Las variables presentes son:  $F$  es la magnitud de la fuerza que cada uno de los cuerpos se ejercen mutuamente,  $m$  y  $M$  son las masas de los cuerpos y  $d$  es la separación a la que se encuentran los centros de masa de los cuerpos. La constante de proporcionalidad  $G$  tiene un valor igual a  $6.673 \times 10^{-11} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \right]$

Dado que la interacción de los cuerpos con masa presentes en la Tierra no son tan masivos, no podemos notar un cambio en los cuerpos por las fuerzas que se ejercen mutuamente.

**Ejemplos:** Si pensamos primero en la fuerza de la masa de la Tierra que ejerce sobre otros cuerpos presentes en su superficie podemos calcular una constante muy conocida. La masa de la Tierra es  $5.978 \times 10^{24}$  [kg], el radio de su centro a la superficie terrestre es 6 370 [km] y dada la expresión ( A.3 ) podemos obtener una constante:

$$F = \left( G \frac{M}{d^2} \right) m \quad (\text{A.3})$$

Donde

$$G \frac{M}{d^2} = g = 9.82 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Y este valor es conocido como la constante de gravedad terrestre ( $g$ ), quedando la expresión como:

$$F = gm = w = mg$$

La cual es la fuerza que cualquier objeto ejerce sobre la Tierra y que la Tierra ejerce sobre cualquier objeto en su superficie, mejor conocido como peso ( $w$ ).

Ahora pongamos otros dos ejemplos utilizando la expresión para obtener la fuerza ejercida sobre dos cuerpos distintos del de la Tierra.

**Ejemplo:**

Sea un cuerpo con masa  $m = 100$  kg y otro cuerpo con masa  $M = 500$  kg con una separación de 3 m. Usando la expresión obtenemos que las fuerzas ejercidas mutuamente por ambos cuerpos es la misma y es igual a:

$$F = 6.673 \times 10^{-11} \frac{(100)(500)}{(3)^2} = 370.72 \times 10^{-9} \text{ [N]}$$

**Ejemplo:**

Sea un cuerpo con masa  $m = 10\,000$  kg y otro cuerpo con masa  $M = 500\,000$  kg con una separación de 0.1 m. Usando la expresión obtenemos, la fuerza ejercida por cada uno.

$$F = 6.673 \times 10^{-11} \frac{(10\,000)(500\,000)}{(0.1)^2} = 33\,365 \text{ [N]}$$

Sobre cualesquiera dos cuerpos se ejerce una fuerza entre ellos, sin embargo la fuerza que se ejerce entre un cuerpo y la Tierra (fuerza llamada peso  $w$ ) es más fuerte que la que se pudiera ejercer sobre cualquier otro cuerpo presente en ella, es por esta razón que no vemos que dos cuerpos se atraigan ya que para que esto suceda tendría que vencerse la fuerza de su peso y la fuerza de fricción sobre la superficie en la que se encuentre el cuerpo. Por tanto la única fuerza que podemos notar a simple vista es entre cualquier cuerpo y la Tierra, y lo observamos cuando los cuerpos caen, esto es, se altera su estado de movimiento.

Para el ejemplo uno el peso de los cuerpos  $m$  y  $M$  es:

$$w_m = 982 \text{ [N]}$$

$$w_M = 4\,910 \text{ [N]}$$

Respectivamente y la fuerza ejercida sobre estos cuerpos es:  $F = 370.72 \times 10^{-9} \text{ [N]}$  mucho menor que cualquiera de las dos anteriores.

Para el ejemplo dos los pesos de los cuerpos son:

$$w_m = 98\,200 \text{ [N]}$$

$$w_M = 4\,910\,000 \text{ [N]}$$

Y la fuerza ejercida sobre estos cuerpos es:  $F = 33.365 \text{ [N]}$  mucho menor que cualquiera de las dos anteriores.

## Términos usados que puedan representar confusión

Fuentes de energía  $\equiv$  Fuentes alternas de energía (renovable y no renovable)

Energía primaria  $\equiv$  Fuentes de energía primaria (renovable y no renovable)

Energía renovable  $\equiv$  Energía permanente

Energía secundaria  $\equiv$  Fuentes de energía secundaria (renovable y no renovable)

Fuentes de energía  $\equiv$  Energía primaria  $\leftrightarrow$  La energía primaria se extraen en grandes cantidades

## Consumo de energía

En los dispositivos eléctricos y electrónicos vienen los valores nominales de operación del aparato, estos valores son para que funcionen adecuadamente, tales como la tensión eléctrica ( $v \text{ [V]}$ ), la corriente eléctrica ( $i \text{ [A]}$ ), la frecuencia ( $f \text{ [Hz]}$ ) y la potencia que requiere ( $P \text{ [W]}$ ).

**TABLA A.1:** Consumo de energía en aparatos eléctricos.

Dispositivo eléctrico	Potencia [W]	Energía requerida en 1 segundo [J]	Energía requerida en 1 hora [J]
Foco incandescente	100	100	360 000
Lámpara fluorescente	23	23	82 800
Refrigerador	575	575	2 070 000
Plancha	1 200	1 200	4 320 000
Licuada	350	350	1 260 000
Horno de microondas	1 200	1 200	4 320 000
Estéreo	75	75	270 000
Lavadora	375	375	1 350 000
Televisión	150	150	54000
Bomba para agua	400	400	1 440 000
Computadora	150	150	540 000
Reproductor de DVD	25	25	90 000

## Potencia

La potencia es la cantidad de energía que recibe o da un elemento en una unidad de tiempo. Manejando el sistema internacional de unidades, se define el watt [W] como la energía, medida en joules, recibida o dada en cada segundo a un sistema, esto es:

$$P \text{ [W]} = \frac{E \text{ [J]}}{t \text{ [s]}}$$

De la expresión anterior podemos obtener la energía entregada a nuestros dispositivos electrodomésticos si conocemos el valor nominal de la potencia y el tiempo que lo usamos.

$$E \text{ [J]} = P \text{ [W]} \times t \text{ [s]}$$

### Ejemplo:

Si encendemos una lámpara fluorescente durante las noches en un lapso de tiempo de 3 horas, la energía consumida en ese tiempo, la calculamos conociendo la potencia y el tiempo.

Si la potencia de la lámpara es de 23 W.

$$E[\text{J}] = 23 [\text{W}] \times 10\,800[\text{s}] = 248\,400 [\text{J}]$$

Como podemos notar la cantidad de energía es muy grande, entonces para manejar estos números es más fácil usar los múltiplos para la cantidad de energía, como los que se enlistan en la TABLA A.2:

**TABLA A.2:** Prefijos y su valor.

Nombre	Símbolo	Valor
Peta	P	1 000 000 000 000 000
Tera	T	1 000 000 000 000
Giga	G	1 000 000 000
mega	M	1 000 000
Kilo	k	1 000

En nuestro resultado si manejamos el prefijo kilo el resultado queda de la siguiente forma:

$$E[\text{kJ}] = 248.4 \left[ \underbrace{(\times 1\,000)}_{\text{prefijo kilo}} \text{ J} \right] = 248.4 [\text{kJ}]$$

Ahora imaginemos la cantidad de energía requerida por todos nuestros aparatos en un día, si lo multiplicamos por 365 días para obtener la energía consumida en nuestro hogar durante todo un año y si aparte lo multiplicamos por la cantidad de usuarios en el país, la cantidad de energía que resulta es gigantesca por ese motivo se emplean los múltiplos correspondientes. Otro término para representar la energía y que viene en nuestros recibos de energía eléctrica (o luz) es el kilowattthora [kWh] y este valor lo obtendremos a continuación:

Donde kilo es el múltiplo, W es la unidad de potencia en el sistema internacional y h es una unidad de tiempo. Como hemos visto anteriormente la potencia por el tiempo da energía y el prefijo es un multiplicador. Si queremos obtener el equivalente de esta unidad en [J].

El procedimiento es como sigue:

$$1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$$

$$1 \text{ k} = 1\,000$$

$$1 \text{ [W]} \times 1 \text{ [s]} = 1 \text{ [J]}$$

$$1 \text{ [kWh]} = 1 \left[ \left( \underbrace{1000}_{\text{prefijo kilo}} \right) \underbrace{(1 \text{ W})(3\,600 \text{ s})}_{1 \text{ [W]} \times 1 \text{ [s]} = 1 \text{ [J]}} \right] = 3\,600\,000 \text{ [J]}$$

$$1 \text{ [kWh]} = 3\,600\,000 \text{ [J]}$$

Ahora si en nuestro recibo de energía eléctrica nos marca que consumimos 5 [kWh] por “día” entonces la energía consumida en joules es igual a:

$$5 \text{ [kWh]} = 5 \left[ \underbrace{3\,600\,000 \text{ [J]}}_{1 \text{ [kWh]} = 3\,600\,000 \text{ [J]}} \right] = 18\,000\,000 \text{ [J]}$$

La cantidad de energía en [J] es muy grande por esta razón se expresa en otra unidad, que en este caso es el [kWh].

## ¿Cómo intercambiar una unidad por otra?

Primero debemos ver su equivalencia de una unidad a la otra. Es decir  $n$  cantidad con unidad [x] equivale a  $m$  cantidad con unidad [y].

$$n \text{ [unidad x]} = m \text{ [unidad y]}$$

### Ejemplo:

Lo más conveniente es expresar  $n=1$ .

$$1 \text{ [unidad x]} = m \text{ [unidad y]}$$

$$\underbrace{1}_{\text{cantidad } n} \underbrace{[\text{eV}]}_{\text{unidad x}} = \underbrace{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}}_{\text{cantidad } m} \underbrace{[\text{J}]}_{\text{unidad y}}$$

Una vez que tengamos la equivalencia de una cantidad a otra, como la mencionada anteriormente, sustituimos la unidad [x] por la cantidad  $m$  pero ahora con la unidad [y]. Como la cantidad  $n$  es uno no afecta en nada tomar sólo la unidad [x]. Esto es:

$$[\text{eV}] = 1.602\,176\,462 \times 10^{-19} \text{ [J]}$$

**Ejemplo:** Si queremos convertir 35.3 [eV] a [J].

$$35.3 \quad \frac{[eV]}{[eV]=1.602\,176\,462 \times 10^{-19} [J]} = 35.3 \left\{ 1.602\,176\,462 \times 10^{-19} \frac{[J]}{\text{ahora con la unidad y}} \right\}$$

$$= 56.557 \times 10^{-19} [J]$$

Ahora si tenemos la misma equivalencia pero queremos convertir de la unidad [y] a la unidad [x], entonces dividimos la cantidad  $n$  entre la cantidad  $m$  y así obtenemos  $m=1$  es equivalente a  $n$  [x] unidades:

$$1 \text{ [unidad x]} = m \text{ [unidad y]}$$

$$\frac{1}{m} \text{ [unidad x]} = \frac{m}{m} \text{ [unidad y]}$$

$$\frac{1}{m} \text{ [unidad x]} = 1 \text{ [unidad y]}$$

$$1 \text{ [unidad y]} = \frac{1}{m} \text{ [unidad x]}$$

Y se continúa con el procedimiento anterior para cambiar:

**Ejemplo:** Si quiero convertir 15 [J] en [eV], pero solo tengo la equivalencia de [eV] a [J], entonces el procedimiento es como sigue:

$$1[eV] = 1.602\,176\,462 \times 10^{-19} [J]$$

$$\frac{1}{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}} [eV] = \frac{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}}{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}} [J]$$

$$\frac{1}{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}} [eV] = 1 [J]$$

Ahora tenemos la equivalencia de J a eV:  $1 [J] = \frac{1}{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}} [eV]$

Y para convertir 15 [J] a [eV] sigo los pasos del primer ejemplo:

$$15 [J] = 15 \left\{ \frac{1}{1.602\,176\,462 \times 10^{-19}} [eV] \right\} = 9.362 \times 10^{19} [eV]$$

# Apéndice B Unidades y factores de conversión

## Factores de conversión

**TABLA B.1:** Unidades de energía y sus equivalencias.

Unidades de energía	J	Kcal	kWh	Tep	Tec	Btu	Ev
J	1	$2.389 \times 10^{-4}$	$2.778 \times 10^{-7}$	$2.399 \times 10^{-11}$	$3.571 \times 10^{-11}$	$9.479 \times 10^{-4}$	$6.242 \times 10^{18}$
kcal	4 186	1	$1.16 \times 10^{-3}$	$10^{-7}$	$1.49 \times 10^{-7}$	3.968	$2.613 \times 10^{22}$
kWh	$3.6 \times 10^6$	860	1	$86 \times 10^{-6}$	$0.13 \times 10^{-3}$	3413	$2.247 \times 10^{25}$
Tep	$4.2 \times 10^{10}$	$10^7$	$11.7 \times 10^3$	1	1.5	$3.987 \times 10^7$	$2.602 \times 10^{29}$
Tec	$2.8 \times 10^{10}$	$6.69 \times 10^6$	7800	0.67	1	$2.654 \times 10^7$	$1.748 \times 10^{29}$
Btu	1055	0.252	$2.930 \times 10^{-4}$	$2.510 \times 10^{-8}$	$3.768 \times 10^{-8}$	1	$6.585 \times 10^{21}$
eV	$1.602 \times 10^{-19}$	$3.827 \times 10^{-23}$	$4.450 \times 10^{-26}$	$3.843 \times 10^{-30}$	$5.721 \times 10^{-30}$	$1.518 \times 10^{-22}$	1

**TABLA B.2:** Múltiplos (pesos y volumen).

Símbolo	Descripción	Factor
M	Miles	$10^3$
MM	Millones	$10^6$
MMM	Miles de millones	$10^9$

**TABLA B.3:** Factores de multiplicación.

Prefijo	Abreviatura	Múltiplo
Yota	Y	$10^{24}$
Zeta	Z	$10^{21}$
Exa	E	$10^{18}$
Peta	P	$10^{15}$
Tera	T	$10^{12}$
Giga	G	$10^9$
Mega	M	$10^6$
Kilo	k	$10^3$
Hecto	h	$10^2$



Deca	da	10
Deci	d	10 <sup>-1</sup>
Centi	c	10 <sup>-2</sup>
Mili	m	10 <sup>-3</sup>
Micro	μ	10 <sup>-6</sup>
Nano	n	10 <sup>-9</sup>
Pico	p	10 <sup>-12</sup>
Femto	f	10 <sup>-15</sup>
Ato	a	10 <sup>-18</sup>
Zepto	z	10 <sup>-21</sup>
Yocto	y	10 <sup>-24</sup>

## Unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI).

**TABLA B.4:** Unidades del (SI).

Unidades base		
Cantidad física	Nombre de la unidad	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad luminosa	candela	cd

**TABLA B.5:** Unidades derivadas del SI.

Cantidad física	Nombre de la unidad	Símbolo	Expresión en el SI base
Energía	joule	J	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$
Potencia	watt	W	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^3$
Fuerza	newton	N	$\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
Carga eléctrica	coulomb	C	A·s
Potencial eléctrico	volt	V	$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{A}\cdot\text{s}^3$
Presión	pascal	Pa	$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}^2$
Frecuencia	hertz	Hz	1/s

**TABLA B.6:** Constantes físicas universales.

Magnitud	Símbolo	Valor	Unidades
Velocidad de la luz	c	299 792 458	m/s
Constante de gravitación	G	$6.673 \times 10^{-11}$	$\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$
Constante de Planck	h	$6.626\ 068\ 76 \times 10^{-34}$	J·s
Carga elemental	e	$1.602\ 176\ 462 \times 10^{-19}$	C
Masa del electrón	$m_e$	$9.109\ 381\ 88 \times 10^{-31}$	kg
Masa del protón	$m_p$	$1.672\ 621\ 58 \times 10^{-27}$	kg
Constante de Stefan-Boltzman	$\sigma$	$5.670\ 400 \times 10^{-8}$	$\text{W}/(\text{m}^2\ \text{K}^4)$

# Apéndice C Datos técnicos sobre la energía renovable

## Datos sobre la tecnología de energía renovable

En la TABLA C.1 se presentan las características y costos de las tecnologías de energía renovable.

**TABLA C.1: Datos técnicos, (20).**

Tecnología	Características típicas	Costos típicos (US¢/kWh)	
<b>Energía rural</b>			
Biodigestor biogás	Tamaño biodigestor: 6-8 m <sup>3</sup>	n/d	
Gasificador de biomasa	Tamaño: 20-5,000 kW	8-12	
Sistema solar casero	Tamaño sistema: 20-100 W	40-60	
Turbina eólica (pequeña escala)	Tamaño turbina: 0.1-3 kW	15-35	
Mini red rural	Tamaño sistema: 10-1,000 kW	25-100	
Tecnología	Características típicas	Costo de capital (USD/kW)	Costos característicos de energía (US¢/kWh)
<b>Generación Eléctrica</b>			
Biomasa Planta de caldera/turbina lecho fluidizado circulante	Tamaño de la planta: 12-14 MWt Factor de planta: ~ 69% Eficiencia: 25%	430-1,170	7.9-17.6
Geotermia	Tamaño de la planta: 1-100 MW Tipos: ciclo binario, simple y con doble flash, vapor natural Factor de planta: 60-90%	Condensación: 2,100-4,200  binario: 2,470-6,100	Condensación: 5.7-8.4  binario: 6.2-10.7

**Características y costos de las tecnologías de energía renovable (continuación)**

Hidroeléctrica (en red)	Tamaño de la planta: 1 MW-18,000+ MW Tipo: presa de almacenamiento, corriente de río Factor de planta: 30-60%	Proyectos > 300 MW: <2,000 Proyectos < 300 MW: 2,000-4,000	5-10
Pequeña hidroeléctrica (fuera de red/rural)	Tamaño de la planta: 0.1-1,000 kW Tipo: corriente de río, hidrocínética, almacenamiento diurno	1,175-3,500	5-40
Energía oceánica (mareomotriz)	Tamaño de la planta: <1 a >250 MW Factor de planta: 23-29%	5,290-5,870	21-28
Solar fotovoltaica (techos)	Capacidad pico: 3-5 kW (residencial); 100 kW (comercial) 500 kW (industrial) Eficiencia: 12-20%	2,480-3,270	22-44 (Europa)
Solar fotovoltaica (centrales)	Capacidad pico: 2.5-100 MW Eficiencia: 15-27% 100 kW (comercial) 500 kW (industrial) Eficiencia: 12-20%	1,830-2,350	20-37 (Europa)
Concentración solar termoelectrica	Tipos: canal parabólico, torre central, disco Tamaño: 50-500 MW (canal parabólico), 50-300 MW (torre central); Factor de planta: 20-25% (canal); 40-50% (canal con 6 horas de almacenamiento); 40-80% (torre con 6-15 horas de almacenamiento)	Canal parabólico sin almacenamiento: 4,500; Canal parabólico con 6 horas de almacenamiento: 7,100-9,000; Torre central con 6-18 horas de almacenamiento: 6,300-10,500	18.8-29
Eólica en tierra	Tamaño de turbinas: 1.5-3.5 MW Diámetro de rotor: 60-110+ m Factor de planta 20-40%	1,410-2,475	5.2-16.5
Eólica en costa	Tamaño de turbinas: 1.5-7.5 MW Diámetro de rotor: 70-125 m Factor de planta 35-45%	3,760-5,870	11.4-16.5
Eólica (pequeña escala)	Tamaño de turbinas: hasta 100 kW	3,000-6,000 (EEUU); 1,580 (China)	15-20 (EEUU)

Características y costos de las tecnologías de energía renovable (continuación)

Tecnología	Características típicas	Costo de capital (USD/kW)	Costos característicos de energía (US/GJ)
Calentamiento de agua/Calefacción/Enfriamiento			
Biomasa	Biomasa, turbina de vapor (producción de calor y electricidad)	Tamaño de la planta: 12-14 MWt Factor de planta: ~ 69% Eficiencia: 25%	430-1,170 13-80
	Biogás (producción de calor y electricidad)	Tamaño de la planta: 0.5-5 MWt Factor de planta: ~ 80% Eficiencia: 25%	20-1,170 11.8-35.2
	Calentamiento doméstico con pellets	Tamaño de la planta: 5-100 kWt Factor de planta: ~ 13-29% Eficiencia: 86-95%	360-1,410 18.8-100
	Calefacción (edificios)	Tamaño de la planta: 0.1-1 MWt Factor de planta: 25-30%	1,865-4,595 28-76
Geotermia (uso directo)	Calefacción (distribuida)	Tamaño de la planta: 3.8-35 MWt Factor de planta: 25-30%	665-1,830 16-36
	Bombas de calor	Tamaño de la planta: 10-350 kWt Factor de planta: 25-30%	1,095-4,370 20-65
Solar térmica	Sistemas de calentamiento de agua doméstico	Tipo de colector: plano, tubo evacuado Tamaño: 2.1-4.2 kWt (3-6 m <sup>2</sup> ); 35 kWt (50 m <sup>2</sup> )	China: 147-634 pequeña escala: 4.2-79 (China) 1,670-1,730 gran escala: 1,020-1,060
	Sistemas de calefacción y calentamiento de agua	Tipo de colector: plano, tubo evacuado Tamaño: 4.2-11.2 kWt (6-16 m <sup>2</sup> ; pequeña escala); 35 kWt (50 m <sup>2</sup> ; mediana escala); 70-3,500 kWt (100-5,000 m <sup>2</sup> ; calentamiento centralizado); >3,500 kWt (>5,000 m <sup>2</sup> ; calentamiento centralizado con almacenamiento estacional)	620-2,115 En Europa: pequeña escala: 1,390-1,490 mediana escala: 870-1,020 calentamiento centralizado: 460-780; con almacenamiento: 1,060

## Capacidad y generación de energía en México

**TABLA C.2:** Capacidad efectiva por tecnología en 2012, (13).

<b>Tecnología</b>	<b>[MW]</b>
Geotérmica	811.6
Eólica	597.6
Hidroeléctrica	11 497.603
Fotovoltaica	6

**TABLA C.3:** Generación bruta de energía por tecnología en 2012, (13).

<b>Centrales de generación</b>	<b>[PJ]</b>
Geotermolétrica	20.94
Eólica	6.27
Hidroeléctrica	112.7
Fotovoltaica	0.0074

## Precios de la tecnología

**TABLA C.4:** Costos de la tecnología, (17).

Cuadro 3. Estado actual, potencial y costos de energías renovables y no renovables

Aplicaciones	Fuentes/ tecnologías	Situación en México		Referencia internacional	
		Producción de energía en México [GW promedio] <sup>[1]</sup>	Potencial técnico-económico [GW promedio] <sup>[1]</sup>	Costo de la energía [US\$/GJ]	Costo de inversión [US\$/kW]
Electricidad	Gas natural	13.9 <sup>[2]</sup>	-	\$7.0-19.4 <sup>[3]</sup>	\$898 <sup>[3,5]</sup>
	Carboeléctrica	4.0 <sup>[2,6]</sup>	-	\$6.5-7.3 <sup>[3]</sup>	\$2,069 <sup>[3,7]</sup>
	Diesel y combustóleo	5.8 <sup>[2]</sup>	-	\$11.3-15.6 <sup>[3]</sup>	\$2,483 <sup>[3,8]</sup>
	Eololéctrica terrestre	0.066 <sup>[2,9]</sup>	3 <sup>[10]</sup>	\$15-20 <sup>[11]</sup>	\$1,700 <sup>[4]</sup>
	Eololéctrica marina	0	.. <sup>[12]</sup>	\$20-35 <sup>[11]</sup>	\$2,700 <sup>[13]</sup>
	Solar fotovoltaica fuera de red	0.000001 <sup>[14]</sup>	0.02 <sup>[15]</sup>	\$110-170 <sup>[11]</sup>	\$16,000 <sup>[16]</sup>
	Solar fotovoltaica en red	0	0.09 <sup>[17]</sup>	\$80-140 <sup>[11]</sup>	\$8,000 <sup>[4]</sup>
	Concentración solar	0	.. <sup>[12]</sup>	\$30-50 <sup>[11]</sup>	\$2,200 <sup>[18]</sup>
	Grandes hidroeléctricas (>10 MW)	3.0 <sup>[2]</sup>	39 <sup>[19]</sup>	\$8-11 <sup>[11]</sup>	\$2,100 <sup>[18]</sup>
	Pequeñas hidroeléctricas (<10 MW)	0.16 <sup>[2]</sup>	3 <sup>[20]</sup>	\$10-20 <sup>[11]</sup>	\$2,300 <sup>[18]</sup>
	Bioenergía	0.09 <sup>[2,21]</sup>	10 <sup>[22]</sup>	\$15-30 <sup>[11,23]</sup>	\$1,550 <sup>[18,23]</sup>
Geotermoelectrica	0.85 <sup>[2]</sup>	10 <sup>[24]</sup>	\$10-20 <sup>[11]</sup>	\$3,800 <sup>[18,25]</sup>	
Calor	Caldera industrial	9.4 <sup>[14,26]</sup>	-	\$8.5 <sup>[27]</sup>	\$140 <sup>[27]</sup>
	Calentador de agua	3.9 <sup>[14,28,29]</sup>	-	\$24 <sup>[29,30]</sup>	\$10 <sup>[31]</sup>
	Calentadores solares de agua	0.14 <sup>[14]</sup>	3.2 <sup>[32]</sup>	\$3-50 <sup>[11]</sup>	\$630 <sup>[33]</sup>
	Bioenergía moderna	.. <sup>[34]</sup>	4.7 <sup>[35]</sup>	\$2-7 <sup>[27]</sup>	\$530 <sup>[27]</sup>
	Geotermia	.. <sup>[36]</sup>	.. <sup>[37]</sup>	\$1.5-5 <sup>[11]</sup>	\$200 <sup>[38]</sup>
Combustibles líquidos para el transporte	Gasolina	44 <sup>[14,39]</sup>	-	\$17 <sup>[30]</sup>	.. <sup>[40]</sup>
	Diesel	18 <sup>[14,39]</sup>	-	\$14 <sup>[30]</sup>	.. <sup>[40]</sup>
	Bioetanol	-	3 <sup>[42]</sup>	\$7.5-9 <sup>[11,43]</sup>	\$580 <sup>[33]</sup>
	Biodiesel	0.005 <sup>[44]</sup>	0.7 <sup>[42]</sup>	\$11-22 <sup>[11]</sup>	\$300 <sup>[33]</sup>

Notas:

## Principales centrales de generación en el país

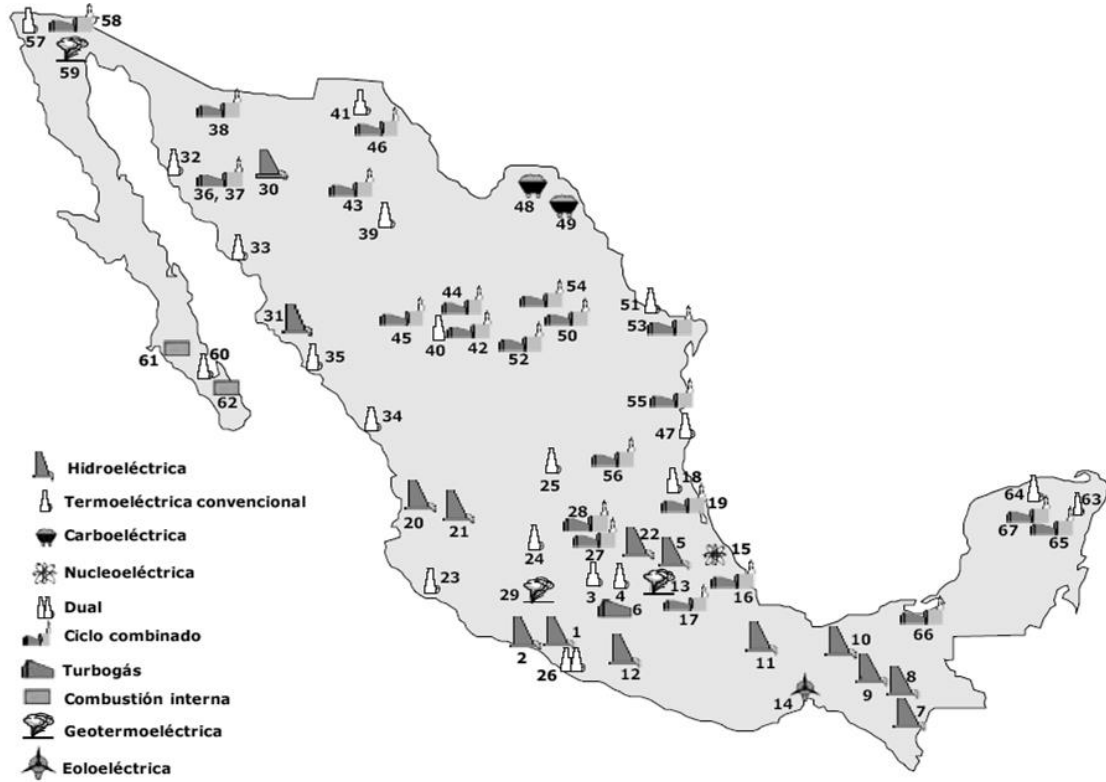


FIGURA C.1: Principales centrales eléctricas en México, (15).



TABLA C.5: Principales centrales en México en 2010, (15).

**Principales centrales: capacidad efectiva <sup>1/</sup>, generación bruta y factor de planta, en 2010  
Servicio público**

úm.	Nombre de la Central	Área	Estado	Municipio	Tecnología <sup>3/</sup>	Combustible <sup>4/</sup>	Número de Centrales	Unidades	Capacidad efectiva MW	Generación bruta GWh	Factor de planta %
1	Infiernillo	Central	Guerrero	La Unión	HID		1	6	1,160	3,946	40.4
2	La Villita (José María Morelos)	Central	Michoacán	Lázaro Cárdenas	HID		1	4	300	1,471	56.0
3	Tula (Francisco Pérez Ríos)	Central	Hidalgo	Tula	TC, CC	COM y GAS	2	11	2,095	8,684	47.4
4	Valle de México	Central	México	Acolman	TC, CC	GAS	1	7	999	5,568	63.6
5	Necaxa [extinta LyFC]	Central	Puebla	J. Galindo	HID		1	10	109	349	36.5
6	Generación Distribuida [extinta LyFC]	Central	México y D F	Varios	TG	GAS	13	14	448	1,835	46.8
7	Angostura (Belisario Domínguez)	Oriental	Chiapas	V. Carranza	HID		1	5	900	2,849	36.1
8	Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	Oriental	Chiapas	Chicoasén	HID		1	8	2,400	7,258	34.5
9	Malpaso	Oriental	Chiapas	Tecpatán	HID		1	6	1,080	4,206	44.5
10	Peñitas	Oriental	Chiapas	Ostucán	HID		1	4	420	1,446	39.3
11	Temascal	Oriental	Oaxaca	San Miguel	HID		1	6	354	1,781	57.4
12	Caracol (Carlos Ramírez Ulloa)	Oriental	Guerrero	Apaxtla	HID		1	3	600	1,478	28.1
13	Humeros	Oriental	Puebla	Chignautla	GEO		1	8	40	326	93.0
14	La Venta	Oriental	Oaxaca	Juchitán	EOL		1	104	85	166	22.4
15	Laguna Verde	Oriental	Veracruz	Alto Lucero	NUC	UO <sub>2</sub>	1	2	1,365	5,879	49.2
16	Dos Bocas	Oriental	Veracruz	Medellín	CC	GAS	1	6	452	2,175	54.9
17	San Lorenzo	Oriental	Puebla	Cuatlacingo	CC	GAS	1	3	382	2,420	72.3
18	Tuxpan (Adolfo López Mateos)	Oriental	Veracruz	Tuxpan	TC, TG	COM y GAS	1	7	2,263	7,398	37.3
19	Tuxpan II, III, IV y V (PIE) <sup>2/</sup>	Oriental	Veracruz	Tuxpan	CC	GAS	3	12	1,973	14,845 <sup>5/</sup>	85.9
20	Aguamilpa Solidaridad	Occidental	Nayarit	El Nayar	HID		1	3	960	2,143	25.5
21	El Cajón (Leonardo Rodríguez Alcaine)	Occidental	Nayarit	Santa María del Oro	HID		1	2	750	1,232	18.7
22	Zimapan (Fernando Hiriart Balderrama)	Occidental	Hidalgo	Zimapan	HID		1	2	292	1,299	50.8
23	Manzanillo I y II	Occidental	Colima	Manzanillo	TC	COM	2	6	1,900	5,871	35.3
24	Salamanca	Occidental	Guanajuato	Salamanca	TC	COM y GAS	1	4	866	582	7.7
25	Villa de Reyes	Occidental	San Luis Potosí	Villa de Reyes	TC	COM	1	2	700	3,168	51.7
26	Petalcalco (Plutarco Elías Calles)	Occidental	Guerrero	La Unión	DUAL, CAR	K	1	7	2,778	15,578	66.6
27	El Sauz	Occidental	Querétaro	P. Escobedo	CC	GAS	1	7	603	3,421	64.8
28	El Sauz (Bajo) (PIE) <sup>2/</sup>	Occidental	Guanajuato	S. Luis de la Paz	CC	GAS	1	4	495	4,084 <sup>5/</sup>	94.2
29	Los Azúfres	Occidental	Michoacán	Cd. Hidalgo	GEO		1	15	195	1,535	90.1
30	El Novillo (Plutarco Elías Calles)	Noroeste	Sonora	Soyopa	HID		1	3	135	647	54.8
31	Huites (Luis Donald Colosio)	Noroeste	Sinaloa	Choix	HID		1	2	422	1,074	29.0
32	Puerto Libertad	Noroeste	Sonora	Pitiquito	TC	COM	1	4	632	2,447	44.2
33	Guaymas II (Carlos Rodríguez Rivero)	Noroeste	Sonora	Guaymas	TC	COM	1	4	484	1,283	30.3
34	Mazatlán II (José Aceves Pozos)	Noroeste	Sinaloa	Mazatlán	TC	COM	1	3	616	2,386	44.2
35	Topolobampo II (Juan de Dios Bótz)	Noroeste	Sinaloa	Ahome	TC	COM	1	3	320	1,606	57.3
36	Hermosillo	Noroeste	Sonora	Hermosillo	CC	GAS	1	2	227	1,586	79.8
37	Hermosillo (PIE) <sup>2/</sup>	Noroeste	Sonora	Hermosillo	CC	GAS	1	1	250	1,976 <sup>5/</sup>	90.2
38	Naco Nogales (PIE) <sup>2/</sup>	Noroeste	Sonora	Agua Prieta	CC	GAS	1	2	258	2,269 <sup>5/</sup>	100.4
39	Francisco Villa	Norte	Chihuahua	Delicias	TC	COM y GAS	1	5	300	832	31.7
40	Lerdo (Guadalupe Victoria)	Norte	Durango	Lerdo	TC	COM	1	2	320	1,087	38.8
41	Samalayuca I y II	Norte	Chihuahua	Cd. Juárez	TC, CC	COM y GAS	2	8	838	4,668	63.6
42	Gómez Palacio	Norte	Durango	Gómez Palacio	CC	GAS	1	3	240	1,210	57.6
43	El Encino (Chihuahua II)	Norte	Chihuahua	Chihuahua	CC	GAS	1	5	619	4,731	87.2
44	La Laguna II (PIE) <sup>2/</sup>	Norte	Durango	Gómez Palacio	CC	GAS	1	3	498	3,881 <sup>5/</sup>	89.0
45	Norte Durango (PIE) <sup>2/</sup>	Norte	Durango	Durango	CC	GAS	1	3	450	1,478 <sup>5/</sup>	93.8
46	Chihuahua III (PIE) <sup>2/</sup>	Norte	Chihuahua	Juárez	CC	GAS	1	3	259	1,819 <sup>5/</sup>	80.2
47	Altamira	Noreste	Tamaulipas	Altamira	TC	COM y GAS	1	4	800	2,094	29.9
48	Río Escondido (José López Portillo)	Noreste	Coahuila	Río Escondido	CAR	K	1	4	1,200	8,359	79.5
49	Carbón II	Noreste	Coahuila	Nava	CAR	K	1	4	1,400	8,126	66.3
50	Huinalá I y II	Noreste	Nuevo León	Pesquería	CC, TG	GAS	3	8	978	4,808	56.1
51	Río Bravo (Emilio Portes Gil)	Noreste	Tamaulipas	Río Bravo	TC, CC	COM y GAS	1	4	511	1,576	35.2
52	Saltillo (PIE) <sup>2/</sup>	Noreste	Coahuila	Ramos Arizpe	CC	GAS	1	2	248	1,498 <sup>5/</sup>	69.1
53	Río Bravo II, III y IV (PIE) <sup>2/</sup>	Noreste	Tamaulipas	Valle Hermoso	CC	GAS	3	9	1,490	8,765 <sup>5/</sup>	67.2
54	Monterrey III (PIE) <sup>2/</sup>	Noreste	Nuevo León	S. N. Garza	CC	GAS	1	2	419	3,042 <sup>5/</sup>	77.3
55	Altamira II, III, IV y V (PIE) <sup>2/</sup>	Noreste	Tamaulipas	Altamira	CC	GAS	3	15	2,652	18,104 <sup>5/</sup>	77.9
56	Tamazunchale (PIE) <sup>2/</sup>	Noreste	San Luis Potosí	Tamazunchale	CC	GAS	1	6	1,135	7,720 <sup>5/</sup>	77.6
57	Presidente Juárez	Baja California	Baja California	Rosarito	TC, CC, TG	COM y GAS	3	13	1,303	4,873	42.7
58	Mexicali (PIE) <sup>2/</sup>	Baja California	Baja California	Mexicali	CC	GAS	1	3	489	1,876 <sup>5/</sup>	43.8
59	Cerro Prieto	Baja California	Baja California	Mexicali	GEO		4	13	720	4,710	74.7
60	Punta Prieta	Baja California	Baja California Sur	La Paz	TC	COM	1	3	113	638	64.7
61	San Carlos (Agustín Olachea A.)	Baja California	Baja California Sur	San Carlos	CI	COM y DIE	1	3	104	673	73.8
62	Baja California Sur I	Baja California	Baja California Sur	La Paz	CI	COM y DIE	1	2	79	495	71.6
63	Valladolid (Felipe Carrillo Puerto)	Peninsular	Yucatán	Valladolid	TC, CC	COM y GAS	2	5	295	1,410	54.6
64	Mérida II	Peninsular	Yucatán	Mérida	TC, TG	COM y GAS	2	3	198	906	52.3
65	Valladolid III (PIE) <sup>2/</sup>	Peninsular	Yucatán	Valladolid	CC	GAS	1	3	525	3,536 <sup>5/</sup>	76.9
66	Campeche (PIE) <sup>2/</sup>	Peninsular	Campeche	Palizada	CC	GAS	1	1	252	1,580 <sup>5/</sup>	71.5
67	Mérida III (PIE) <sup>2/</sup>	Peninsular	Yucatán	Mérida	CC	GAS	1	3	484	3,016 <sup>5/</sup>	71.1
<b>Suma</b>							<b>97</b>	<b>444</b>	<b>49,256</b>	<b>235,779</b>	<b>54.6</b>
<b>Otras termoeléctricas <sup>2/</sup></b>							<b>49</b>	<b>181</b>	<b>2,070</b>	<b>1,200</b>	<b>6.6</b>
<b>Otras hidroeléctricas</b>							<b>65</b>	<b>155</b>	<b>1,621</b>	<b>5,359</b>	<b>39.1</b>
<b>Total</b>							<b>211</b>	<b>780</b>	<b>52,947</b>	<b>242,538</b>	<b>54.0</b>

1/ Al 31 de diciembre

2/ Productor Independiente de Energía

3/ HID:Hidroeléctrica, TC:Termoeléctrica convencional, CC:Ciclo combinado, TG:Turbogás, CAR:Carboeléctrica, NUC:Nucleoeléctrica, GEO:Geotermoeléctrica, EOL: Eoloeléctrica, CI:Combustión interna, DUAL:Dual

4/ COM:Combustión, GAS:Gas, K:Carbón, UO<sub>2</sub>:Óxido de Uranio, DIE:Diésel

5/ Fuente: SENER

6/ Calculado con la capacidad media anual equivalente

7/ Incluye las eoloeléctricas Guerrero Negro y Yuuimil'ik

# Apéndice D Flujos naturales de energía

## La energía del Sol

La energía del Sol proviene de las reacciones de fusión nuclear que se llevan a cabo en su interior, como hemos visto en la sección 2.7, la fusión nuclear es la unión de dos o más núcleos ligeros para formar un núcleo más grande. Actualmente el Sol está conformado por hidrógeno (73%) y de helio (24%), y el resto son elementos más pesados. En la reacción llevada a cabo en la fusión nuclear, cuatro átomos de hidrógeno se fusionan para generar: un átomo de helio, dos positrones<sup>57</sup> y dos neutrinos<sup>58</sup>. La ecuación ( 2.11 ) muestra este proceso.



Dado que la masa del helio es menor a la masa de los cuatro protones, el restante de masa se ha convertido en energía. Esto es:

$$\Delta m = (4.031\,300 - 4.002\,603) \text{ [u]} = 0.028\,697 \text{ [u]}$$

$$m = 0.028\,697 \text{ [u]} = 4.765 \times 10^{-29} \text{ [kg]}$$

$$E = mc^2 = (4.765 \times 10^{-29})(299\,792\,458)^2 = 4.283 \times 10^{-12} \text{ J} = 26.731 \text{ MeV}$$

Para determinar la potencia irradiada por el Sol por cada metro cuadrado, se recurre a la ley de Stefan-Boltzman ec. ( D.2 ) que permite calcular la variable mencionada para la superficie de un radiador ideal.

$$I = \sigma T^4 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{D.2})$$

Donde  $\sigma = 5.670\,400\,(40) \times 10^{-8} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4} \right]$  es una constante física fundamental, llamada constante de Stefan-Boltzman y  $T \text{ [K]}$  es la temperatura del cuerpo.

Conociendo la temperatura en la superficie del Sol que es aproximadamente,  $T = 5\,800 \text{ K}$ , entonces la energía que emite cada segundo por metro cuadrado es:

<sup>57</sup> Partícula con una masa igual a la del electrón pero con carga positiva ( $e^+$ ).

<sup>58</sup> Partícula ( $\nu$ ) con carga cero y masa cero (o muy pequeña para observar sus efectos).

$$I = 5.670\,400\,(40) \times 10^{-8} (5\,800)^4 = 64.17 \times 10^6 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Esta cantidad es la potencia por metro cuadrado, sin embargo queremos saber la cantidad de energía que irradia el Sol cada segundo, entonces multiplicamos por el área total del Sol, esta es  $A = 6.087 \times 10^{18} \text{ m}^2$ .

$$P = IA = (64.17 \times 10^6)(6.087 \times 10^{18}) = 3.906 \times 10^{26} [\text{W}]$$

De esta cantidad la Tierra solamente intercepta una pequeña parte que se puede determinar considerando ahora una superficie igual al abarcado por el área de la órbita terrestre. Si consideramos a la órbita terrestre como un círculo, entonces la distancia de la Tierra al Sol ( $d = 150\,000\,000 \text{ km}$ ) sería el radio de tal círculo y por lo tanto su área se determina como sigue:

$$A = 4\pi d^2 = 4\pi(150\,000\,000 \times 10^3)^2 = 2.827 \times 10^{23} \text{ m}^2$$

$$IA_{\text{Sol}} = GA_{d_{\text{Sol-Tierra}}}$$

$$3.906 \times 10^{26} [\text{W}] = G(2.827 \times 10^{23} [\text{m}^2])$$

$$G = \frac{3.906 \times 10^{26}}{2.827 \times 10^{23}} = 1.381 \times 10^3 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Este último resultado es conocido como constante solar, y es la energía que llega del Sol cada segundo por metro cuadrado a la Tierra. Sin embargo el valor real de la constante solar aceptado difiere un poco del resultado anterior considerando un valor de  $G = 1367 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$ .

Si multiplicamos esta cantidad por la mitad de la superficie terrestre que es la parte que está expuesta a la radiación solar, entonces obtendremos la potencia total que recibe la Tierra.

El área de la Tierra es  $A = 5.115 \times 10^{14} \text{ m}^2$  entonces la potencia total que llega a la Tierra es:

$$P = GA = 1.381 \times 10^3 \left( \frac{5.115 \times 10^{14}}{2} \right) = 353\,195.2908 \text{ TW}$$

No obstante  $G$  no es constante a lo largo del día, y en las estaciones del año, y además como la trayectoria que hace la Tierra alrededor del Sol no es una circunferencia sino una elipse, para calcular la constante solar en cada día del año se emplea la expresión ( 2.11 ):

$$G(n) = 1\,367 \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360 n}{365} \right) \right] \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (\text{D.3})$$

Donde  $n$  es el número del día contada a partir del primero de enero hasta el treinta y uno de diciembre, esto es al 1 de enero le corresponde  $n=1$  y al 31 de diciembre le corresponde  $n=365$ .

Las ondas electromagnéticas recibidas en la Tierra son, ver FIGURA 1.3:

$0.4 \mu\text{m} > \lambda$	9%	Ultravioleta
$400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$	45%	Espectro visible
$0.7 \mu\text{m} < \lambda < 2.5 \mu\text{m}$	46%	Radiación infrarroja

Estas tres regiones son consideradas de onda corta, de la región del infrarrojo del 46% de la energía recibida el 20% es absorbido por el dióxido de carbono y vapor de agua.

Otra variable que se toma en cuenta es la insolación solar diaria  $H$ , que es la energía total que llega en una superficie a lo largo del día, se utilizan instrumentos de medición para obtener el valor de esta variable, y se puede cuantificar como sigue:

$$H = \int G dt$$

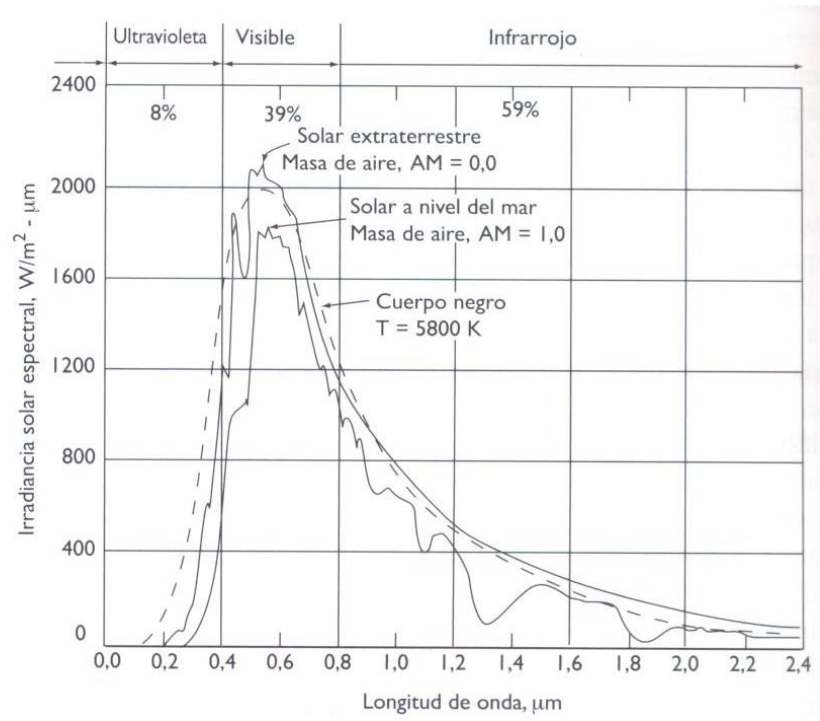


FIGURA D.1: Radiación solar, (8).

# Bibliografía

1. **González Arias, Arnaldo.** *El Concepto "Energía" en la Enseñanza de las Ciencias.* [En línea] 2006. [Citado el: 26 de 01 de 2014.] [http://www.fisica.uh.cu/bibvirtual/fisica\\_aplicada/que%20es%20energia/El%20concepto%20energia...RUISF%202006.PDF](http://www.fisica.uh.cu/bibvirtual/fisica_aplicada/que%20es%20energia/El%20concepto%20energia...RUISF%202006.PDF).
2. **Jaramillo Morales, Gabriel A., y otros.** *Antecedentes de física.* México : Trillas, 1990, págs. 43-45.
3. **Young, Hugh D. y Freedman, Roger A.** *Física Universitaria.* s.l. : Pearson Educación, 2009. pág. 896. Vol. 2.
4. **Kotz, John C., Treichel Jr., Paul M. y Weaver, Gabriela C.** Principios de reactividad: la energía y las reacciones químicas, Química de los combustibles y fuentes de energía. *Química y reactividad química.* 6. México,D.F. : Thomson, 2005.
5. Inventario Nacional de Energías Renovables. *INER.* [En línea] [Citado el: 27 de Agosto de 2014.] <http://200.23.166.159/publica/version2.4.1/>.
6. Secretaria de Energía. *Balance Nacional de Energía 2012.* [En línea] [Citado el: 2014 de Agosto de 30.] <http://www.sener.gob.mx>.
7. **Bonfil Olivera, Martín y Ferrer Sueta, Gerardo.** *Química 2.* México : Fondo de Cultura Económica, 2007.
8. **González Velasco, Jaime.** Energías renovables. Barcelona : Reverté, 2009.
9. Secretaria de Energía. *Prospectivas del Sector Eléctrico.* [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
10. SEMARNAT. *Cambio climático; Impactos, causas y opciones.* [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx).
11. SEMARNAT. *Cambio Climático; Ciencia, evidencia y acciones.* [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx).
12. **Álvarez Prieto, Juan Cristóbal, y otros.** Geografía: sexto grado. 3. México : s.n., 2003, págs. 79-82.
13. Secretaria de Energía. *SIE.* [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [sie.energia.gob.mx](http://sie.energia.gob.mx).

14. Energías Renovables. [En línea] [Citado el: 15 de Agosto de 2014.] <http://www.renovables.gob.mx>.
15. Comisión Federal de Electricidad (CFE). *Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2012-2026*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx).
16. Secretaria de Energía. *SENER*. [En línea] [Citado el: 2014 de Agosto de 30.] <http://www.sener.gob.mx>.
17. Secretaria de Energía. *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
18. SENER. *Prosepectiva de Energías Renovables 2013-2027*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
19. Secretaria de energía. *Prospectivas de Energías Renovables 2013-2027*. [En línea] [Citado el: 5 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
20. Secretaria de energía. *Prospectivas de Energías Renovables 2012-2026*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
21. **Guillén Solís, Omar**. *Energías Renovables; una perspectiva ingenieril*. México : Trillas, 2004. pág. 128.
22. **Madrid, Antonio**. *Energías renovables*. España : Amv ediciones, 2009.
23. **Creus Solé, Antonio**. *Energías renovables*. s.l. : Ediciones Ceysa, 2004.
24. **Carless, Jennifer**. *Energía renovable: Guia de alternativas ecológicas*. México : Edamex, 1995.
25. *Energía y medio ambiente*. México : s.n., 1984.
26. Secretaria de energía. *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
27. Secretaria de energía. *Políticas y Medidas para Fomentar la Integración Nacional de Equipos y Componentes para el Aprovechamiento de las Energías Renovables*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx).
28. Comisión Federal de Electricidad. *CFE*. [En línea] [Citado el: 30 de Agosto de 2014.] [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx).
29. Hechos y cifras sobre el agua. [En línea] [Citado el: 15 de Diciembre de 2014.] [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/unwdpac\\_facts\\_and\\_figures.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/unwdpac_facts_and_figures.shtml).

# Índice de términos y glosario

actividades económicas, 95

## **biocombustible**

es cualquier combustible líquido, sólido o gaseoso que se obtuvo de la materia orgánica de la biomasa. Puede provenir directamente del reino vegetal o indirectamente, de desechos industriales, comerciales, domésticos o agrícolas. Puede obtenerse de una gran variedad de materias primas y ser la consecuencias de una serie de procesos diferentes., 65

calor, 12

## **capacidad**

Es la potencia máxima que puede suministrar un dispositivo de generación eléctrica ., 40

energía eléctrica, 8

exportación, 96

## **factores de planta**

factor de planta  
es un indicador del grado de utilización de la capacidad de unidades generadoras en un período específico. Se calcula dividiendo la generación media de la unidad entre su capacidad efectiva., 46

fuentes de energía, 13

## **gradiente geotérmico**

es la variación de la temperatura conforme varia la profundidad en las capas de la Tierra., 69

importación, 96

## **iones**

ion  
átomo o grupo de átomos que ha perdido o ganado uno o más electrones, por lo que ya no es eléctricamente neutro., 10

## **moléculas**

molécula

es la unidad más pequeña de un compuesto, que aún retiene las propiedades de dicho compuesto., 10

## **onda**

es una perturbación en el medio regular y rítmica, tanto en el tiempo como en el espacio. La transferencia de energía se efectúa por movimiento ondulatorio., 8

## **procesos**

proceso  
es cualquier cambio en el estado de un sistema., 12

## **producción**

se define como la energía extraída de reservas fósiles y fuentes de biocombustibles, así como la captación y aprovechamiento de las energía renovables a partir del agua, viento, luz solar, etc., y que es explotada y producida dentro del territorio nacional, técnica y económicamente utilizable o comercializable., 102

## **propiedad fundamental**

propiedad  
es cualquier característica del sistema que, en principio, puede especificarse describiendo una operación o prueba a la que se le someta. Como resultado de la operación o prueba, se puede asignar un valor a la propiedad que está investigándose. En este trabajo se consideran propiedades fundamentales la masa y la carga eléctrica., 4

reacción endotérmica, 11

reacción exotérmica, 12

reacción química, 11

## **temperatura**

*es una medida de la energía molecular respecto a cierto nivel térmico de diferencia, de otro*



## Índice de términos y glosario

*cuerpo. Es una propiedad de la materia que nos indica la energía molecular de un cuerpo. Es una*

*medida, o indicación, relativa de qué tan caliente o frío está una cosa., 10*

**trabajo, 12**