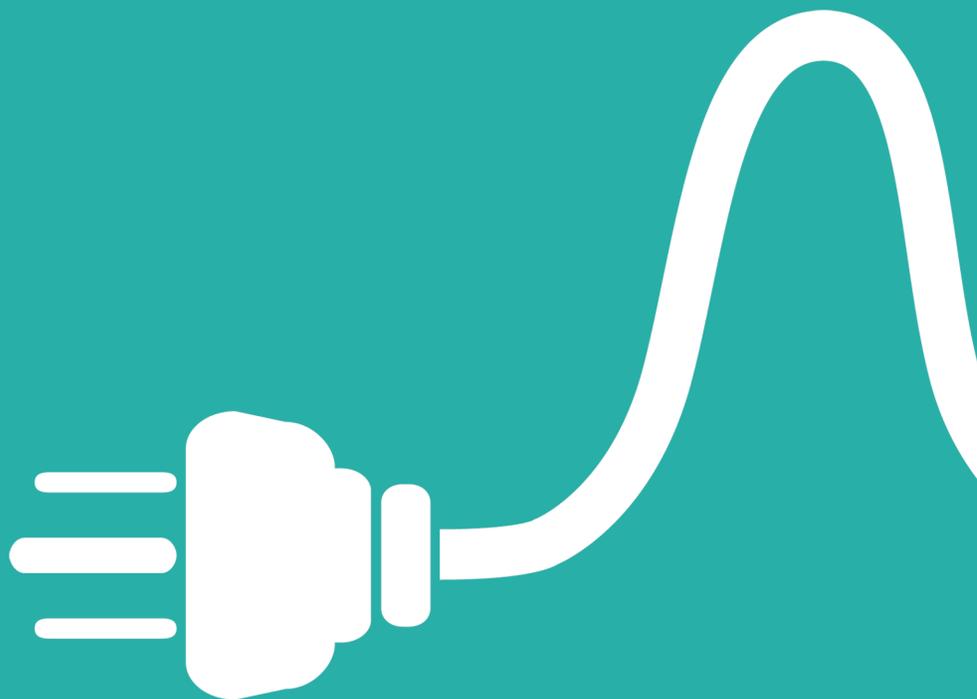
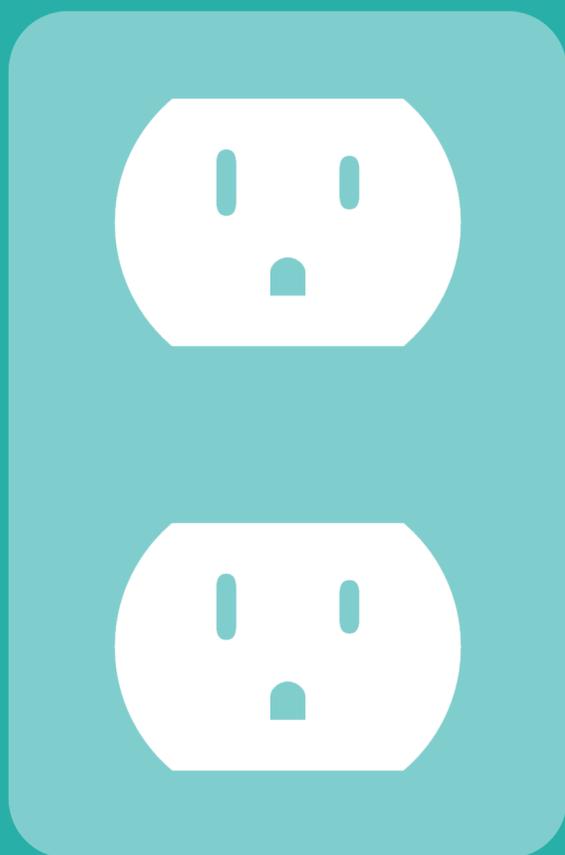


PERFIL ENERGÉTICO DE GUATEMALA

INTRODUCCIÓN AL SECTOR ELÉCTRICO



PERFIL ENERGÉTICO DE GUATEMALA

INTRODUCCIÓN AL SECTOR ELÉCTRICO



333.79

P438

Perfil energético de Guatemala : introducción al sector eléctrico.
Juan Adolfo Ponciano (coordinador) Jorge De la Torre ... [et al.], - -Guatemala: URL: Editorial Cara
Parens, 2015.
xvi, 84 p., il.
ISBN: 978-9929-54-091-0

1. Energía
 2. Fuerza y energía
 3. Energía eléctrica
 4. Empresas eléctricas - Guatemala
 5. Electrificación
 6. Recursos energéticos - Guatemala - Legislación
 7. Electricidad
 8. Sector eléctrico- Guatemala - Historia
- I Ponciano, Juan Adolfo (coordinador)
II De la Torre, Jorge ... [et al.]
III Universidad Rafael Landívar. Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (InCyTDe)
IV Editorial Cara Parens

Perfil energético de Guatemala, Introducción al sector eléctrico

Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo -INCYTDE-
Edición 2015

Editorial *Cara Parens* de la Universidad Rafael Landívar

Reservados todos los derechos de conformidad con la ley. No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su traducción, incorporación a un sistema informático, transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, grabación u otros métodos, sin el permiso previo y escrito de los titulares del *copyright*.

D. R. ©

Editorial *Cara Parens* de la Universidad Rafael Landívar
Campus Central, Vista Hermosa III, zona 16, Edificio G, oficina 103
Apartado postal 39-C, Ciudad de Guatemala, Guatemala 01016
PBX: (502) 2426-2626, extensión 3124
Correo electrónico: caraparens@url.edu.gt
Sitio electrónico: www.url.edu.gt

Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Universidad Rafael Landívar,
Campus Central, 5to nivel Edificio TEC , Vista Hermosa III zona 16,
Ciudad de Guatemala, Guatemala 01016
PBX: (502) 2426-2626 Extensión: 3266
Correo electrónico: incytde@url.edu.gt
Sitio electrónico: www.incytde.org

Editorial *Cara Parens*

Dirección editorial:	Karen De la Vega de Arriaga
Coordinadora editorial:	Dalila Gonzalez Flores
Coordinador de diseño gráfico:	Pedro Luis Alvizurez Molina
Coordinadora administrativa financiera:	Liceth Rodriguez Ruíz
Diseño gráfico y diagramación final:	Michelle García Alegría
Edición y corrección:	Angel David Mazariegos Rivas

INCYTDE

Autores

Coordinación:	Dr. Juan Adolfo Ponciano
Investigación:	Mgtr. Jorge de la Torre
	Ing. Krista Ivonne Aguilar
	Mgtr. Marlon Barrios
Diseño gráfico y diagramación original:	Ana Marcela Castillo

Agradecimientos

Se agradece a José Luis Ola por la revisión crítica del capítulo 2 de la presente publicación.

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

Rector	P. Eduardo Valdés Barría, S. J.
Vicerrectora académica	Dra. Lucrecia Méndez de Penedo
Vicerrector de Investigación y Proyección	Dr. Carlos Rafael Cabarrús Pellecer, S. J.
Vicerrector de Integración Universitaria	P. Julio Enrique Moreira Chavarría, S. J.
Vicerrector administrativo	Lcdo. Ariel Rivera Irías
Secretaría general	Lcda. Fabiola Padilla de Lorenzana

AUTORIDADES DEL INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO -INCYTDE-

Director	Dr. Juan Adolfo Ponciano
----------	--------------------------

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

págs. xi

CAPÍTULO 1

ENERGÍA

págs. 1-26

1.1.	Las fuerzas fundamentales	3 - 4			
	Fuerza gravitacional	3		Origen	10
	Fuerza electromagnética	3		Composición	10
	Fuerza nuclear débil	4		Características	10
	Fuerza nuclear fuerte	4			
1.2.	Características de la energía	4	1.7.	Radiación solar en la Tierra 11-12	11
	Formas	4		Luz ultravioleta	11
	Transferencia	4		Luz visible	11
	Conservación	4	1.8.	Energías derivadas de la radiación solar	12-22
	Degradación	4		Renovables	12
1.3.	Energía, tecnología y otras disciplinas	5 - 6		Radiación solar directa	12
	Entorno tecnológico	5		Paneles solares	12
	Entorno político, económico, social y ambiental	6		Colectores solares	12
				Panorama mundial de la energía solar	13
1.4.	Eventos en el uso de la energía	6		Energía eólica	14
	Hace 400 000 años	6		Panorama mundial de la energía eólica	14
	Hace 11 000 años	6		Energía hidráulica	15
	Hace 2 400 años	6		Panorama mundial de la energía hidráulica	15
	Años d. C.	6		Bioenergía	16
				Principio de obtención de biocombustibles	16
1.5.	Fuentes energéticas de la Tierra	8-9		Principio de generación de electricidad	17
	Del Sol	8		Panorama mundial de la bioenergía	18
	De la Tierra	8		No renovables	18
	Energía consumida a nivel mundial: todas las fuentes primarias	8		Energía de hidrocarburos (petróleo, carbón y gas natural)	18
	Electricidad consumida a nivel mundial	9		Combustibles para transporte	19
				Panorama mundial de la energía de hidrocarburos	19
1.6.	El Sol	9-11		Productores de petróleo	20
	Fuente energética del Sol	9		Reservas de petróleo	20
	Interacción radiación-materia	10		Productores de gas natural	20
	Radiación electromagnética	10		Reservas de gas natural	20
				Productores de carbón	21
				Reservas de carbón	22

Comparación: biocombustibles y combustibles fósiles	22
Diferencias	22
Similitudes	22

1.9. Energías derivadas de la Tierra	23-26	23-26
Renovables		23
Geotermia		23
Panorama mundial de la geoenergía		23
Capacidad instalada para la generación de energía geotérmica		24
No renovables		24
Nuclear		24
Panorama mundial de la energía nuclear		25
Uranio		25
Productores de electricidad de origen nuclear		26

2.1. Panorama	29-30	2.4. Subsector eléctrico	38-51
Leña	29	Estructura	38
Hidrocarburos	29	Red de energía eléctrica	39
Electricidad	29	Etapas, componentes y agentes	40
Planificación energética	30	Generación	40
Electrificación	30	Agentes del Mercado Mayorista: generadores	40
Conflictividad	30	Transporte (transmisión)	44
		Agentes del Mercado Mayorista: transportistas	45
2.2. Balances energéticos	31	Distribución	46
Fuentes primarias	31	Agentes del Mercado Mayorista: distribuidores	47
Fuentes secundarias	31	Consumo	48
		Agentes del Mercado Mayorista: usuarios	49
2.3. Diagrama de flujo energético	33-37	Agentes del Mercado Mayorista: comercializadores	51
Guatemala	33		
Países seleccionados	35	2.5. La factura eléctrica	52
Estados Unidos	35	Generación y transporte	52
Costa Rica	35	Distribución	52
México	36		

3.1. Consideraciones generales	55	Garantías	58
3.2. Historia	55 - 56	Garantía en la separación de actividades	58
Período de mandato privado o inicial (1870 a 1945)	55	Garantía en la separación institucional	58
Período de mandato mixto (1945 a 1960)	56	Sujeto político	58
Período de mandato predominantemente estatal (1960 a 1996)	56	Sujeto regulador (técnico)	58
Período de liberalización de mercado (1996-presente)	56	Sujeto operador	58
3.3. Marco legal guatemalteco relacionado a la Ley General de Electricidad (LGE)	57	Garantía en el suministro y crecimiento de red	58
3.4. Ley General de Electricidad	57-58	Garantía de abastecimiento	59
Libertades	57	3.5. El mercado de energía eléctrica	59
Libertad en el ingreso al mercado (incluye la libertad de generación, transporte y de distribución privada)	57	Mercado regulado	59
Libertad para el acceso a redes de transporte y distribución	57	Desde la demanda	59
Libertad en la contratación y establecimiento competitivo de precios	58	Desde la oferta	59
Libertad de inversión en el subsector eléctrico	58	Mercado mayorista	59
		3.6. Incentivos para el desarrollo de energías renovables	59-60
		Entorno nacional	59
		Exención del Impuesto al Valor Agregado (IVA)	59
		Exención del Impuesto sobre la Renta (ISR)	59
		Entorno internacional	60

4.1. Referencias	65-68
4.2. Bibliografía	69
4.3. Apéndices	71-83

FIGURAS

1.1.	Las cuatro fuerzas fundamentales.	3	1.33.	Los principales países productores de gas natural (año 2012).	21
1.2.	Energía a base de carbón: desde la planta de producción de electricidad hasta una bombilla incandescente.	5	1.34.	Los países con mayores reservas de gas natural a nivel mundial (enero 2013).	21
1.3.	Esquema de absorción de energía solar en las plantas y su transmisión a través de una cadena de consumidores.	5	1.35.	Los países con mayores reservas potenciales de gas de esquisto.	21
1.4.	Energía consumida a nivel mundial. Años 1973 y 2011.	8	1.36.	Los principales países productores de carbón (año 2012).	22
1.5.	Electricidad consumida a nivel mundial por fuente energética. Años 1973 y 2011.	9	1.37.	Los países con mayores reservas de carbón a nivel mundial (año 2011).	22
1.6.	Reacción nuclear detallada de la generación de helio en el Sol.	9	1.38.	Esquema de la combustión en un motor.	23
1.7.	Radiación electromagnética.	10	1.39.	Esquema de una planta geotérmica tipo <i>flash</i> .	23
1.8.	Energía de las ondas electromagnéticas.	10	1.40.	Los países con la mayor capacidad instalada para la generación de energía geotérmica (año 2013).	24
1.9.	Aunque la energía de cada onda electromagnética se mantiene constante, la concentración de las ondas electromagnéticas disminuye con la distancia. Esto se debe a la propagación esférica; natural en muchos tipos de ondas. Las líneas en la figura representan rayos de luz (que básicamente son ondas electromagnéticas propagándose esféricamente).	10	1.41.	Esquema de una reacción en cadena.	24
1.10.	Reflexión y absorción de la radiación solar.	11	1.42.	Sección transversal esquemática de la cámara del reactor nuclear.	25
1.11.	Espectro de la radiación solar.	12	1.43.	Esquema de una planta generadora de electricidad basada en energía nuclear.	25
1.12.	Panel solar.	12	1.44.	Sección transversal esquemática de la cámara del reactor nuclear.	25
1.13.	Colector solar.	13	1.45.	Los países mineros de uranio en toneladas.	26
1.14.	Las flechas indican la dirección del flujo de agua cuando ocurre absorción de energía solar en el colector.	13	1.46.	Los principales países productores de electricidad de origen nuclear.	26
1.15.	Los países con mayor producción de paneles solares en el mundo (año 2012).	13	2.1.	Uso del petróleo y sus derivados dentro de la matriz energética guatemalteca, 2011.	33
1.16.	Capacidad instalada para generación de electricidad por medio de paneles fotovoltaicos (año 2012).	14	2.2.	Forma final de energía consumida por sector en el año 2011.	33
1.17.	Sección transversal de una turbina eólica.	14	2.3.	Sectores de consumo energético en Guatemala, 2011.	33
1.18.	La producción de turbinas eólicas en el mundo por país.	14	2.4.	Diagrama de flujo energético (DFE) para Guatemala, 2011.	34
1.19.	Capacidad instalada para la generación de electricidad por medio de turbinas eólicas.	15	2.5.	Tipos de energía para consumo final en Guatemala, 2011.	34
1.20.	Sección transversal de una generadora hidráulica.	15	2.6.	El diagrama de flujo energético de Estados Unidos de América (año 2011).	35
1.21.	Capacidad instalada por país para la generación de hidroelectricidad.	16	2.7.	El diagrama de flujo energético de Costa Rica (año 2010).	36
1.22.	Un ciclo típico de biomasa.	16	2.8.	El diagrama de flujo energético de México (año 2011).	37
1.23.	Energía y combustibles obtenidos a partir de biomasa mediante procesos termoquímicos.	17	2.9.	Estructura general del subsector eléctrico de Guatemala.	38
1.24.	Ciclo del carbono y la producción de etanol.	17	2.10.	Diagrama de interacción entre agentes del mercado mayorista.	38
1.25.	Proceso de obtención de biodiésel a partir de aceite de algas.	17	2.11.	Esquema simplificado de una red de distribución de energía eléctrica.	39
1.26.	Una planta generadora de electricidad a base de pellets (cartuchos de leña comprimida).	18	2.12.	Curva típica de demanda de potencia eléctrica.	40
1.27.	Principales países productores de bioenergía en terawatt-hora por año.	18	2.13.	Generador trifásico.	40
1.28.	Esquema de formación de combustibles fósiles.	19	2.14.	Esquema de tres fases de voltaje.	41
1.29.	Esquema de planta generadora a base de carbón.	19	2.15.	SNI, capacidad instalada 2011.	41
1.30.	Contenido de un barril de petróleo según la Comisión de Energía del estado de California, Estados Unidos.	19	2.16.	Producción de energía en porcentajes por tipo de tecnología.	41
1.32.	Los países con mayores reservas de petróleo a nivel mundial (año 2013).	20	2.17.	Producción de energía por tipo de combustible en Guatemala, 2011.	42
			2.18.	Porcentaje de producción de electricidad por período, Sistema Nacional Interconectado, 2011.	42
			2.19.	Porcentajes de producción de energía por tipo de fuente energética, de enero a abril de 2011.	42
			2.20.	Producción de energía por tipo de fuente energética, de mayo a octubre de 2011.	42
			2.21.	Producción de energía por tipo de combustible, de noviembre a diciembre de 2011.	43
			2.22.	Ubicación de estaciones generadoras de energía eléctrica en Guatemala, 2011.	43
			2.23.	Torres de transmisión y fases por cable.	44

2.24.	Mapa esquemático del SIEPAC al año 2012.	45
2.25.	Porcentaje de líneas de transmisión de transportistas locales. SNI Guatemala, 2011.	45
2.26.	Propietarios de líneas de transmisión. SNI Guatemala, 2011.	45
2.27.	Longitud de la línea por nivel de voltaje, por empresa propietaria. SNI Guatemala, 2011.	46
2.28.	Banco de transformadores típicos en la red de distribución.	47
2.29.	Esquema del principio básico del transformador.	47
2.30.	Regiones de distribución por empresa distribuidora.	47
2.31.	La red nacional en el año 2011.	49
2.32.a.	Tipos de mercado eléctrico existentes en Guatemala.	49
2.32.b.	Tipos de mercado eléctrico existentes en Guatemala.	50
2.33.	Tipos de usuarios contemplados en la LGE.	51
3.1.	Marco Legal del Subsector Eléctrico de Guatemala.	55
3.2.	Sector privado: generador, distribuidor y comercializador. El Estado como cliente.	56
3.3.	Sector público y privado como generadores, distribuidores, sector privado y público como clientes.	56
3.4.	Monopolio estatal.	56
3.5.	Estructura del subsector eléctrico.	57
3.6.	Mercados regulado y libre.	59
3.7.	Porcentaje de energía renovable respecto al total de energía consumida por país.	60

APÉNDICES DE FIGURAS

B-1	Estados Unidos: fuentes energéticas y su destino.	72
B-2	Consumo de electricidad a nivel centroamericano, desde 1990 hasta 2010.	72
C-1	Demanda de potencia del departamento de Guatemala en un día del año 2010.	73
C-2	Factores de potencia típicos de industria y comercio.	73
G-1	Mapa de potencial solar de Guatemala elaborado por NREL (National Renewable Energy Laboratory) de Estados Unidos.	81
G-2	Mapa de potencial eólico de Guatemala elaborado por NREL (National Renewable Energy Laboratory) de Estados Unidos.	82

TABLAS

1.1.	Las energías son originadas por la radiación del Sol que llega a nuestro planeta.	8
1.2.	Energías derivadas de nuestro propio planeta.	8
1.3.	Energía específica (energía por unidad de masa) y libras de CO2 de varios combustibles por galón.	22
1.4.	¿Qué tan verdes son los biocombustibles?	23
2.1.	Potencial energético estimado del país y nivel de aprovechamiento.	29
2.2.	Balance energético de Guatemala para 2011 (cantidades en KBEP).	32
2.3.	Agentes del mercado mayorista.	39
2.4.	Índices de cobertura eléctrica para el 2013 por departamento.	46
2.5.	Regiones en las que prestan servicio las diferentes distribuidoras operantes en el país (año 2011).	48
2.6.	Tarifas de distribución de energía eléctrica, EEGSA y Energuate, 2013.	50
3.1.	Incentivos para el desarrollo de energías renovables por país.	61

APÉNDICES DE TABLAS

A-1	Prefijos de potencias de 10.	71
A-2	Factores de conversión para energía.	71
A-3	Factores de conversión para potencia.	71
C-2	Factores de potencia típicos de industria y comercio.	73
C-3	Compensación de potencia reactiva mediante capacitores. El capacitor almacena energía eléctrica mediante la formación de un campo eléctrico en su interior.	74
D-1	Parque generador por tipo de planta.	74
E-1	Generadores para el 2011.	77
E-2	Transportistas para el 2011.	78
E-3	Distribuidores para el 2011.	78
E-4	Comercializadores para el año 2011.	79
E-3	Listado de grandes usuarios registrados	80
H-1	Indicadores de energía.	83

INTRODUCCIÓN

Existen dos acciones fundamentales en el desarrollo de la humanidad: el uso de la energía como sustento básico de los mecanismos biológicos vitales, y su transformación en múltiples formas de aprovechamiento colectivo.

El entorno natural provee al ser humano las fuentes primarias de energía útil; la disponibilidad de estas y el grado de aprovechamiento dependen en primera instancia de aspectos biológicos, geográficos, geológicos y técnicos, y suponen una continua interacción del individuo y de la sociedad con su entorno natural.

El desarrollo permanente de la técnica favoreció el uso cada vez más eficiente y efectivo de las fuentes primarias de energía. El dominio del fuego permitió a las civilizaciones extraer energía útil de la materia orgánica mediante reacciones de combustión, desencadenando con ello transformaciones sociales y culturales profundas. La leña fue el primer combustible; hace 400 000 años, y aún hoy en día, se utiliza para cocinar y proveer calor a las viviendas.

En la actualidad, la energía destinada a nivel mundial para transporte, manufactura y vivienda, proviene en su mayoría de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón vegetal). Con el avance tecnológico, las fuentes de energía renovables y nucleares han ido ganando espacio en la matriz de aprovechamiento energético. Hoy constituyen 16.7 y 2.7 % respectivamente, del consumo mundial. Estados Unidos es el principal consumidor mundial de combustibles fósiles. Europa a su vez, es el principal consumidor de energía renovable.

Los procesos primarios de generación de energía son gobernados por las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza, a saber, la fuerza electromagnética, las fuerzas nucleares débil y fuerte, y la fuerza gravitacional. En última instancia, ellas dan origen a todas las fuentes de energía disponibles en la Tierra, siendo la principal de ellas, el Sol. Cada segundo, el Sol genera aproximadamente un millón de veces la producción energética mundial de todo un año. De esta energía solo una ínfima fracción es irradiada hacia la Tierra, y otra ínfima fracción de esta ínfima fracción se puede transformar en energía útil.

Más de un siglo de avances científicos y tecnológicos han permitido que la electricidad sea hoy la forma de energía más fácilmente manipulable. Sus usos son múltiples: se transforma con alta eficiencia en energía mecánica, se usa para producir luz, y puede convertirse fácilmente en calor útil generando temperaturas por encima de las temperaturas de combustión de cualquier combustible fósil.

Tal es la utilidad de la energía eléctrica que el sector eléctrico del mercado energético moldea la dinámica socioeconómica de las sociedades modernas: es motor y garante de la optimización

de los procesos productivos; sostiene e impulsa los servicios estatales y es también artífice de las formas predominantes de consumo. Hoy, los países desarrollados son altamente dependientes de la electricidad y, en los países en vías de desarrollo, el mayor alcance de la cobertura eléctrica favorece notablemente las posibilidades de bienestar y de incremento de productividad industrial. Los beneficios de la energía eléctrica se contabilizan, por ejemplo, en los sistemas de climatización de edificios y viviendas, en las redes de tecnologías de la información y comunicación, en el uso de las maquinarias industriales y domésticas, en el transporte público limpio, y en un número amplio de actividades productivas más, que acompañan el crecimiento económico y social de un país.

La electricidad no es una forma primaria de energía; se genera a partir de múltiples fuentes de energía y de la aplicación de distintas tecnologías. Las fuentes pueden ser de origen fósil, renovable o nuclear. En el año 2012, en Guatemala, las principales fuentes primarias utilizadas para generar energía eléctrica fueron la energía hidráulica (50 %) y los derivados de petróleo (22 %), siendo el sector público el principal propietario de infraestructura hidroeléctrica y, el sector privado de la tecnología termoeléctrica.

A nivel de país, el conjunto de toda la infraestructura eléctrica comprende centrales generadoras, subestaciones eléctricas, redes de distribución, y en general toda la infraestructura destinada a la prestación del servicio eléctrico mediante recursos públicos. De acuerdo con el esquema estándar, en una red de servicios de electricidad se distinguen cuatro etapas principales: la generación, la transmisión y la distribución eléctrica a voltajes y frecuencias específicas, y el consumo final de la electricidad. Las tecnologías correspondientes a cada una de ellas procuran la instalación de procesos cada vez más eficientes, con el fin de garantizar progresivamente una gestión prudente de las fuentes primarias de energía, de contribuir a la diversificación energética y de favorecer el ahorro económico y la disminución de la contaminación ambiental global.

Del conjunto de todos los servicios, la generación eléctrica es el aspecto fundamental y el que define en mayor medida la disponibilidad de energía eléctrica de una sociedad. A nivel mundial, los combustibles fósiles representan el mayor porcentaje de las fuentes primarias para poder generarla. En el año 2010, su contribución ascendía al 70 % de la generación total de electricidad. Los combustibles fósiles son, sin embargo, una fuente no renovable que no se encuentra distribuida equitativamente en el planeta y que, por encima de estas inconveniencias, conlleva consecuencias medioambientales severas. El gran reto que hoy se le presenta a la ingeniería es implementar tecnologías de generación que aseguren un balance óptimo entre beneficios técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Una de las clasificaciones más difundidas del proceso de generación eléctrica distingue dos grandes categorías en base a la naturaleza de la fuente: la generación por fuentes alternativas y la generación por fuentes convencionales. A la primera categoría corresponden el viento, el Sol, los flujos de agua de mares y pequeños caudales, las fuentes geotérmicas, entre otras. A la segunda corresponden las fuentes térmicas y las hidroeléctricas de alta capacidad.

Según el "Renewables Report 2011", alrededor del 84 % de las fuentes primarias de la energía consumida a nivel mundial en ese año fue de tipo convencional. La Agencia Internacional de Energía (IEA), proyecta que hasta el año 2030 los combustibles fósiles representarán más de tres cuartos del incremento total del uso de energía, lo cual ha desencadenado una verdadera carrera científica y tecnológica para encontrar alternativas energéticas. La inversión en desarrollo tecnológico e innovación se ha vuelto sistemática en países desarrollados, respondiendo principalmente a la necesidad de disminuir la dependencia en los combustibles de origen fósil, cuyo impacto económico es alto en países con una disponibilidad limitada de tales recursos. A esto hay que añadirle la posibilidad de implementar mecanismos de generación limpios, y obtener un beneficio ambiental al reducir las emisiones provocadas por los sistemas energéticos convencionales de combustibles fósiles.

De los beneficios inmediatos de la energía eléctrica y de la tecnología asociada, han surgido transformaciones sociales con tal grado de trascendencia, que hoy los estados reconocen en sus legislaciones a la energía eléctrica como un bien público útil, susceptible de integrarse a la dinámica socioeconómica y de desencadenar el desarrollo de una nación.

Guatemala alcanzó a mediados de la década de los 90 una cobertura de servicios de electricidad del 50 %. Hoy, las áreas urbanas del país gozan de una cobertura encima del 90 %. Sin embargo, en el área rural el acceso a los servicios de energía eléctrica es aún limitado, hecho significativo al tener en cuenta que el país, pese a haber sido alcanzado por la corriente latinoamericana de urbanización, sigue siendo mayoritariamente rural (51.5 %).

A nivel administrativo, el conjunto de servicios de electricidad es regulado por la ley a través del Ministerio de Energía y Minas (MEM). La reforma del sector eléctrico en el país se inició con la emisión del Marco Legal de la Ley General de la Electricidad (LGE), contenida en el Decreto 93-96 del Congreso de la República que, al igual que la mayoría de movimientos del mercado eléctrico en América Latina en los años 90, se introdujo en un ambiente fortalecedor del libre mercado.

Con la emisión de la LGE en 1996, el Congreso de la República de Guatemala legisló a favor de la descentralización de la administración del subsector eléctrico, hasta entonces regido por el Instituto Nacional de Electrificación (Inde). El proceso se gestó como una separación institucional vertical que incluyó:

1. La privatización parcial del subsector eléctrico.
2. La creación de un ente regulador.
3. El impulso de competencia a la generación.
4. La creación de un operador y administrador del mercado eléctrico.

Estas reformas se establecieron con el objeto de regular y fortalecer los procesos del mercado energético del sector eléctrico en un marco de principios de competencia y libertades con garantías.

Recientemente, en el año 2007, se promovieron las licitaciones de largo plazo en el Mercado Mayorista, pensando en estrategias para el ingreso de generadores y en la diversificación de la matriz energética.

En el Marco Legal de la LGE, en los últimos años se inició la actualización de la política energética 2013-2027, conformada en torno a lineamientos de seguridad del abastecimiento de electricidad y del avance en la generación energética por medio de fuentes renovables, en donde sobresale el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. En principio, son estos elementos los que marcarán las tendencias del sector energético en el país.

Sin embargo, en la dimensión social y medioambiental, el uso intensivo de los recursos naturales en regiones rurales del país, ha provocado crecientes tensiones asociadas a grandes proyectos energéticos, avivadas por el reclamo legítimo de las poblaciones por el uso de la tierra y del agua para beneficio local. Es este un claro síntoma de la actual desconexión entre la planificación de proyectos de energía y el desarrollo territorial, síntoma que se torna agudo en una sociedad donde, de acuerdo con las estadísticas del Instituto Nacional de Estadística (INE) del año 2011, en promedio, tres de cada cuatro personas viven en pobreza en 44 % de los municipios rurales.

En este contexto, el verdadero papel de la energía como instrumento catalizador de bienestar individual y colectivo, se alcanzará en la medida que los recursos energéticos del país se gestionen en función de las poblaciones, cuestión prioritaria cuando el clamor por el uso de recursos naturales es un clamor por la vida misma.

El documento *Perfil energético de Guatemala, introducción al sector eléctrico*, reúne los fundamentos técnicos y las estadísticas principales del año 2011 relacionadas con el uso y la transformación de energía en Guatemala, centrándose en el subsector de servicios de electricidad del sector energético.

El recorrido inicia con una descripción de los fundamentos físicos de la energía, y las fuentes de energía primaria disponibles sobre la Tierra, junto con un resumen estadístico del panorama mundial del aprovechamiento energético. Describe, seguidamente, las tecnologías asociadas a la etapa de generación y distribución eléctrica, para luego enfocarse

en el sistema del subsector de servicios de energía eléctrica en Guatemala, puntualizando sobre las actividades de generación, transporte y distribución, y comercialización de la electricidad en el país, junto con las estadísticas disponibles asociadas a cada una de estas actividades.

Finalmente, el documento presenta el marco regulatorio del subsector eléctrico en Guatemala, iniciando con un repaso histórico de la participación estatal en el subsector eléctrico, y siguiendo con elementos principales del Marco Legal guatemalteco relacionado con la Ley General de Electricidad. El capítulo finaliza esquematizando la dinámica de los mercados –libre y regulado– del subsector eléctrico y la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, que ampara las principales transformaciones actuales de la matriz energética.

Con este contenido, el documento sienta las bases para divulgar el tema energético en la sociedad guatemalteca; es además, un punto de partida para informar al ámbito académico, principalmente de nivel superior, constituyéndose así en insumo para analizar, sobre una base técnica, tendencias, dinámicas económicas, sociales, políticas e institucionales vinculadas al uso y a la transformación de la energía en el desarrollo de Guatemala.

Juan Adolfo Ponciano



1.

**ENERGÍA: FUNDAMENTOS
Y TECNOLOGÍAS**

1.1. LAS FUERZAS FUNDAMENTALES

La teoría cosmológica estándar sobre el origen del universo supone que este surgió de un cataclismo sin precedentes –la gran explosión– hace unos 13 500 millones de años. Inicialmente, es decir, durante una fracción del primer segundo de tiempo, el universo estaría comprimido en un punto infinitesimal. Dicho punto contendría toda la materia y radiación del universo actual, incluyendo al espacio y al tiempo.

Luego de aquella fracción de existencia en un punto, una formidable explosión originada por un mecanismo desconocido, haría que el universo se expandiera desde un minúsculo tamaño hasta alcanzar proporciones astronómicas; todo ello en unos cuantos segundos. La teoría de la gran explosión –Big Bang– nació precisamente de la observación de que las galaxias se separan entre sí a gran velocidad, como si todas hubieran sido expulsadas de un punto en común por alguna explosiva fuerza ancestral. Ciertamente, el descubrimiento de la llamada radiación de fondo¹, vestigio del universo temprano, confirmó la teoría.

Aunque en la actualidad se desconoce la naturaleza del tipo de energía inicial que provocó la gran explosión, si se ha encontrado una relación fundamental entre la energía posterior a la gran explosión y otra cantidad física llamada fuerza. Todos los fenómenos físicos de la naturaleza y la agregación de materia se explican a partir de cuatro fuerzas o interacciones fundamentales (ver figura 1.1.). En la teoría de las partículas elementales, existe un concepto unificador de las fuerzas fundamentales, llamado “campo”, que consiste en una modificación de las propiedades del espacio y del tiempo alrededor de las partículas sensibles a un tipo de interacción. No hay acción a distancia, el campo es el mediador de la interacción entre la materia. La energía está relacionada con cada uno de estos campos fundamentales de interacción. La energía es, entonces, una propiedad de los campos asociados a las fuerzas fundamentales.

Fuerza gravitacional

Es la fuerza que actúa sobre la propiedad de la materia llamada masa. Tiene un alcance infinito y siempre es atractiva. Aunque se conoce cómo actúa esta fuerza a escalas astronómicas y cosmológicas, aún no se dispone de una teoría consistente de la gravitación que unifique las descripciones macroscópicas con las leyes del mundo microscópico.

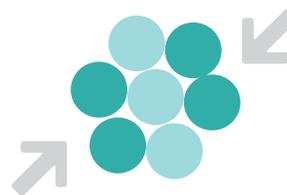
Fuerza electromagnética

Es la fuerza que actúa entre partículas eléctricamente cargadas. Puede ser atractiva o repulsiva. Es dominante a nivel atómico y molecular; sus efectos son responsables de la cohesión entre núcleos y electrones atómicos, y controlan además la formación de materia macroscópica a partir del agregado de átomos. Esta fuerza tiene alcance infinito.

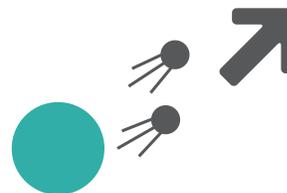
¹ Dicha radiación fue descubierta en 1965 por Arno Penzias y Robert Wilson. Los descubridores fueron galardonados en 1978 con el Premio Nobel de Física por su hallazgo.

Figura 1.1.

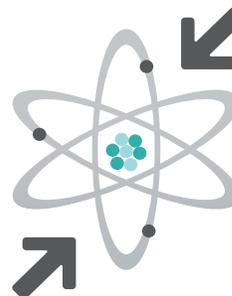
Las cuatro fuerzas fundamentales.



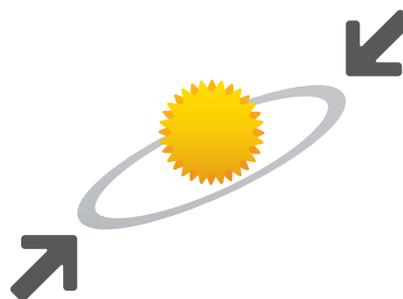
La fuerza fuerte une al núcleo.



La fuerza débil está presente en el decaimiento radiactivo.



La fuerza electromagnética une al átomo.



La fuerza gravitacional une al núcleo.

La manipulación de la fuerza electromagnética ha dado origen a muchas de las tecnologías modernas: desde la generación y transporte de la electricidad, pasando por la electrónica y las telecomunicaciones, hasta los ordenadores y las redes de internet.

Fuerza nuclear débil

Es la fuerza que actúa en la desintegración nuclear, en donde los neutrones se desintegran –se convierten– en protones, electrones y antineutrinos; este proceso, es conocido como radiactividad β . Interviene también en la fusión protón-protón en el Sol, proceso que da lugar a toda la energía solar que alcanza a la Tierra. Su rango de alcance está limitado al núcleo atómico. Puesto que el núcleo de la Tierra es radiactivo –de allí su alta temperatura–, puede afirmarse que las erupciones y el movimiento de las placas tectónicas son consecuencia en última instancia de la fuerza nuclear débil (ver figura 1.1.).

Fuerza nuclear fuerte

Es la fuerza que une a protones y neutrones en el núcleo atómico. De forma más precisa, la fuerza fuerte es responsable de la interacción entre quarks –los ladrillos fundamentales de los protones y los neutrones–. La cohesión entre protones y neutrones en el núcleo atómico es consecuencia de un efecto residual de la fuerza fuerte, de manera similar al fenómeno de interacción electromagnética residual que forma moléculas a partir de átomos. Puesto que los protones se repelen electromagnéticamente, la fuerza nuclear fuerte es más poderosa que la fuerza electromagnética, ya que mantiene a los protones próximos, pese a la repulsión eléctrica existente entre ellos (ver figura 1.1.).

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ENERGÍA

Las propiedades de la energía se derivan de la manera en la que las cuatro fuerzas fundamentales interactúan con la materia agregada. Estas propiedades se manifiestan cuando los sistemas intercambian energía. Aunque ocurren de manera simultánea y nunca de manera aislada, a continuación se mencionan las principales características de la energía.

Formas

Existen dos formas fundamentales de energía:

- Energía cinética: asociada al movimiento del sistema.
- Energía potencial: asociada a la posición de un sistema con respecto a otro y a la existencia de fuerzas entre ellos.

Los sistemas naturales, libres de cualquier intervención artificial, tienden a alcanzar estados de menor energía potencial. Un sistema con menor energía potencial es más estable. Por ejemplo, si se le deja en libertad, el agua fluye hacia abajo; si se suelta una bola, cae. En otras palabras, un sistema en libertad siempre tiende a alcanzar una configuración con la menor energía posible.

Los sistemas en libertad pasan de una estabilidad menor a una mayor; de menos ligados a ser más ligados, o bien, de mayor energía potencial a menor energía potencial. Puesto que los estados estables tienen menor energía potencial, se puede obtener energía al provocar artificialmente que un sistema pase de un estado de mayor energía potencial a otro de menor energía potencial.

Lo anterior sugiere que –en el caso opuesto– para cambiar un sistema de una energía potencial menor a una mayor, se le debe entregar energía al sistema: para levantar un ladrillo se le debe entregar energía, así, este aumenta su energía potencial; para emprender vuelo, las aves necesitan energía.

Transferencia

Cuando un sistema ejerce una fuerza sobre otro, y lo mueve, hay transmisión de energía. Puede decirse también que la energía es una cantidad física que se intercambia entre distintos sistemas. Los sistemas pueden tener desde tamaños moleculares hasta astronómicos; comprender un solo objeto o varios.

- La energía del combustible es utilizada por el motor, que a su vez hace posible el desplazamiento del vehículo.
- La energía solar se convierte en energía eléctrica mediante el panel fotovoltaico. La energía solar es atrapada por las plantas, que a su vez transmiten esa energía al servir de alimento para los animales.
- La energía proveniente de los alimentos es aprovechada por los músculos para realizar movimientos.
- La energía del viento es convertida en energía eléctrica por medio de una turbina.

Conservación

La energía no se crea ni se destruye, se transforma. Es decir, la energía cambia de una forma a otra. Por ejemplo:

- De energía térmica a electromagnética.
- De energía electromagnética a energía mecánica.
- De energía mecánica a energía eléctrica.
- De energía química a energía eléctrica.

Degradación

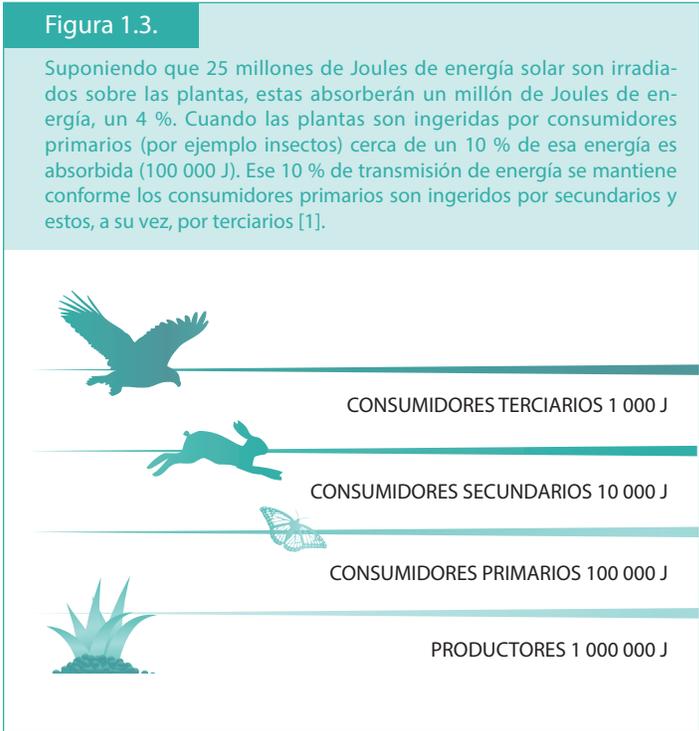
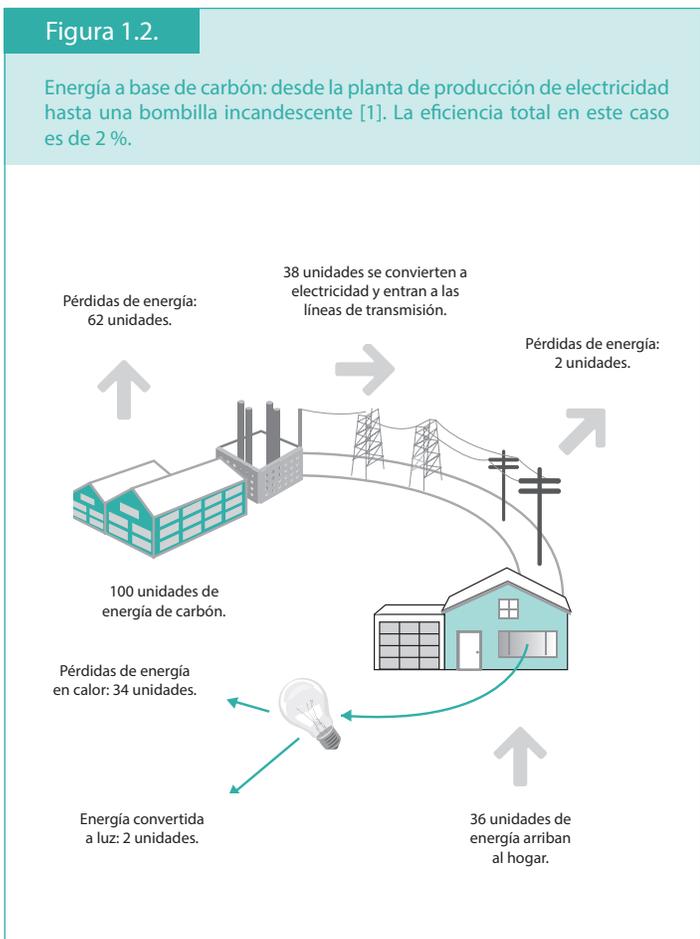
Cuando la energía se transfiere de un sistema a otro, parte de la energía siempre se disipa en el proceso en forma de calor. Es imposible un proceso en el cual toda la energía se aproveche para trabajos útiles² (ver figura 1.2.). Es decir, cada transformación de energía implica un remanente en forma de calor. Esta restricción natural, da lugar al concepto de eficiencia:

$$\text{Eficiencia} = \text{Energía de salida} / \text{Energía de entrada}$$

2 Es decir, para mover sistemas u objetos. En escalas microscópicas o macroscópicas.

Por ejemplo:

- Los motores modernos de gasolina tienen una eficiencia del 24 %. Es decir, de 100 unidades de energía que se consumen de gasolina, 76 se disipan en forma de calor y 24 son aprovechadas.
- Una planta generadora de electricidad que usa carbón tiene una eficiencia aproximada de un 48 %. Esto es, de 100 unidades de energía que se consumen del carbón, 48 son utilizadas y 52 son disipadas al ambiente. Lo que significa que 48 % de energía inicial entra a las líneas de transmisión.
- Los músculos del ser humano tienen una eficiencia aproximada del 22 %. De cada 100 unidades de energía que consumen, 22 son utilizadas y 78 se disipan en calor.



1.3. ENERGÍA, TECNOLOGÍA Y OTRAS DISCIPLINAS

La industria relacionada con el aprovechamiento de energía involucra aspectos que van más allá de las ciencias naturales y la tecnología. A menudo se requiere la comprensión de factores económicos, sociales, políticos, psicológicos e históricos. El estudio de la energía es, en efecto, una tarea interdisciplinaria.

Entorno tecnológico

Aunque existen incontables aplicaciones energéticas, se escoge el tema de la iluminación para ilustrar de manera breve distintos aspectos del uso de la energía con un fin específico.

Una candela, por ejemplo, está formada por un cilindro de cera con una mecha en el centro. Al encenderse la vela, el calor derrite la cera en la mecha y, a su vez, la cera de la parte superior de la candela; la cera derretida asciende entonces en la mecha por acción capilar, ocurre en ese momento una combustión activada por la acción de la llama inicial. Este nuevo calor derrite más cera, que asciende de nuevo por la mecha; el ciclo entero se repite de nuevo.

Por otro lado, un bombillo incandescente está construido por un tubo al vacío y un filamento: cuando se hace pasar una corriente eléctrica por este, el filamento se calienta tanto que llega a brillar.

Un bombillo tipo LCF (luz compacta fluorescente) en cambio, está relleno de vapor de mercurio. El bombillo tiene una pintura

de fósforo en el interior: al someterlo a una corriente eléctrica, los electrones del gas aumentan su energía. Cuando naturalmente regresan a su estado básico –de menor energía–, liberan el exceso de energía en forma de luz ultravioleta (invisible al ojo). Cuando esta luz incide sobre el fósforo, este emite luz visible.

Para generar la misma cantidad de luz de un bombillo de filamento, el bombillo tipo LCF necesita entre un quinto y un tercio de energía eléctrica que la utilizada por el primero. Es decir, el bombillo tipo LCF es más eficiente que el bombillo incandescente³; y este último es, a su vez, más eficiente que la candela de cera. Es evidente entonces que la eficiencia de cada aparato está limitada por los principios físicos utilizados en cada uno, y por los materiales empleados.

En otras palabras, es un asunto tecnológico que involucra los siguientes puntos:

- Conocimiento del origen y el uso de la energía.
- Leyes naturales básicas de la energía.
- Procesos de eficiencia.
- Limitaciones físicas y tecnológicas.

Entorno político, económico, social y ambiental

La industria de la energía está ineludiblemente relacionada con aspectos políticos, económicos, sociales y ambientales. Cada uno de estos factores está relacionado entre sí: resulta imposible afectar a uno de ellos sin afectar al resto.

El estudio de la interrelación de tales aspectos muchas veces incluye análisis globales, regionales y locales que toman en cuenta a gobiernos, entidades públicas, sector privado, agencias internacionales, comunidades locales y organizaciones no gubernamentales. Entre los temas más populares se encuentran: la regulación energética y la ambiental, la calidad y la eficiencia de servicios energéticos, la garantía en la provisión de energía, los mercados energéticos, las intervenciones gubernamentales y la promoción de la innovación tecnológica.

A modo de ejemplo global: el consejo de la Unión Europea reconfirmó en febrero de 2011, el objetivo de reducir en un 80 % a un 95 % las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2050 [2]. Lo anterior, con el propósito de minimizar el impacto del calentamiento global, limitando el aumento de temperatura en el rango de 2 °C a 2.5 °C.

Esto requiere que la concentración de CO₂ en la atmósfera se establezca a 350-400 partes por millón [3]; en la actualidad es de aproximadamente 385 ppm y está aumentando rápidamente. En contraste, antes de la Revolución industrial⁴, el nivel de CO₂ en la atmósfera era de 280 ppm.

El acuerdo implica que el sector energético europeo deberá ser libre de carbón para el 2050. Dicha visión abarca también

³ Igualmente, el bombillo LFC dura de ocho a quince veces más que un bombillo de filamento.

⁴ La Revolución industrial ocurrió entre 1760 y 1840.

medidas para la reducción de gases de efecto invernadero en otros sectores, como el de la agricultura y la producción de carne (que representan emisiones de CH₄ y N₂O) [4].

Es evidente entonces la serie de acuerdos, regulaciones, promociones de tecnología, estudios ambientales, análisis políticos, intervenciones gubernamentales, etc., que por tal convenio experimentará Europa en los próximos años.

1.4. EVENTOS EN EL USO DE ENERGÍA

A continuación se presenta un breve recuento de eventos seleccionados en el uso de la energía por el ser humano. Es de notar que el tipo de combustible –fuente energética– predominante en la época, determina tecnologías que moldean industrias, que a su vez tienen repercusiones económicas, políticas, sociales y ambientales.

Hace 400 000 años

- Descubrimiento del fuego.
- La leña se utilizaba como combustible para cocinar y proveer de calor a las viviendas primitivas. El uso del fuego desencadenó una serie de aplicaciones clave para el desarrollo; por ejemplo, la fusión de metales.

Hace 11 000 años

- Además de la leña como fuente de energía, el ser humano aprendió a utilizar la energía del sol, del agua, del viento y de los animales, para distintos fines como el transporte y la agricultura.

Hace 2 400 años

- Se descubre el carbón como combustible.

Años d. C.

1600

- Los europeos empiezan a utilizar la pólvora.

1694

- Los ingleses patentan la extracción de aceite del esquisto⁵.

⁵ Mineral del cual se extrae un aceite muy parecido al petróleo por su composición química.

1750 -1850

- Gracias a la Revolución industrial (liderada por la máquina de vapor), el carbón sustituye a la leña como principal fuente energética.
- Las aplicaciones de los motores de vapor abarcan el transporte (locomotoras), la manufactura y la industria en general.
- La invención de los motores de corriente alterna AC y los transformadores de Tesla, hicieron posible la transmisión de la energía eléctrica en grandes distancias.
- Primeras hidroeléctricas.
- Primeras turbinas de viento.

1854

- El primer pozo de petróleo en Norteamérica, perforado en Ontario, Canadá.

1870

- Rockefeller empieza a refinar petróleo en keroseno en Cleveland, Estados Unidos.

1885

- Daimler y Benz construyen el primer automóvil⁶.
- El consumo de carbón en Estados Unidos sobrepasa al consumo de leña.

1890

- Invento de motor diésel para barcos y fábricas.

1938

- México nacionaliza la industria del petróleo.

Años 50

- Los ferrocarriles en Estados Unidos pasan de carbón a diésel.
- Los laboratorios Bell producen la primera celda fotovoltaica utilizando materiales semiconductores; es la primera celda que convierte la luz del Sol en electricidad con eficiencia funcional.
- Se genera electricidad por reacción nuclear en Inglaterra.

1960

- Se forma la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo).

1971-1974

- Libia nacionaliza la concesión de BP (British Petroleum).
- Iraq nacionaliza The Iraq Petroleum Company.
- Irán nacionaliza Iranian Petroleum Consortium.
- Kuwait, Qatar, Nigeria, Arabia Saudita y Abu Dhabi incrementan participación gubernamental en compañías extranjeras de petróleo en territorio nacional.

6 Su motor utilizaba diésel.

1976

- Venezuela nacionaliza la industria del petróleo.

1986

- Accidente nuclear de Chernóbil.

1989

- Exxon Valdez derrama 11 millones de crudo en Alaska en 1997.
- El Protocolo de Kyoto busca reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

2003

- Estados Unidos ataca a Irak, desplazando a Saddam Hussein del poder⁷.

2009

- Mediante el proyecto de movilidad por hidrógeno, Alemania planea la comercialización de vehículos de celdas de combustible (hidrógeno) para el 2015. El proyecto incluye la construcción de la infraestructura como punto de partida para el resto de Europa.

2010 - 2012

- Estados Unidos es el principal consumidor mundial de combustibles fósiles. Europa a su vez, es el principal consumidor de energía limpia (renovable)⁸.
- En Estados Unidos, 106 generadoras de electricidad a base de carbón (13 % de la industria de ese país) han sido descartadas de acuerdo con nuevos estándares de protección ambiental.
- Inestabilidad en medio oriente (Libia y Siria)⁹.
- Korea del Sur anuncia la instalación de 2 millones de celdas de combustible (hidrógeno) residenciales para el 2020. La meta es generar la energía de consumo nacional de combustibles renovables en un 50 % para el 2030.
- El accidente nuclear en Fukushima, Japón, disuade a varios países de continuar la expansión de programas de energía atómica.

7 Ver "Reservas de petróleo" en la sección "Energía de hidrocarburos". Irak es uno de los países con mayor cantidad de reservas de petróleo en el mundo. El manejo de dichas reservas es generalmente fuente de conflictos políticos locales e internacionales.

8 Aunque no es un dato relevante para la economía mundial, cabe mencionar que para entonces la principal fuente de energía de Guatemala era la leña (ver capítulo 2).

9 Como en el caso de Irak, las reservas de hidrocarburos de ambos países dan origen a tensiones de poder locales e internacionales.

1.5. FUENTES ENERGÉTICAS DE LA TIERRA

En general, las fuentes de energía se dividen en renovables y no renovables.

- Energías renovables o sostenibles son aquellas que se obtienen de medios naturales virtualmente inagotables (radiación solar, viento, geotermia, biomasa, lluvia, ríos, olas y mareas).
- Energías no renovables son aquellas cuyas fuentes de origen se agotan (combustibles fósiles, energía nuclear).

Para el planeta Tierra existen dos fuentes principales de energía: el Sol y la tierra. Todas las energías renovables y no renovables en la Tierra provienen en última instancia del Sol, o bien, del planeta mismo.

A continuación se muestra una clasificación de las energías de acuerdo con su origen:

Del Sol

Tabla 1.1.		
Las siguientes energías son originadas por la radiación del Sol que llega a nuestro planeta.		
Tipo de energía	Vínculo con la radiación solar	Período necesario para su disponibilidad de consumo
Radiación solar (a esta energía se le llama comúnmente energía solar cuando se capta directamente por paneles o calentadores).	Captación directa mediante panel o calentador solar.	Generación de electricidad: instantáneo. Calefacción: minutos.
Energía proveniente de biomasa: Leña, cultivos, algas y desechos orgánicos.	Fotosíntesis (las plantas utilizan la radiación solar para realizar la fotosíntesis).	Algas: días. Leña: años. Cultivos: meses. Desechos orgánicos: días-años.
Hidráulica.	Ciclo del agua activado por evaporación producida por calentamiento.	Días.
Eólica.	Calentamiento desigual en distintas regiones, lo que origina corrientes de viento.	Minutos.
Petróleo.	Fotosíntesis de microorganismos de hace millones de años.	Millones de años.
Carbón.	Fotosíntesis de plantas de hace millones de años.	Millones de años.

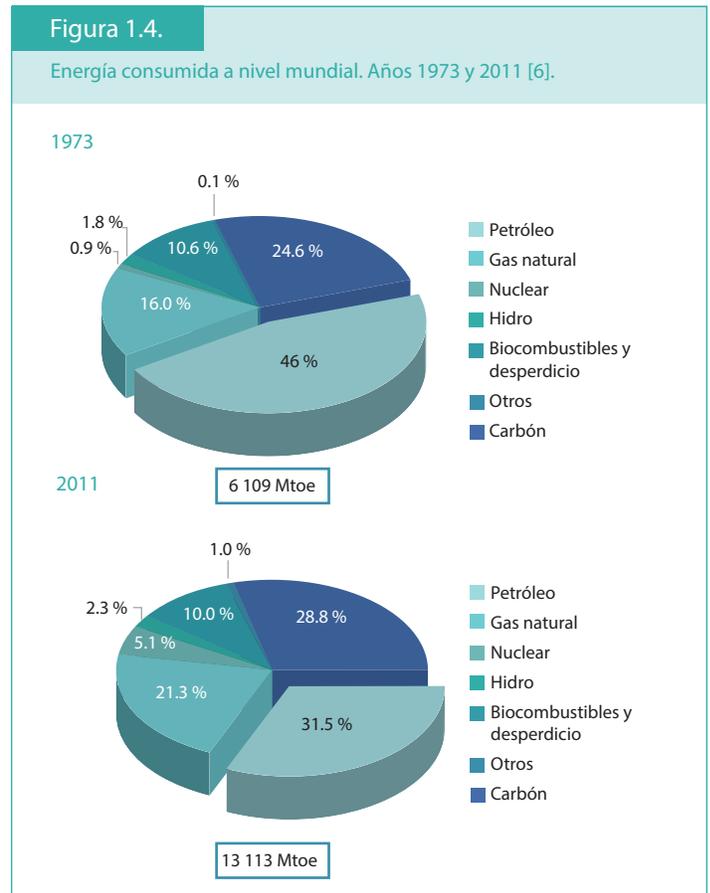
De la Tierra

Tabla 1.2.		
Energías derivadas de nuestro propio planeta.		
Energía derivada del interior de la Tierra	Vínculo con la Tierra	Período necesario para su disponibilidad de consumo
Geotermia.	Magma proveniente del núcleo de la Tierra.	Miles de millones de años (desde el origen del planeta).
Nuclear.	Uranio formado en la corteza terrestre.	Miles de millones de años (desde el origen del planeta).

Energía consumida a nivel mundial: todas las fuentes primarias

La figura 1.4.¹⁰ compara las fuentes primarias de energía consumidas a nivel mundial para los años de 1973 y 2012. Es indiscutible dominio del petróleo y del resto de los hidrocarburos en dicho período. La energía renovable, por aparte, ha aumentado de aproximadamente un 12.5 % a un 13.3 %.

Un reporte de la Agencia de Información de Energía de Estados Unidos, asegura que la energía renovable y la nuclear serán las fuentes energéticas de mayor crecimiento en las próximas décadas [5], aumentando a un ritmo de 2.5 % por año.



10 En megatoneladas equivalentes de petróleo. Ver "Apéndice A" para conocer las principales unidades de energía y sus conversiones.

En cuanto al consumo de combustibles fósiles, el mismo estudio predice que el gas natural experimentará el mayor incremento anual, siendo este de 1.7 %.

Electricidad consumida a nivel mundial

La electricidad es una forma secundaria de energía¹¹; se necesita una fuente primaria para producirla. Tal fuente puede ser de origen fósil, renovable o nuclear. Una vez transformada la energía primaria en electricidad, adquiere propiedades sumamente convenientes y versátiles. La electricidad prácticamente abarca todos los aspectos de la vida moderna: desde procesos industriales, pasando por la informática, las telecomunicaciones y la iluminación, hasta el funcionamiento de los electrodomésticos del hogar. Además, la electricidad ya ha incursionado en el sector del transporte: se estima que para el año 2020 habrán aproximadamente 2.4 millones de vehículos eléctricos circulando por las carreteras alrededor del mundo[7].

A su vez, la electricidad marca la diferencia entre un país pobre y uno rico: en el año 2013 había 1.2 billones de personas en países subdesarrollados que aún carecían del acceso al servicio básico de energía [8].

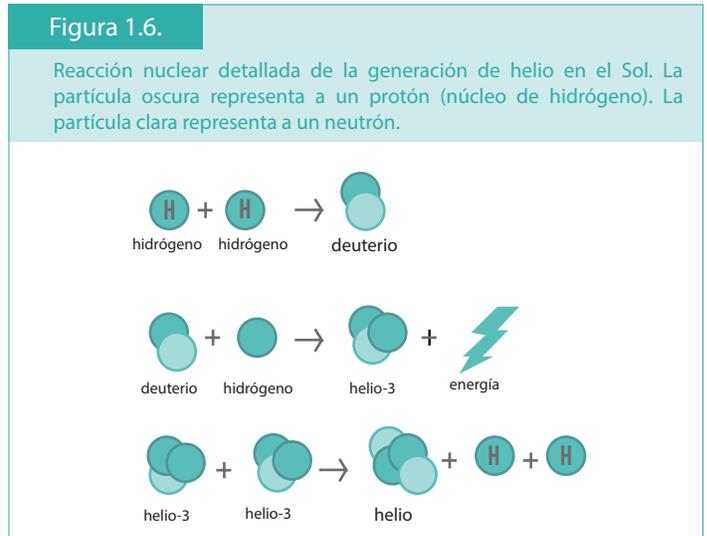
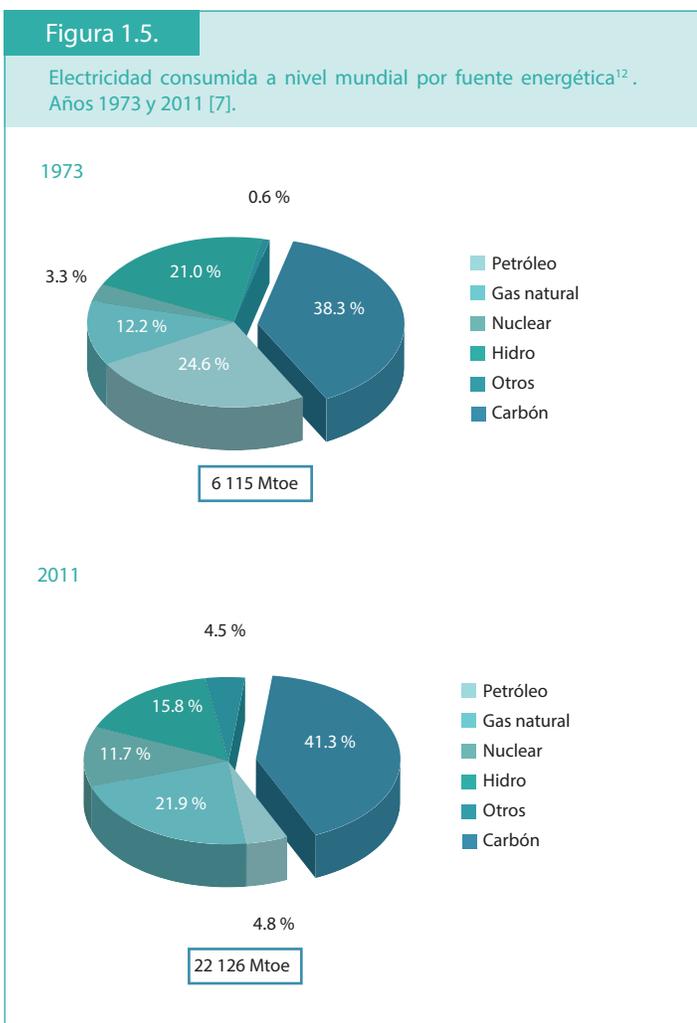
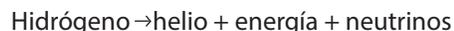
La figura 1.5.¹² compara las fuentes primarias de energía para la electricidad, consumida a nivel mundial entre los años de 1973 y 2011. Nótese la disminución en el uso del petróleo, el incremento del uso del carbón y del gas natural. Asimismo, la gráfica muestra un notable incremento en el uso de fuentes nucleares.

1.6. EL SOL

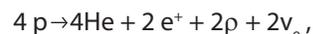
Fuente energética del Sol

El Sol es una estrella estable cuyo tiempo de vida se estima de 9 a 10 mil millones de años. Se encuentra a la mitad de su existencia; 4 a 5 mil millones de años. Esto significa que continuará irradiando energía durante ese período.

El principio energético del Sol es la fusión nuclear que ocurre en su interior (ver figura 1.6.):



El proceso fundamental consiste en que cuatro protones de cuatro átomos de hidrógeno se combinan para formar un deuterón (núcleo del deuterio), que a su vez se transforma en helio capturando protones. El proceso neto está representado por la siguiente reacción:



11 Existen otras fuentes secundarias de energía. Por ejemplo, los combustibles refinados como el hidrógeno, la gasolina y el etanol, los cuales se derivan de hidrocarburos o biomásas. El calor, por aparte, es también una fuente secundaria de energía. Sin embargo, la fuente secundaria de energía más versátil de todas es la electricidad, debido a la extensa gama de sus aplicaciones.

12 En TeraWatt-hora. En la factura eléctrica se utiliza una dimensional mucho más pequeña: kiloWatt-hora (ver Apéndice A).

donde e^+ denota un positrón¹³, ρ es el fotón¹⁴, y ν_e ¹⁵ es un neutrino. Durante el proceso se libera energía, principalmente mediante la emisión de fotones (radiación electromagnética) y neutrinos. Es importante mencionar que la fuerza gravitacional es el disparador de las reacciones de fusión nuclear en el Sol, que a su vez están gobernadas por la fuerza débil. Dicho fenómeno ocurre únicamente en cuerpos con masas tan grandes como el Sol, es decir, en las estrellas¹⁶.

Interacción radiación-materia

La energía solar viaja por el espacio en forma de radiación electromagnética. Esto significa que a la Tierra llega radiación electromagnética proveniente del Sol, o bien, radiación solar. Es importante comprender la interacción de la radiación con la materia, puesto que de ello dependen posteriores transformaciones energéticas, o sea, fuentes secundarias de energía.

Radiación electromagnética

Origen

Cualquier cuerpo a una temperatura igual o mayor a un grado kelvin¹⁷ genera ondas electromagnéticas¹⁸.

Composición

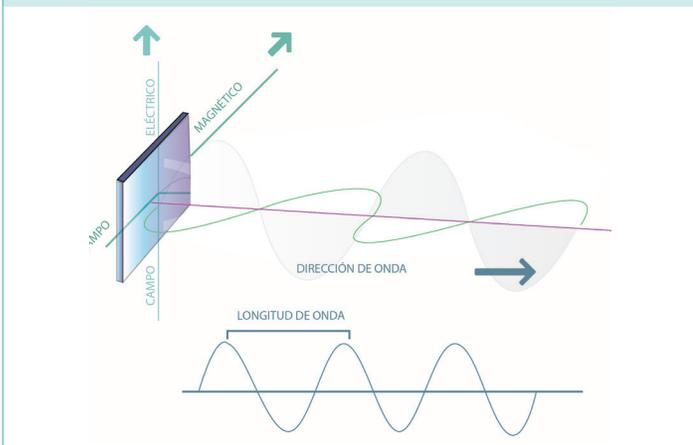
La radiación está compuesta por ondas electromagnéticas, que son campos eléctricos y magnéticos oscilantes.

Características

- Longitud de onda (las ondas se propagan siguiendo un patrón repetitivo; la distancia que abarca el patrón característico se llama longitud de onda).
- Frecuencia.
- Se propagan a una velocidad de 300 000 km/s en el vacío.

Figura 1.7.

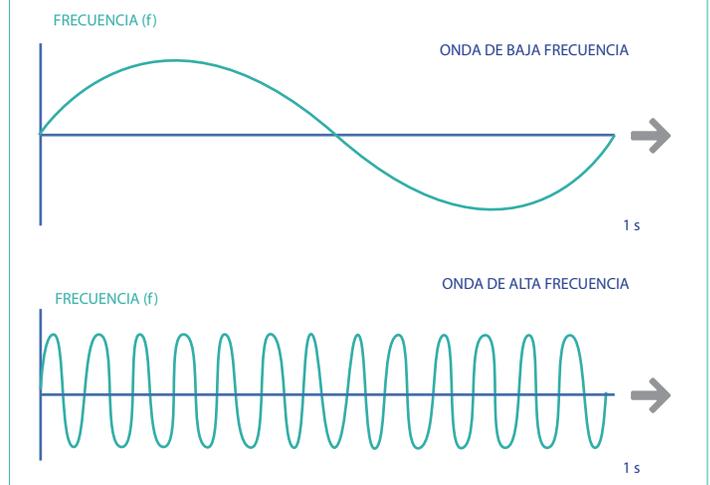
Las ondas electromagnéticas se componen por campos eléctricos y magnéticos. Cada campo oscila a 90° con respecto del otro.



13 Antipartícula del electrón; esto es, un electrón de carga positiva.
 14 Radiación electromagnética.
 15 Partícula subatómica de masa casi igual a cero, asociada al electrón.
 16 El Sol es una estrella cuya masa es aproximadamente 330 000 veces la masa del planeta Tierra.
 17 Un grado Kelvin equivale a una temperatura de -272 °C.
 18 Es una ocurrencia natural. No obstante, se puede inducir la generación de ondas electromagnéticas artificialmente.

Figura 1.8.

La energía de las ondas electromagnéticas está asociada a su frecuencia. Las ondas de frecuencias bajas llevan energía baja; las ondas de frecuencias altas transmiten energía alta.



- La energía de las ondas electromagnéticas es mayor en cuanto menor es su longitud de onda.
- La luz visible es un tipo de radiación electromagnética.
- Su intensidad (su concentración) decrece conforme se aleja de la fuente de origen¹⁹ (figura 1.9).

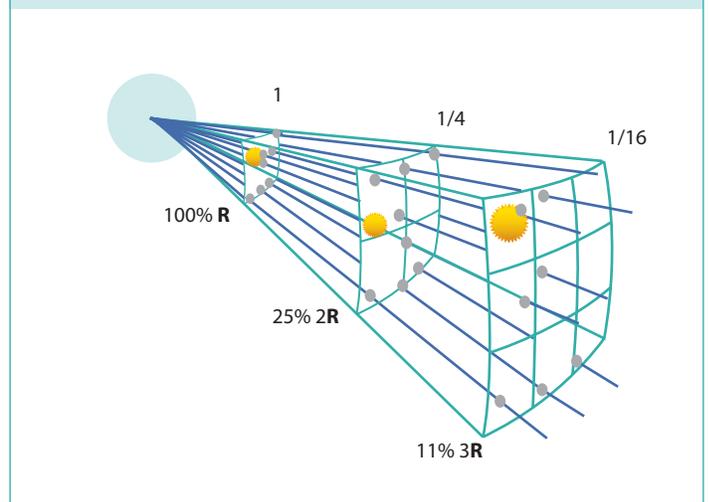
Interacción con la materia

Cuando la radiación electromagnética incide en la materia, la radiación puede ser:

- Reflejada
- Difractada (en materiales transparentes)
- Absorbida

Figura 1.9.

Aunque la energía de cada onda electromagnética se mantiene constante, la concentración de las ondas electromagnéticas disminuye con la distancia. Esto se debe a la propagación esférica; natural en muchos tipos de ondas. Las líneas en la figura representan rayos de luz (que básicamente son ondas electromagnéticas propagándose esféricamente).



19 Ley del inverso del cuadrado de la distancia.

Las características del material, la separación mínima entre sus moléculas, así como la disposición de sus electrones, determinan la reflexión, la difracción o la absorción.

- Los electrones del material son los que absorben la energía en forma de radiación.
- La radiación electromagnética absorbida provoca transformaciones energéticas en el material absorbente.

1.7. RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA

La energía de las reacciones nucleares en el Sol se transforma en energía electromagnética que el Sol irradia al espacio: radiación solar.

A la Tierra llegan aproximadamente 2 mil millonésimas²⁰ de esa energía.

La radiación solar incidente en la Tierra se divide de la siguiente manera (ver figura 1.10.):

- Reflejada por la atmósfera: 6 %.
- Reflejada por las nubes: 20 %.
- Reflejada por la superficie terrestre: 4 %.
- Absorbida por la atmósfera: 16 %.
- Absorbida por las nubes: 3 %.
- Absorbida por el suelo y los océanos: 51 %.
- Total: 100 %.

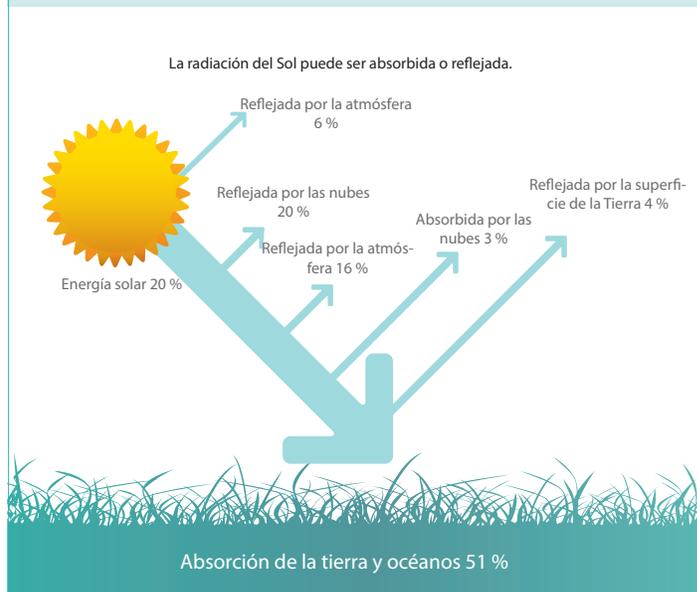
La energía total absorbida por la atmósfera, océanos y superficie de la Tierra en un año, es aproximadamente 3 850 000 Exajoules (EJ); a modo de comparación, la energía utilizada en un año por nuestra civilización corresponde aproximadamente al 0.01 %²¹ de esa cantidad. Dicho de otra manera, la cantidad de energía solar que la Tierra absorbe en una hora, es mayor a la energía total que la humanidad consume en un año.

20 Fracción que se obtiene al dividir un número entre mil millones. Es decir, el Sol emite 2.2 miles de millones de veces más energía al espacio que la que llega a la Tierra.

21 Considerando un consumo mundial de 500 EJ al año.

Figura 1.10.

La radiación del Sol puede ser absorbida o reflejada.



La energía en forma de radiación está asociada a longitudes de ondas electromagnéticas. Una sustancia puede absorber radiación –ondas electromagnéticas– cuando su estructura química le permite absorber cierta longitud de onda. Si no ocurre absorción²², la onda atraviesa la sustancia (se dice que la sustancia es “transparente” a esa longitud de onda) o bien, es reflejada.

Las ondas electromagnéticas provenientes del Sol se dividen en tres grupos principales (ver figura 1.11.).

Luz ultravioleta

- El ozono en la capa superior de la atmósfera absorbe luz ultravioleta²³.
- La radiación de longitudes de onda que no absorbe el ozono alcanza la superficie terrestre; este tipo de radiación es responsable del “bronceado” y en ciertos casos, del cáncer de piel.

Luz visible

- La atmósfera es transparente²⁴ a la luz visible (longitud de onda de 400 a 700 nanómetros).
- La luz visible, en su mayoría, llega a la superficie terrestre.

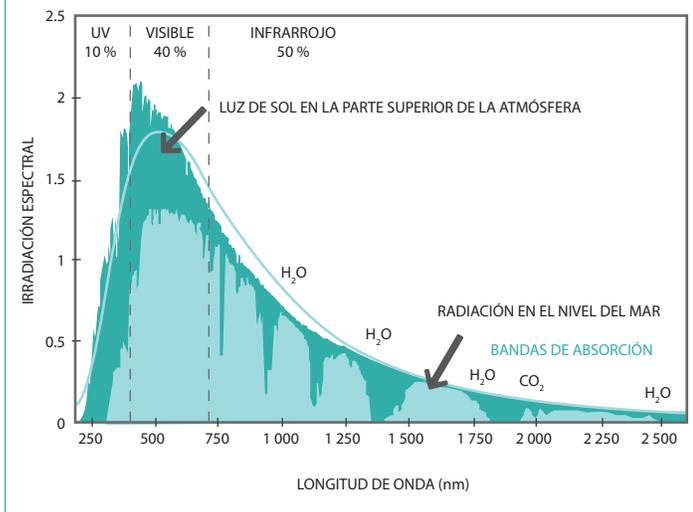
22 Los electrones de la sustancia son los receptores de la energía.

23 De hecho bloquea de un 97 % a un 99 % de radiación ultravioleta. El resto llega a la superficie. Aunque el oxígeno es absorbente de esta longitud de onda, un 78 % de la atmósfera es nitrógeno (transparente a la luz ultravioleta), de allí se deduce que un porcentaje de radiación ultravioleta aún arribe a la superficie terrestre.

24 Casi transparente. La coloración azul del cielo significa que la luz correspondiente al azul es absorbida y luego reemitida por moléculas en las correspondientes capas de la atmósfera.

Figura 1.11.

Espectro de la radiación solar. En la parte superior de la atmósfera, la radiación solar se compone en promedio de un 10 % de radiación ultravioleta, un 40 % de luz visible y un 50 % de luz infrarroja. Nótese las regiones de absorción de longitudes de onda debido a las moléculas de agua (H₂O), de oxígeno (O₂), de dióxido de carbono (CO₂) y de ozono (O₃).



1.8. ENERGÍAS DERIVADAS DE LA RADIACIÓN SOLAR

Renovables

Radiación solar directa

Paneles solares

Principio físico fundamental

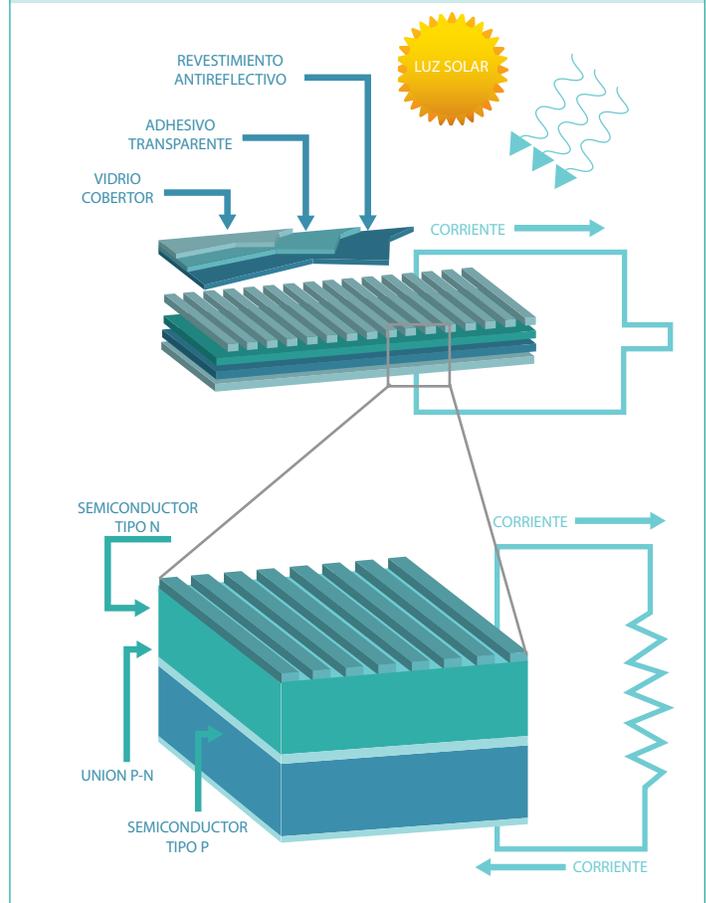
- Absorción de radiación solar en el rango de luz visible e infrarrojo.

Principio físico de generación de electricidad

- Los electrones en el semiconductor de los paneles solares absorben la radiación solar (las correspondientes longitudes de onda). Esta absorción hace que abandonen el semiconductor, generando una corriente eléctrica (ver figura 1.12.).

Figura 1.12.

El panel solar está compuesto de celdas fotovoltaicas (solares). Las celdas están hechas de dos capas de un semiconductor, en general, silicio. Cuando los electrones del semiconductor absorben radiación en el rango visible (o infrarrojo) se liberan de una capa desplazándose hacia la otra. El resultado del movimiento es una corriente eléctrica que se extrae de la celda.



Colectores solares

Principio físico fundamental

- Absorción de radiación solar en el rango de luz visible e infrarrojo.

Principio físico de generación de calefacción de agua

- Principio del efecto invernadero (ver figura 1.13.): la radiación (luz visible) que se transmite a través del vidrio del colector, genera radiación infrarroja al incidir sobre los objetos en el interior. Esta radiación no puede escapar por el vidrio; se refleja. En este proceso las tuberías en el colector se calientan, y por consiguiente, el agua en su interior también se calienta. El agua caliente se mueve por efecto de convección –movimiento de una masa caliente de fluido– lo cual genera la circulación (ver figura 1.14.).
- El fondo del colector está pintado de negro para facilitar la absorción de luz visible, que luego de ser absorbida por la base negra (y por los tubos²⁵), se transforma en radiación infrarroja.

25 En general, la tubería está hecha de cobre o de borosilicato (un tipo de vidrio).

Figura 1.13.

El colector solar está compuesto de: un panel colector para la captura de energía solar; un sistema de circulación del agua entre el colector y el tanque de almacenamiento; un sistema auxiliar de calentamiento y un sistema de regulación de todo el sistema.

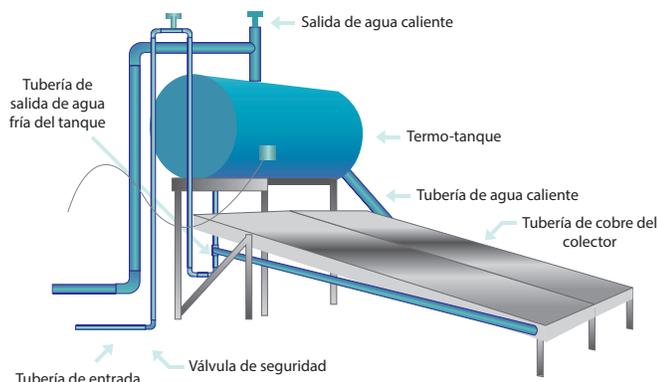
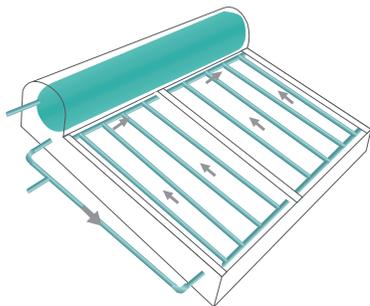


Figura 1.14.

Las flechas indican la dirección del flujo de agua cuando ocurre absorción de energía solar en el colector.



Panorama mundial de la energía solar

Una de las primeras iniciativas en Estados Unidos para promover masivamente la adopción de paneles fotovoltaicos fue la de Bill Clinton en junio de 1997: "iniciativa del millón de techos solares", por la cual se establecieron medidas federales y estatales. Con el objeto de darle continuidad a la iniciativa se propuso en el año 2010 la "iniciativa de los 10 millones de techos solares", que tiene como propósito la instalación de sistemas energéticos solares en 10 millones de propiedades para el 31 de diciembre de 2021 [9]. A diciembre de 2013, California es el estado que lleva la delantera, con aproximadamente 200 000 proyectos solares instalados, que se traducen en unos 1 900 megawatts instalados [10].

Por otro lado, la "iniciativa europea industrial en energía solar" tiene como meta contribuir con un 3 % de la electricidad europea para el año 2020, y potencialmente con al menos 10 % para el año 2030 [11]. La iniciativa se apoya en el despliegue masivo de tecnologías solares en países de Medio Oriente y del norte de África que podrían exportar electricidad al continente europeo, principalmente por plantas de CSP (concentración solar).

Japón, por aparte, alcanzó en el 2013, 10 gigawatts de capacidad de potencia instalada de origen fotovoltaica [12]. Dicha meta se alcanzó gracias a la campaña de subsidio de paneles fotovoltaicos del gobierno japonés, lanzada en 1994²⁶. Cabe mencionar que hasta el 2005, Japón fue el país con mayor capacidad fotovoltaica del mundo. Asimismo, como reacción al accidente nuclear de Fukushima, ocurrido el 11 de marzo de 2011 –que motivó al cierre de toda instalación de su energía nuclear–, Japón promovió aún más la energía renovable mediante estímulos financieros a partir de julio de 2012.

En Latinoamérica, Brasil representa el mayor mercado de la electricidad. A la vez constituye una gran oportunidad para instalaciones solares debido a que Brasil posee algunas de las tarifas de electricidad más altas de la región. Con todo, su compleja burocracia ha obstaculizado el pleno desarrollo de la energía solar [13].

Producción de paneles fotovoltaicos

Según lo muestra la figura 1.15, China está a la cabeza en la producción de paneles solares, le sigue Estados Unidos y luego Canadá.

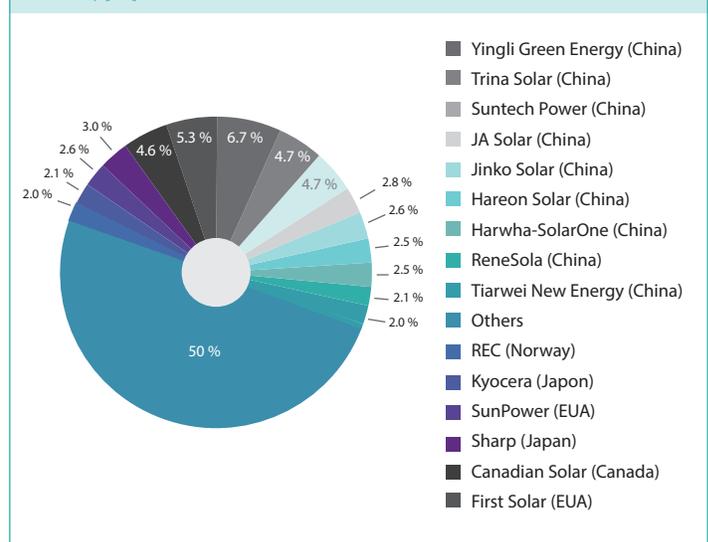
Capacidad instalada de paneles fotovoltaicos

La figura 1.16 muestra que Alemania es el país con mayor capacidad instalada para la generación de electricidad por medio de paneles fotovoltaicos. Le siguen Italia y Estados Unidos. China ocupa un distante cuarto lugar con un 7 % en comparación con Alemania, que posee un 32 %.

Una planta de energía solar de paneles fotovoltaicos de 20 MW tiene un costo aproximado de \$4 200/kW; una de 150 MW tiene un costo de \$390/kW [15].

Figura 1.15.

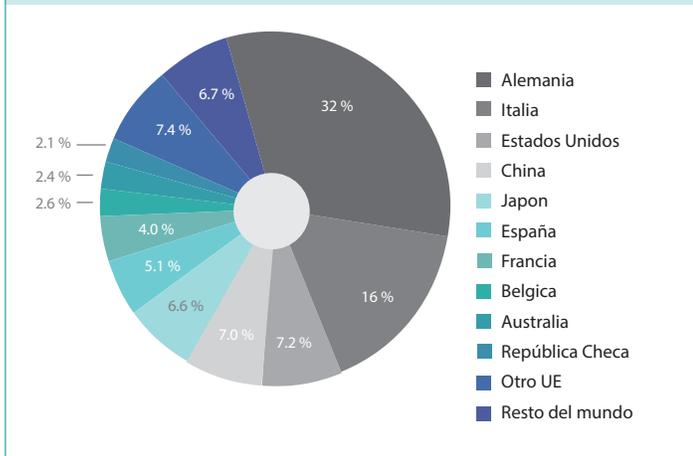
Los países con mayor producción de paneles solares en el mundo (año 2012) [14].



26 Inicialmente se cubría el 50 % del costo del sistema fotovoltaico residencial.

Figura 1.16.

Capacidad instalada para generación de electricidad, por medio de paneles fotovoltaicos (año 2012) [14].



Energía eólica

Principio físico fundamental

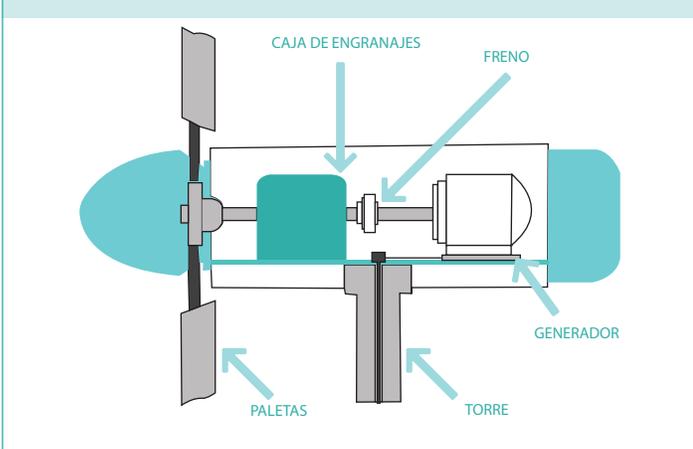
La absorción desigual de longitudes de onda infrarroja de masas de aire, en distintas partes de la Tierra, crea corrientes de convección, es decir, viento. En otras palabras, el calentamiento desigual en distintas partes de la superficie terrestre genera cambios en la presión atmosférica. Estos cambios generan el movimiento de masas de aire²⁷; el viento.

Principio físico de generación de electricidad

- El viento es captado por una turbina.
- La turbina está conectada con un generador de electricidad.

Figura 1.17.

Sección transversal de una turbina eólica. La electricidad se genera por la transmisión de movimiento de la turbina eólica (movida por el viento) hacia un generador eléctrico.



²⁷ El aire, o atmósfera, está compuesto principalmente por nitrógeno y oxígeno. Asimismo, el agua en estado de vapor es un componente clave. Luego, la absorción de radiación infrarroja de distintas longitudes de onda se reparte en los componentes de la atmósfera.

Panorama mundial de la energía eólica

La energía eólica se diferencia de la energía solar en su disponibilidad las 24 horas del día. No obstante, la cantidad de energía eólica puede variar dramáticamente de un momento a otro, debido a las características del viento y de su conversión a la electricidad. Sin embargo, la energía eólica es la energía de más rápido crecimiento a nivel mundial. Se estima que en el 2030, la mitad de la energía eléctrica total consumida a nivel mundial podría provenir del viento [16].

En 1995, el Departamento de Energía de Estados Unidos lanzó la iniciativa "Wind Powering America, WPA" (Energía del Viento para América). Dicha iniciativa tiene como objetivo que la generación de un 20 % de toda la energía consumida en Estados Unidos, provenga de medios eólicos para el año 2030. Mediante la WPA, el gobierno de Estados Unidos colabora con empresas eólicas, granjeros, nativos americanos, cooperativas y escuelas en todo tipo de programas relacionados a la energía eólica: desde la elaboración de proyectos hasta la divulgación de materiales educativos [17].

Europa, por su parte, prevé que el 22.6 % de su energía total será producida por medios eólicos para el 2030 [18]. El objetivo se alcanzará gracias a la implementación de turbinas de 2 MW en tierra y 10 MW en la mar. Cabe mencionar que en la actualidad, un 90 % de los empleos relacionados a la energía eólica están concentrados en España, Alemania y Dinamarca.

En Asia, Japón se propuso metas más agresivas en el uso de energías renovables a raíz del desastre nuclear de Fukushima en el 2011. Específicamente, Japón planea desarrollar proyectos de turbinas eólicas en zonas marinas, con el objeto de cubrir un tercio de su demanda de electricidad para el año 2040 [19].

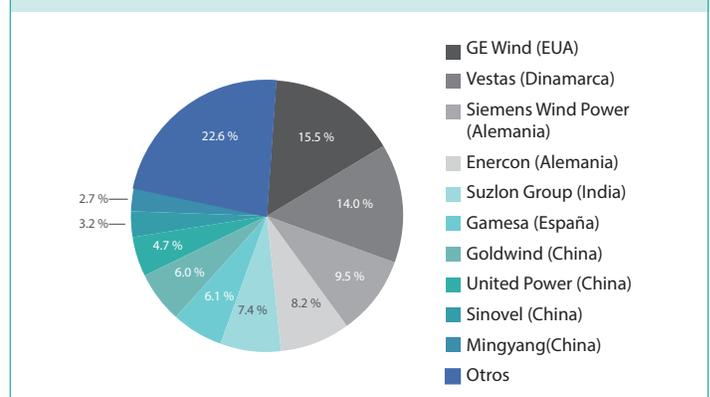
En Latinoamérica, Brasil es por mucho el líder en energía eólica de la región; se espera que para el año 2025, un 70 % de los proyectos eólicos instalados provenga de Brasil [20]. Puesto que los biocombustibles aún no se han adoptado a gran escala en Latinoamérica y el precio de la tecnología fotovoltaica es aún costosa, la energía eólica ha surgido como una opción de gran atractivo en el campo de energías renovables.

Producción de turbinas eólicas

La figura 1.18 muestra que Alemania posee un 17.7 % de la producción mundial de turbinas eólicas. Le siguen de cerca, China con un 16.6 %, Estados Unidos con un 15.5 % y Dinamarca con 14 %.

Figura 1.18.

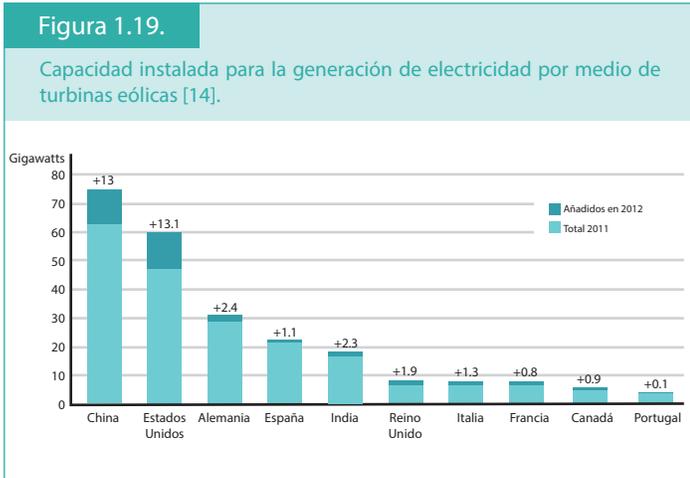
La producción de turbinas eólicas en el mundo por país [14].



Capacidad instalada de generación de electricidad por medio de turbinas eólicas

Según lo muestra la figura 1.19, China posee la mayor capacidad de generación de electricidad por turbinas eólicas. Le siguen Estados Unidos y Alemania.

El costo de una planta de energía eólica de 100 MW en tierra es de aproximadamente \$2 200/kW; una planta de energía eólica marítima de 400 MW es de unos \$6 200/kW [20].



Energía hidráulica

Principio físico fundamental

El ciclo del agua –y por lo tanto la lluvia que llena los embalses de las presas de generación de electricidad– tiene su origen en la absorción de longitudes de onda infrarrojas en la superficie terrestre. El agua de los mares, lagos y ríos se calienta al absorber radiación solar (directa o indirecta) en el rango infrarrojo. El calentamiento provoca evaporación del agua; que a su vez es transportada por el viento, y que luego, al enfriarse, se transforma en lluvia.

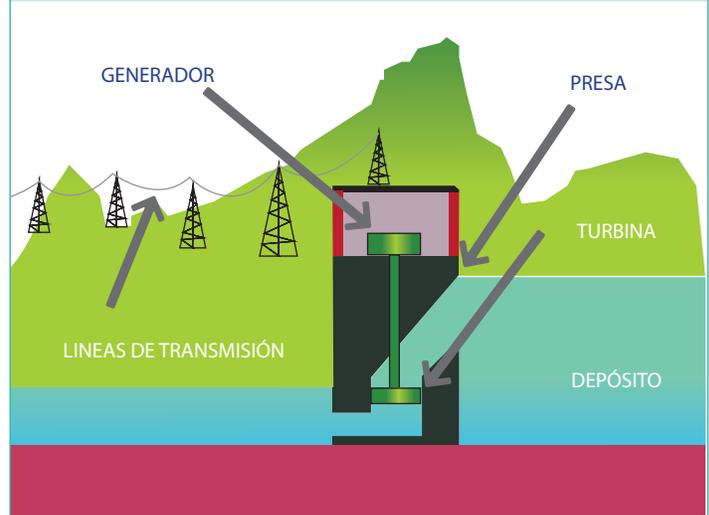
Principio de generación de electricidad

- El agua almacenada en las presas se encauza hacia una turbina que capta el flujo de agua (ver figura 1.20.).
- El movimiento rotatorio de la turbina generado por el caudal es transmitido hacia un generador de electricidad.

Las turbinas de las plantas hidroeléctricas convierten la energía hidráulica en potencia mecánica, con una eficiencia del 90 %. Existen dos esquemas principales para la producción de hidroelectricidad: a) Las grandes plantas que usan el agua de lagos en montañas o embalses para generar entre 5 MW y varios GW de potencia eléctrica, b) El aprovechamiento del flujo de ríos cuya potencia es suficiente para proveer electricidad a poblados, comunidades aisladas, o para sostener procesos industriales que necesitan cantidades considerables de energía eléctrica.

Figura 1.20.

Sección transversal de una generadora hidráulica. La caída de agua mueve la turbina; esta a su vez hace girar un generador eléctrico.



Panorama mundial de la energía hidráulica

La energía hidráulica es explotada en 160 países y en algunos de ellos (por ejemplo: Brasil, Canadá, Noruega y Venezuela) representa la fuente principal de electricidad [21]. Se estima que existen unas 800 000 represas en funcionamiento alrededor del mundo. Es de notar que la hidroelectricidad es una tecnología madura, con poco margen para la innovación. De hecho, Estados Unidos, y al menos un 75 % de Europa, ya alcanzaron su máximo potencial. La oportunidad hidroeléctrica existe aún en otras regiones como África y Asia (aunque no el Medio Oriente, que virtualmente carece de recurso hídrico) [22].

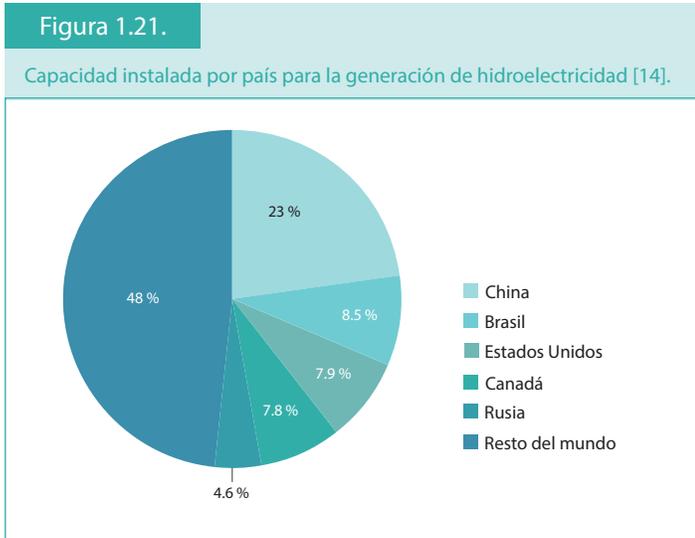
Los proyectos hidroeléctricos que requieren de grandes embalses sufren de costos escondidos que los hacen cuestionables, tanto desde el punto de vista económico como social. Dichos proyectos, muchas veces, han sido fuente de conflicto, ya que requieren la evacuación, reubicación y compensación de comunidades de la zonas en donde se construyen las represas. Eso, además de los desvíos completos de ríos. Se estima que entre 40 y 80 millones [23] de personas han sido desalojadas por proyectos hidroeléctricos sin ser compensados de manera adecuada.

En contraste con los países desarrollados, en los países pobres de Asia, África y Latinoamérica, no está claro si se ha cumplido uno de los principales objetivos de los proyectos hidroeléctricos: el crecimiento industrial [24]. Con todo, en Latinoamérica, aproximadamente un 65 % de la electricidad es generada por hidroeléctricas, comparado con un 16 % a nivel mundial. Aunque los principales mercados para la hidroelectricidad son Brasil, Chile y Colombia, el potencial hídrico es relevante prácticamente en toda la región [25].

Capacidad instalada para la generación de hidroelectricidad

La figura 1.21 muestra que China es el principal productor de hidroelectricidad a nivel mundial, con 23 %. Le siguen Brasil con un 8.5 % y Estados Unidos con un 7.9 %.

El precio de una planta hidroeléctrica convencional de 500 MW es \$3 000/kW [15].



Bioenergía

Principio físico fundamental

- Absorción de longitudes de onda de radiación solar en el rango visible²⁸ (por la clorofila de las plantas) para la realización de la fotosíntesis²⁹.
- Las plantas toman CO₂ (dióxido de carbono), H₂O (agua) de los alrededores y energía solar (luz visible) para crear "materia vegetal", es decir, para la creación de azúcares, almidones, celulosa etc. Por ejemplo, la glucosa (del lado derecho de la flecha).



- Puesto que las plantas se encuentran al principio de la cadena alimenticia, sus compuestos moleculares son la base de la materia orgánica a lo largo de toda la cadena (que incluye animales e incluso bacterias).

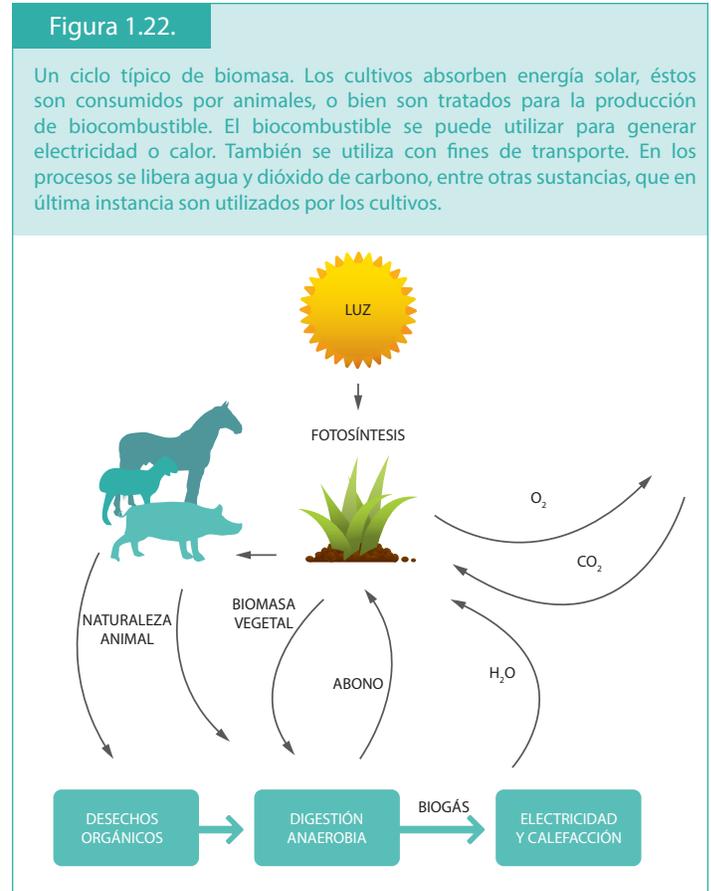
La bionergía puede provenir de:

- Cultivos ricos en azúcares y carbohidratos: maíz, caña de azúcar, papas, trigo, remolacha, etc.
- Cultivos de semillas oleaginosas: semilla de algodón aceite de palma, nueces, soya, etc.

²⁸ Excepto la longitud de onda que representa al color verde, la cual es reflejada. Esta propiedad de reflexión es la que da el color verde a las plantas.

²⁹ Transformación de materia inorgánica en orgánica por la energía que absorben las plantas.

- Residuos de agricultura: bagazo de caña de azúcar, paja de arroz, etc.
- Madera.
- Desechos municipales sólidos: materia orgánica, empaques, cajas, ropa, utensilios desechables, desechos de restaurantes, llantas, etc.
- Algas.



Principio de obtención de biocombustibles

El objetivo del biocombustible es la liberación de energía mediante la combustión³⁰(reacción con oxígeno). Es decir, hacer reaccionar los compuestos de carbono e hidrógeno, derivados de materia orgánica con oxígeno y así liberar la energía. Para mejorar las propiedades de combustión de materias orgánicas puede emplearse alguno de los procesos siguientes:

Procesos termoquímicos (ver figura 1.23.)

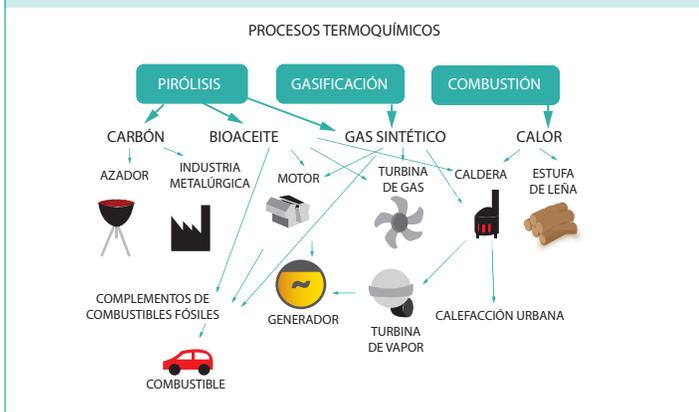
Gasificación: Transformación de un sólido en gas mediante la reacción con oxígeno y vapor a altas temperaturas. El proceso convierte a la materia orgánica en un combustible hidrocarburo en forma de gas.

Pirólisis: Calentamiento de la biomasa en la ausencia de oxígeno. Los productos resultantes son carbón, gas sintético y aceite.

³⁰ Claramente, el nombre de combustible, viene de combustión.

Figura 1.23.

Energía y combustibles obtenidos a partir de biomasa, y que ha pasado por procesos termoquímicos.



Procesos bioquímicos (ver figura 1.24.³¹)

Los procesos bioquímicos son aquellos que involucran microorganismos para realizar las transformaciones (levaduras, bacterias). Los biocombustibles se obtienen a partir de dos procesos bioquímicos: la digestión y fermentación. Dependiendo de si estos procesos son en ausencia de oxígeno o no, se obtienen diferentes productos. Entre ellos se encuentran el biogas, producto de la digestión, y los bioalcoholes, producto de la fermentación. El biogas puede ser utilizado en calderas y cocinas, y los bioalcoholes se pueden adicionar a la gasolina para uso en motores.

Previo a combinarlo con la gasolina, el alcohol debe ser separado de la mezcla de fermentación por destilación.

Procesos físicoquímicos (ver figura 1.25.)

Conversión de aceites vegetales o grasas de animales a biodiésel, mediante un proceso llamado transesterificación³².

Figura 1.24.

Ciclo del carbono y la producción de etanol.



31 Concepto de la Administración de Información de Energía de EE. UU.

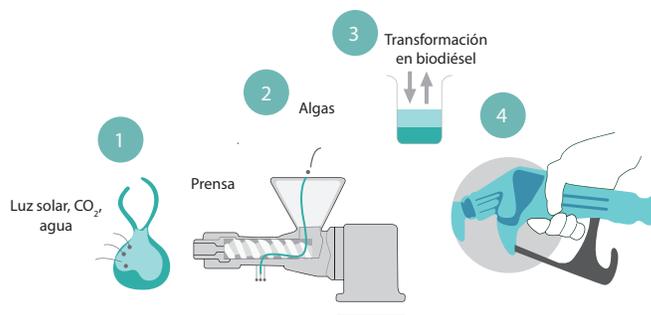
32 Combinación de un aceite o una grasa con un alcohol ligero (usualmente metanol o etanol).

Figura 1.25.

Proceso de obtención de biodiésel a partir de aceite de algas [26].

Biodiésel de algas

1. Luego del crecimiento inicial, el alga es privada de nutrientes (con excepción de agua y CO₂), para producir una mayor cantidad de aceite.
2. La extracción del aceite se realiza mediante una prensa.
3. El aceite extraído es sometido a un proceso de transesterificación para convertirlo en biodiésel.
4. El biodiésel puede ser utilizado directamente en motores diésel.



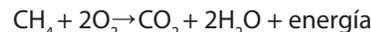
Rendimiento de aceite de varias plantas (Galones por hectárea)

Soya	118
Cártamo	206
Girasol	251
Castor	373
Coco	605
Palma	1 572

Principio de generación de electricidad

Combustión

Reacción de oxidación que usualmente libera grandes cantidades de luz y calor. Por ejemplo el metano, al reaccionar con el oxígeno en presencia de calor genera dióxido de carbono, agua y energía.



Este es el proceso estándar para generación de energía en motores de combustión interna, en los cuales la reacción de combustión es detonada por un incremento violento en la presión del combustible:

- La energía liberada (calor) por combustión se utiliza para generar vapor, a presión y a temperatura elevadas, que se

encauza hacia una turbina (ver figura 1.26.). La turbina capta los chorros de vapor y gira; el movimiento es transmitido hacia un generador eléctrico.

- Aunque se puede utilizar la leña para la generación eléctrica, por lo general se utilizan combustibles de mayor eficiencia energética; o bien, a la leña se le somete a un proceso industrial para optimizar su combustión³³.
- La energía liberada también se puede utilizar como fuente directa de calor.



Panorama mundial de la bioenergía

En el 2012, los biocombustibles representaron aproximadamente un 7.1 % de los combustibles para transporte en los Estados Unidos. El etanol a base de maíz representó 94 % de todo el biocombustible [27] utilizado en ese país. El resto de los biocombustibles lo constituyó el biodiésel elaborado a base de aceite de soya. Cabe mencionar que el reciente impulso al desarrollo de los biocombustibles en Estados Unidos está basado en “Energy Independence Security Act, 2007” [28] (Acta de la Independencia de Energía del 2007).

En la Unión Europea, por aparte, se reporta que en el 2012, la energía para los vehículos de carretera provino en un 4.5 % de biocombustibles [29]. Con el objeto de promover el desarrollo de los biocombustibles e incrementar el porcentaje de su participación en el sector de los vehículos para carretera hasta un 10 % para el año 2020, la Unión Europea lanzó en el 2006 la “European Biofuels Technology Platform” [30] (Plataforma Europea de Tecnología de Biocombustibles).

Brasil –que es el segundo productor de etanol del mundo, después de Estados Unidos– utiliza un 5 % de biocombustibles en el sector de transporte para carretera [31]. Dicho porcentaje se prevé duplicarlo a un 10 % en el 2020.

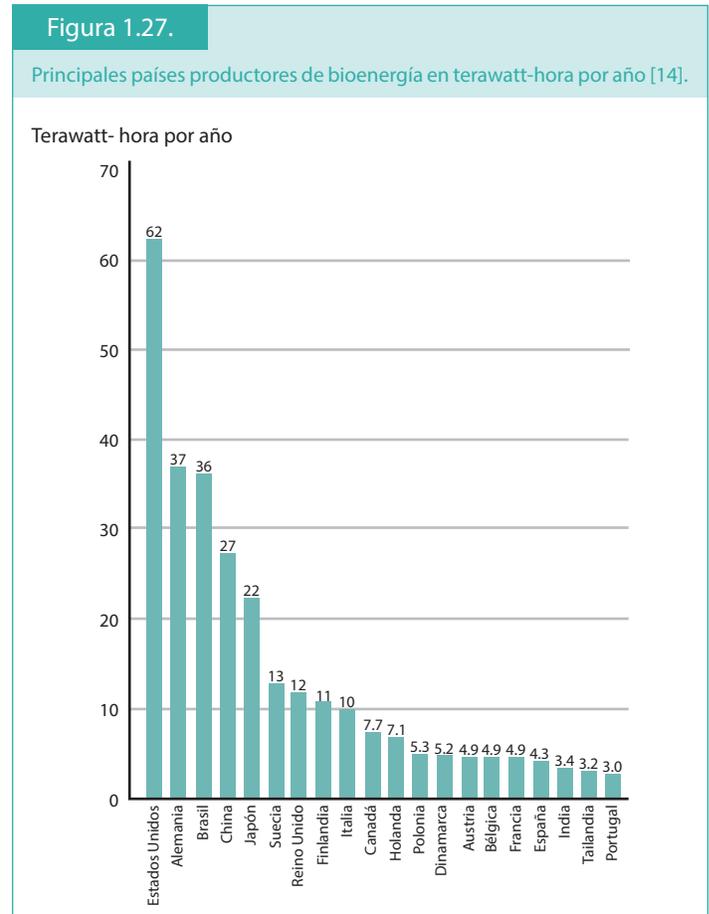
Cabe mencionar que en los países en vías de desarrollo, que representarán aproximadamente una cuarta parte de la población mundial en el 2030, la leña continuará siendo una

33 La leña se segmenta en pequeños “cartuchos” y se comprimen. El producto se llama pellet.

fuerza principal de energía [24]. Lo anterior sugiere que la mejora en la eficiencia de las estufas de leña (incluyendo la reducción de emisiones), será un factor muy importante en las tecnologías energéticas de las décadas venideras.

Producción de bioenergía

La figura 1.27 muestra los principales países productores de bioenergía. Estados Unidos ocupa el primer lugar con 62 terawatt-hora/año. Le siguen Alemania con 37 terawatt-hora/año, y Brasil con 36 terawatt-hora/año.



No renovables

Energía de hidrocarburos (petróleo, carbón y gas natural)

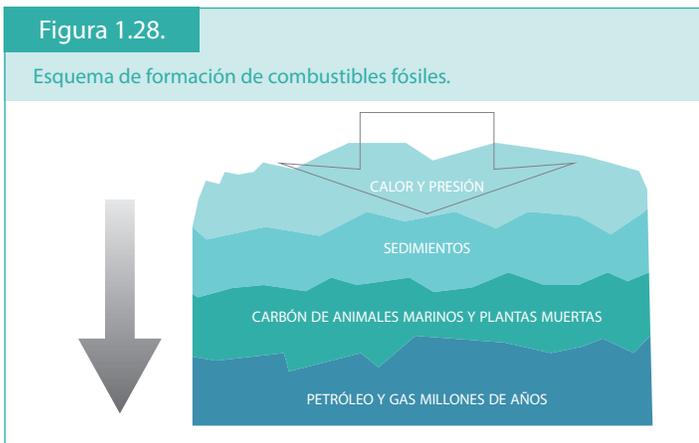
Principio físico fundamental

- Absorción de longitudes de radiación solar en el rango visible³⁴ para la realización de la fotosíntesis³⁵. Dicha absorción fue realizada por plantas y microorganismos de hace millones de años (entre 1 a 500 millones de años).

34 Excepto la longitud de onda que representa al color verde, la cual es reflejada. Esta propiedad de reflexión es la que da el color verde a las plantas.

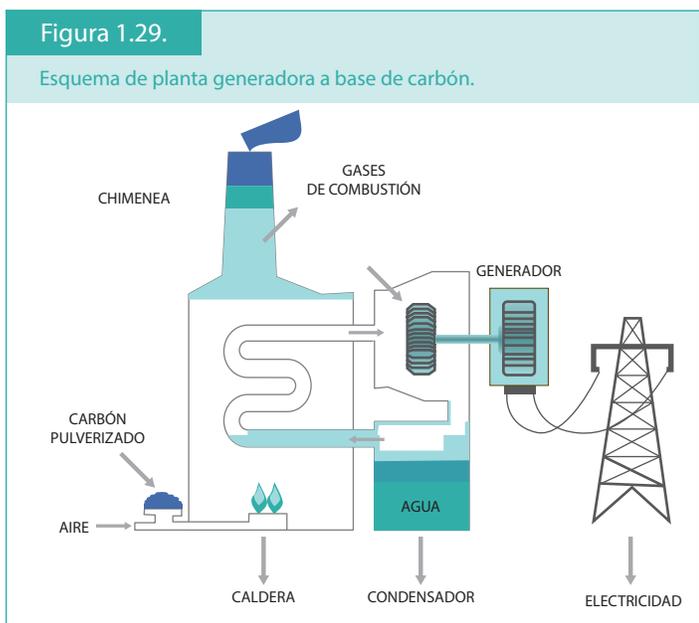
35 Transformación de materia inorgánica en orgánica gracias a la energía que aporta la luz visible.

- Al morir, las plantas (y pequeños organismos de aquella época³⁶) experimentan un proceso de sedimentación, en el cual se acumulan en el fondo de los océanos en capas. Las bacterias remueven la mayor parte del oxígeno, nitrógeno, fósforo y sulfuro, dejando en los cadáveres prácticamente solo compuestos de carbono e hidrógeno.
- La presión provocada por las capas tectónicas y la alta temperatura en el lugar de acumulación del sedimento, provoca reacciones químicas que dan origen al petróleo y a la generación de gas natural.
- El carbón se origina en un proceso similar al petróleo, solo que su formación se debe a animales y plantas más grandes. Dicho hidrocarburo se localiza en sedimentos menos profundos que el petróleo.



Principio de generación de electricidad

La combustión de los derivados del petróleo, carbón, gas o cualquier otro tipo de combustible, libera calor. Este calor se utiliza para calentar agua de una caldera; los chorros de vapor se encauzan hacia una turbina adaptada a un generador (ver figura 1.29.).

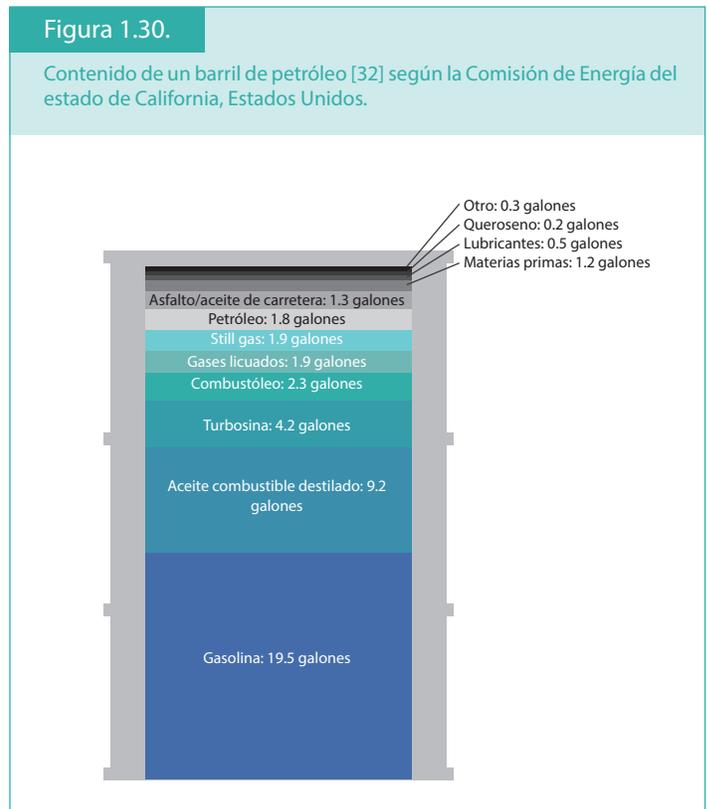


36 Por ejemplo las cianobacterias.

Combustibles para transporte

Del crudo se puede obtener combustibles que utilizan diversos medios de transporte. La figura 1.30 lista los principales derivados del crudo.

Nota: Debe mencionarse que también existen pequeñas plantas, las cuales operan con motores de combustión para la generación de electricidad. Es decir, no interviene el agua.



Panorama mundial de la energía de hidrocarburos

En 1973, aproximadamente un 25 % de la electricidad mundial provenía del petróleo; para el año 2011, dicha cantidad se había reducido a un 5 % [6]. En contraste, durante ese mismo período, la electricidad mundial proveniente de plantas de gas se incrementó de un 12.2 % a un 21.9 %.

De hecho, la electricidad proveniente de gas natural aumenta, en particular, por la creciente explotación no convencional de gas natural proveniente de esquisto en Estados Unidos [33]. Se estima incluso que para el año 2020, el gas natural podría reemplazar a los combustibles derivados del petróleo en barcos y en la mayoría de generadoras de electricidad [34]. Ciertamente, varias agencias del gobierno de Estados Unidos proveen de asistencia a otros países con el objeto de promover la extracción de gas de esquisto mediante el “Unconventional Gas Technical Engagement Program (Programa No Convencional De Involucramiento Técnico en Gas)”, previamente llamado “Global Shale Gase Initiative (Iniciativa Global de Gas de Esquisto)”, lanzado en abril de 2010 [35].

En Europa, los mayores promotores de la exploración del gas de esquisto son el Reino Unido y Polonia [36].

Debe mencionarse, sin embargo, que aunque los combustibles derivados del petróleo han perdido espacio en la generación de electricidad, aún predominan –mundialmente– en otros sectores, como el del transporte.

El carbón es el combustible fósil más sucio y abundante. El costo de la electricidad producida por carbón es en general más bajo que el de cualquier otra fuente energética. Los mayores productores de electricidad a base de carbón a nivel mundial son Estados Unidos, China e India. En Europa, Alemania es el mayor consumidor de carbón.

A nivel latinoamericano, en general, la principal fuente de energía es el petróleo y sus derivados; muy similar al resto del mundo. Le sigue el gas natural. El carbón, por su parte, ocupa en promedio un distante sexto lugar [37] (le preceden la hidroelectricidad, la leña y el bagazo de caña).

Con respecto a las próximas décadas, se estima que los combustibles fósiles seguirán siendo primordiales a nivel mundial, pese a las medidas para sustituirlos. En Estados Unidos se vaticina que para el año 2040 [38], el 78 % de la energía consumida en ese país provendrá de hidrocarburos. Europa prevé un escenario similar pero para el año 2020, en el cual anticipa obtener un 80 % de su energía de combustibles fósiles [39]. No obstante, para el año 2050, Europa estima que su energía provendrá únicamente del 25 % al 45 % de combustibles fósiles [40]. En Suramérica, por aparte, se pronostica que la energía consumida en Brasil en el año 2030 será aproximadamente en un 50 % de origen fósil [41].

Productores de petróleo

La figura 1.31. muestra a Arabia Saudita como el mayor productor de petróleo del mundo, con un 13 %. Le sigue de cerca Rusia, con un 12.6 %. Estados Unidos ocupa un tercer lugar con un 9.3 %.

Reservas de petróleo

El país con la mayor cantidad de reservas de petróleo es Venezuela. Le siguen Arabia Saudita y Canadá (ver figura 1.32.).

Productores de gas natural

La figura 1.33. muestra que Estados Unidos es el principal productor de gas natural del mundo, con un 19.8 %. Le sigue de cerca Rusia, con un 19.1 %. El tercer lugar lo ocupa Qatar con un distante 4.7 %.

Una planta convencional de gas natural para la generación de electricidad tiene un precio de \$920/kW [15].

Reservas de gas natural

La figura 1.34 muestra que Rusia es el mayor poseedor de reservas de gas natural. Le siguen Irán y Qatar.

Reservas de gas natural proveniente de esquisto

La figura 1.35 muestra a los países con la mayor cantidad de reservas potenciales de gas de esquisto. China ocupa un primer lugar, seguida por Argentina, Algeria y Estados Unidos. Es importante mencionar que a diferencia de la Administración de

Figura 1.31.

Principales productores de petróleo en el mundo [6] (año 2012).

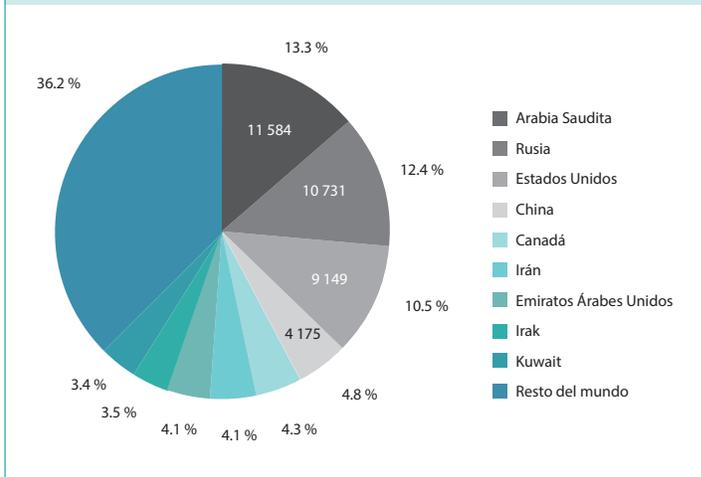
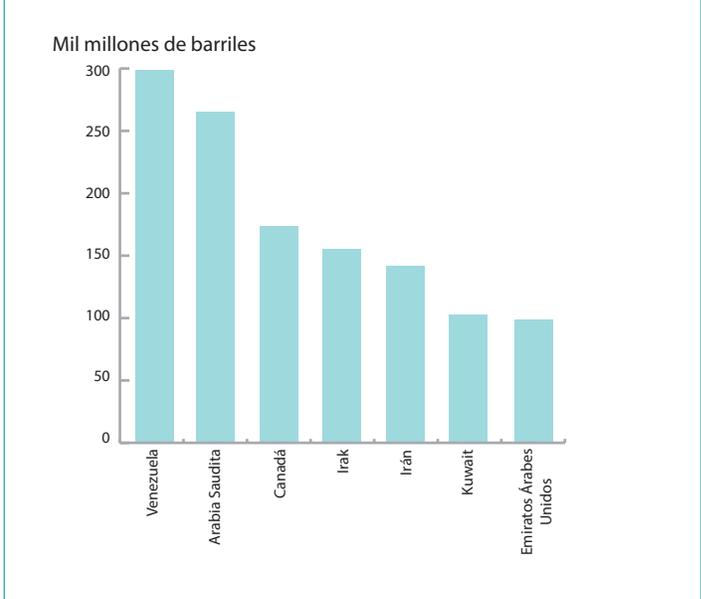


Figura 1.32.

Los países con mayores reservas de petróleo a nivel mundial [42] (año 2013).



la Información de la Energía de Estados Unidos, un estudio de la agencia de Advanced Resources International, coloca a Estados Unidos como el mayor poseedor de reservas de gas de esquisto [44], con 1 161 billones de pies cúbicos.

Figura 1.33.

Los principales países productores de gas natural [6] (año 2012).

Productores	bcm (mil millones de metros cúbicos)	% del total mundial
Estados Unidos	681	19.8
Federación de Rusia	656	19.1
Catar	160	4.7
República Islámica de Irán	158	4.6
Canadá	157	4.6
Noruega	115	3.3
República de China	107	3.1
Arabia Saudita	95	2.8
Países Bajos	80	2.3
Indonesia	77	2.2
Resto del mundo	1 149	33.5
Mundo	3 435	100

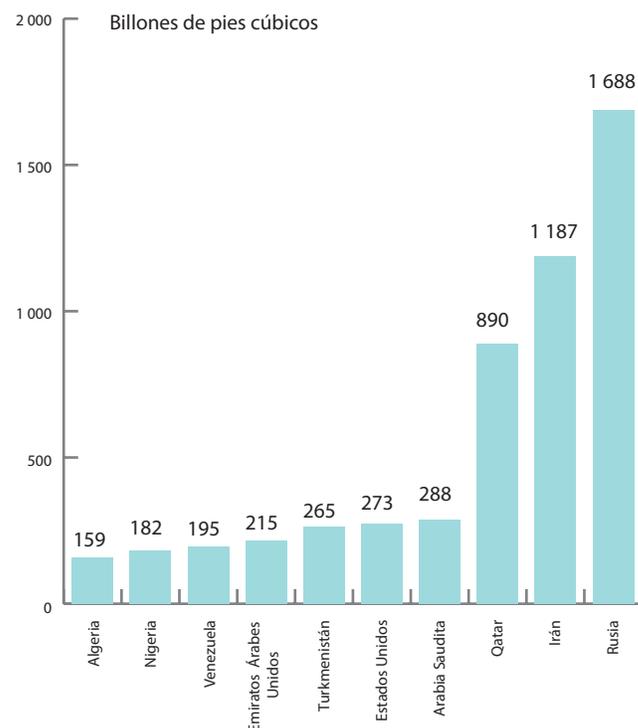
Exportadores netos	bcm
Federación Rusa	185
Qatar	120
Noruega	109
Canadá	57
Algeria	48
Turkmenistán	37
Indonesia	37
Países Bajos	34
Nigeria	27
Malasia	21
Otros	154
Total	829

Importadores netos	bcm
Japón	122
Alemania	70
Noruega	68
Corea	40
Turquía	45
Estados Unidos	43
Francia	43
Reino Unido	37
China	36
Ucrania	32
Otros	283
Total	827

Datos de 2012. Exportadores e importadores netos, incluye gas transportado en gasoductos y gas licuado natural (LNG).

Figura 1.34.

Los países con mayores reservas de gas natural a nivel mundial [43] (enero 2013).


Figura 1.35.

Los países con mayores reservas potenciales de gas de esquisto [45].

Rank	País	Gas de esquisto (billones de pies cúbicos)
1	China	1 115
2	Argentina	802
3	Algeria	707
4	Estados Unidos	665
5	Canadá	573
6	México	545
7	Australia	437
8	Suráfrica	390
9	Rusia	285
10	Brasil	245
Total mundial		7 299

Productores de carbón

La figura 1.36 muestra a China como el mayor productor de carbón del mundo, con un 45.3 % del total. Un distante segundo lugar lo ocupa Estados Unidos con 11.9 %, y le sigue India con un 7.6 %.

Una planta moderna de generación de electricidad por medio de carbón, de 1 300 MW tiene un costo de \$2 900/kW [15].

Figura 1.36.

Los principales países productores de carbón [6] (año 2012).

Productores	Mega toneladas	% del total mundial
China	3 549	45.3
Estados Unidos	935	11.9
India	595	7.6
Indonesia	443	5.7
Australia	421	5.4
Rusia	354	4.5
Sudáfrica	259	3.3
Alemania	197	2.5
Polonia	144	1.8
Kazajistán	126	1.6
Resto del mundo	808	10.4
Total mundial	7 831	100

Reservas de carbón

La figura 1.37. muestra que el país con mayores reservas de carbón a nivel mundial es Estados Unidos, con un 26 % del total. Le siguen China y Rusia, con un 19 % y un 17 % respectivamente.

Comparación: biocombustibles y combustibles fósiles

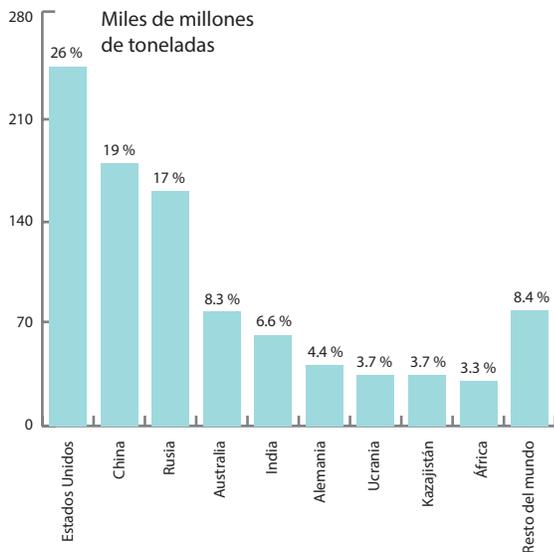
Diferencias

Tiempos de formación

- Los biocombustibles tienen su origen en materia orgánica (árboles, plantas, desechos agrarios, etc.) que pueden regenerarse en días, meses o años.
- Los combustibles fósiles tienen su origen en materia orgánica (plantas, pequeños animales) que vivieron hace millones de años (1 millón a 500 millones de años), y pueden regenerarse únicamente en un período igual de tiempo.

Figura 1.37.

Los países con mayores reservas de carbón a nivel mundial [46] (año 2011).



Composición química

- Los combustibles fósiles (hidrocarburos) consisten exclusivamente en compuestos de hidrógeno y carbono. Tal propiedad permite una óptima combustión (reacción con oxígeno) para la liberación de energía.
- La materia orgánica contiene compuestos (como los azúcares) que incluyen otros elementos como el oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo. Tal propiedad inhibe una óptima combustión. Luego, la materia orgánica debe ser procesada para obtener compuestos más apropiados para la combustión (por ejemplo, el etanol) (ver tabla 1.3.³⁷).

Tabla 1.3.

Energía específica (energía por unidad de masa) y libras de CO₂ de varios combustibles por galón.

Combustible	Energía específica kj/g	lbs CO ₂ /gal
Propano	50.4	13
Etanol	29.7	13
Gasolina	46.5	20
Diésel	45.8	22
Biodiésel	39.6	19
Metano	55.8	3
Aceite	47.9	20
Madera	14.9	9
Carbón	30.2	19
Hidrógeno	141.9	0

Similitudes

Combustibles

- La manera de extraer la energía de los combustibles es mediante la reacción con el oxígeno: la combustión.
- Hay dos factores importantes para ambos tipos de combustibles: cantidad de energía liberada por unidad de masa y el tiempo en el que se libera la energía³⁸.

Productos

- Aparte de la energía, el agua (en forma de vapor) es siempre un producto de la combustión.
- Las emisiones de la combustión incluyen dióxido de carbono CO₂ (ver tabla 1.4.³⁹).

37 Fuente de datos: Departamento de Energía de Estados Unidos y la Universidad de Stanford.

38 Las galletas por ejemplo, contienen más energía por gramo que el TNT. Eso sí, la liberación de energía de una galleta ocurre lentamente (en nuestro estómago), mientras que un gramo de TNT puede liberar toda su energía en una millonésima de segundo.

39 Fuente de datos, Universidad de Washington y Elizabeth Gray de la organización "Conservación de la naturaleza."

Figura 1.38.

Esquema de la combustión en un motor. El combustible es una sustancia que al reaccionar con el oxígeno libera energía en forma de calor. Para iniciar la reacción, sin embargo, se requiere de una cantidad de energía.

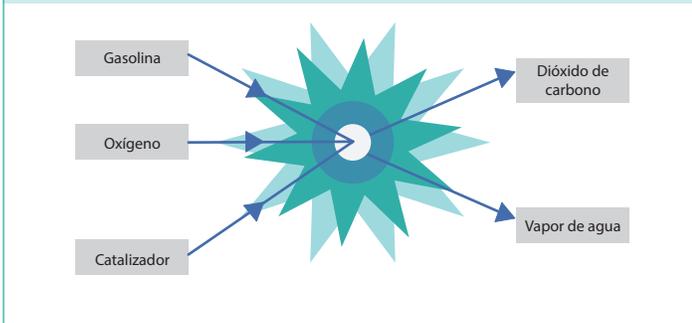


Tabla 1.4.

¿Qué tan verdes son los biocombustibles?

Cultivo	Utilizado para producir	Emisiones de efecto invernadero (kilogramos de dióxido de carbono creado por megajoule de energía producida)	Uso de los recursos durante el cultivo, cosecha y refinación de combustible			
			Agua	Fertilizante	Pesticida	Energía
Maíz	Etanol	81-85	alto	alto	alto	alto
Caña de azúcar	Etanol	4-12	alto	alto	medio	medio
Pasto varilla	Etanol	-24	medio-bajo	bajo	bajo	bajo
Aserrín	Etanol, biodiésel	N/A	medio	bajo	bajo	bajo
Soya	Biodiésel	49	alto	medio-bajo	medio	medio-bajo
Colza/Canola	Biodiésel	37	alto	medio	medio	medio-bajo
Alga	Biodiésel	-183	medio	bajo	bajo	alto

1.9. ENERGÍAS DERIVADAS DE LA TIERRA

Además de la radiación del Sol, existe otra fuente fundamental de energía para la Tierra: la Tierra misma.

Esto es, del planeta mismo –sin la intervención de la radiación solar–, pues provee varios tipos de energía⁴⁰.

Renovables

Geotermia

Principio físico fundamental

- Las altas temperaturas del interior de la corteza terrestre calientan reservorios de agua en determinadas zonas. En

⁴⁰ En el presente texto se consideran únicamente la geotermia y la energía nuclear. Sin embargo, existen también la energía proveniente de las mareas, de las olas etc.

algunos casos, la temperatura es tan elevada que el agua se transforma en vapor.

- Geísers, volcanes y aguas termales están asociados a zonas geotérmicas. Las perforaciones de pozos geotérmicos ocurren en dichas zonas.

Principio de generación de electricidad

- De los pozos pueden salir vapor o salmuera (agua que contiene sales y minerales de la zona). En el primer caso, el vapor se encauza directamente hacia una turbina conectada a un generador eléctrico (planta de vapor seco).
- El vapor sale a diferentes presiones y temperaturas. Dependiendo de sus características, puede utilizarse para generar electricidad directamente, o bien, puede emplearse como fluido de calentamiento para diversos procesos. La salmuera a altas temperaturas puede utilizarse para generar vapor (y por tanto, electricidad) o como fuente de calor.

Panorama mundial de la geoenergía

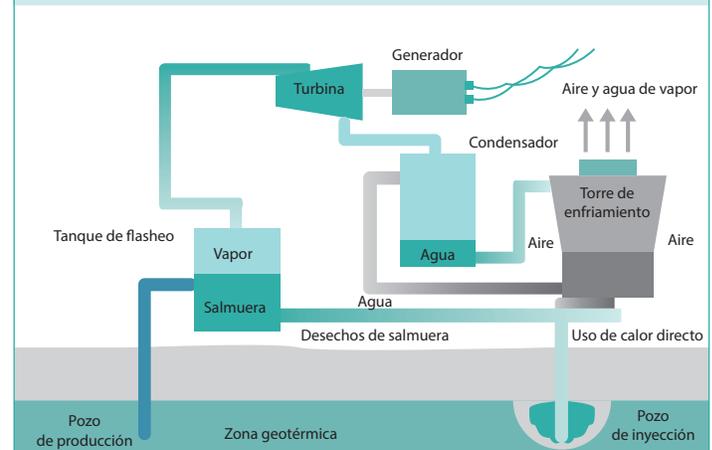
A diferencia de la intermitencia de otras energías renovables como las originadas por el sol y el viento, la energía geotérmica puede proveer electricidad estable las 24 horas del día.

A nivel mundial, existen 24 países que obtienen energía de la geotermia; de ellos, hay cinco que obtienen de un 15 % a un 22 % de su electricidad por medios geotérmicos [24].

Estados Unidos prevé generar su electricidad en un 10 % por medios geotérmicos para el año 2050 [47], en especial mediante la explotación de “Sistemas Geotérmicos Aumentados”. En contraste, la región centroamericana generó en el año 2012, aproximadamente un 7.6 % de su electricidad por medio de la geotermia [48]. Es de notar que en el resto de Latinoamérica, la geotermia no es tan popular puesto que los países en cuestión cuentan con otros recursos que les resulta más fáciles de explotar. México, por ejemplo, generó en el 2010, un 2.71 % de su electricidad a base de la geotermia.

Figura 1.39

Esquema de una planta geotérmica tipo flash.

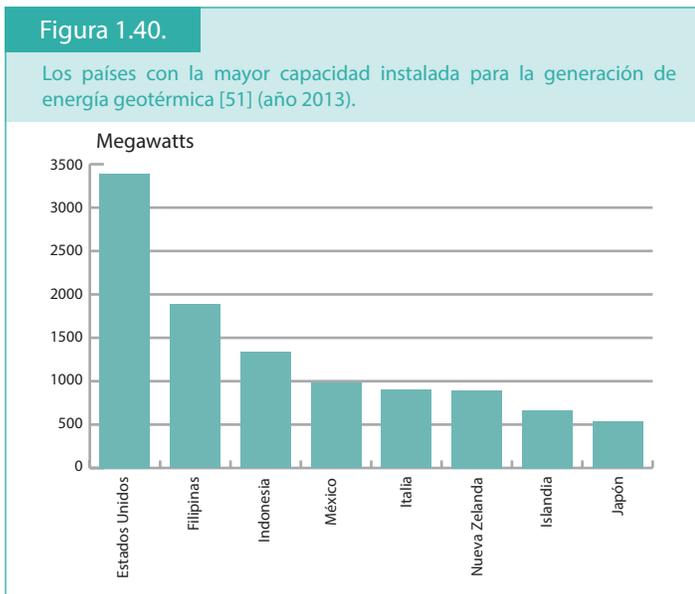


Entre otras razones, la menor popularidad de la geotermia en comparación con otras energías renovables como la solar y la eólica, se debe a los altos costos iniciales de las plantas. Entre estos, los costos relacionados al estudio que sirve para determinar el potencial real de la zona, ya que existen regiones inestables en las cuales el vapor, o bien la temperatura, pueden caer drásticamente de manera permanente. Con todo, debe mencionarse que gran parte del continente americano es abarcado por una zona tectónica conocida como “el cinturón de fuego del Pacífico”⁴¹. Dicha región concentra 452 volcanes activos e inactivos, lo que equivale a más del 75 % de los volcanes del mundo. En otras palabras, el cinturón de fuego es una zona rica en yacimientos geotermiales –la mayoría de los cuales, aún no se ha explotado–. Es por ello que se dice que el gran potencial de la energía geotérmica permanece aún sin aprovecharse [49].

No sorprende entonces, que, por otro lado la Unión Europea –ubicada afuera del cinturón de fuego– planea obtener únicamente un 0.8 % de su energía renovable, en el 2020, de la geotermia [50].

Capacidad instalada para la generación de energía geotérmica

La figura 1.40 muestra a Estados Unidos como el país con la mayor capacidad instalada para la generación de energía geotérmica con 3 389 MW. Le sigue Filipinas con 1 884 MW, y luego Indonesia con 1 333 MW. Nótese que con excepción de Italia e Islandia, los otros seis países de la figura 1.40 pertenecen al cinturón de fuego.



Una planta geotérmica de ciclo binario de 50 000 kW tiene un costo aproximado de \$4 400/kW; una de doble *flash* de la misma potencia tiene un costo de \$6 200/kW [15].

41 Región con forma de herradura, compuesta de varias placas tectónicas a lo largo de las costas del océano Pacífico.

No renovables

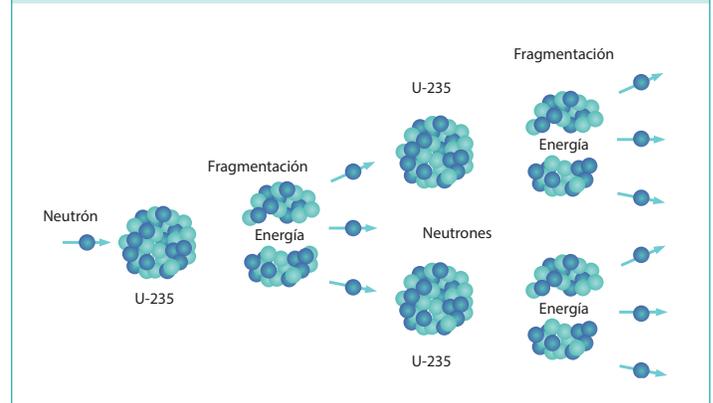
Nuclear

Principio físico fundamental

- Reacción en cadena. Un neutrón⁴² incide sobre un átomo de uranio, este se desintegra y libera energía.
- La desintegración del átomo de uranio libera más neutrones, y estos a su vez, inciden en otros átomos de uranio, desintegrándolos, y liberando más energía y más neutrones (ver figura 1.41.).

Figura 1.41.

Esquema de una reacción en cadena. El material fisionable es el U-235 y las únicas partículas capaces de producir la fisión son los neutrones.



- El uranio, que tiene 92 protones, es un elemento inestable: se desintegra esencialmente por la repulsión eléctrica entre sus protones (repulsión que los neutrones que sirven de “pegamento” entre protones no pueden evitar). A partir de 83 protones, un elemento se considera inestable.

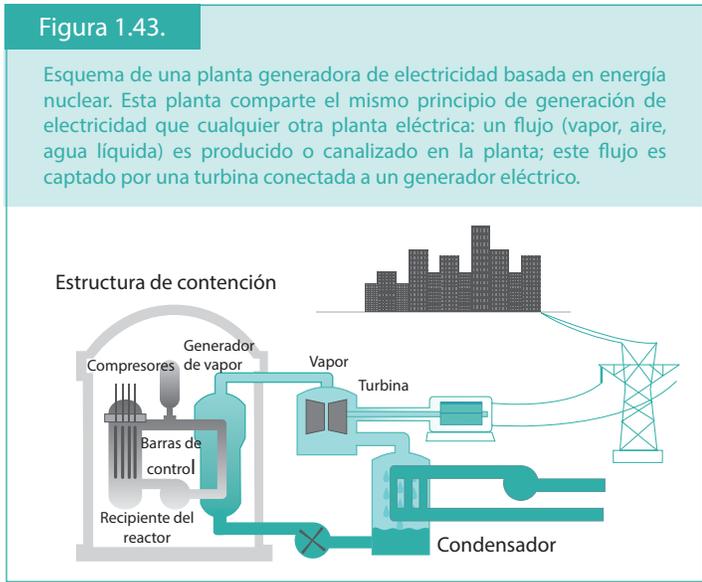
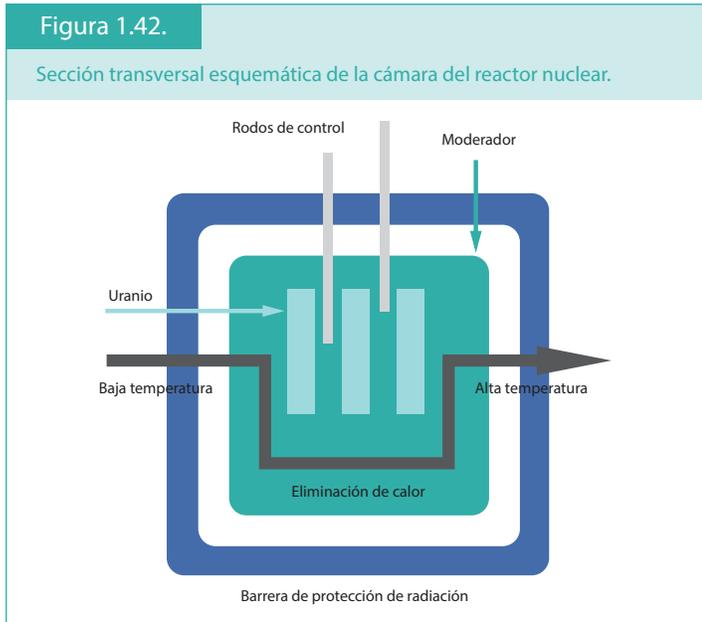
Principio de generación de electricidad

- La liberación de energía (calor) de la reacción en cadena, se utiliza para calentar agua hasta convertirla en vapor. El vapor se encauza hacia una turbina conectada con un generador eléctrico (ver figura 1.42.).
- El uranio tiene seis isótopos⁴³: U-233 al U-238. Los más abundantes en la corteza terrestre son el U-238 (99.27 %), y el U-235 (0.72 %).
- Pese a la abundancia del U-238, este se somete a un proceso químico con el objeto de convertirlo en U-235, ya que este isótopo es más fácil de fisionar.

42 El neutrón proviene de otro núcleo de uranio en las proximidades. Para que la reacción sea controlada, por cada 2 o 3 neutrones liberados, únicamente se permite que uno alcance a otro núcleo.

43 Variante de un elemento diferenciado por el número de neutrones. Un elemento se caracteriza químicamente por su número de protones. El uranio, por ejemplo, posee 92 protones. Existen seis tipos de uranio, todos poseen 92 protones y distinto número de neutrones, que van del 121 al 126; es decir, el uranio tiene seis isótopos. Cada isótopo se escribe con el nombre del elemento y el número correspondiente de la suma de protones y neutrones. El uranio 238, por ejemplo implica: 92 protones + 126 neutrones = 238 partículas nucleares.

- El mineral uranio se refina (ver figura 1.44.⁴⁴) para obtener hexafluoruro de uranio (UF_6), que luego se transforma a “perdigones” de dióxido de uranio (UO_2). Este último es el material que usan los reactores nucleares.

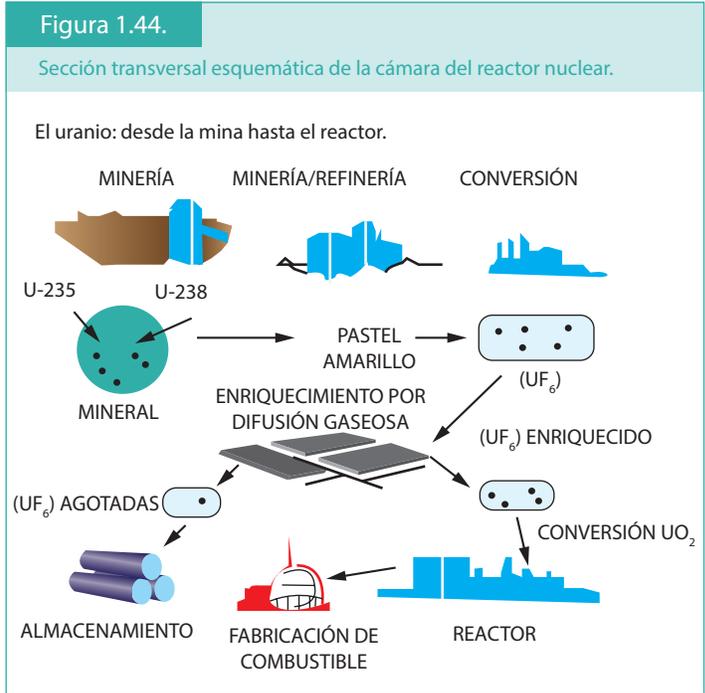


Panorama mundial de la energía nuclear

El combustible utilizado en los reactores nucleares consiste en cápsulas de uranio. Cada cápsula tiene un peso aproximado de 7 gramos, un tamaño similar al de una moneda y una energía equivalente a 17 000 pies cúbicos de gas natural, 2 toneladas de carbón, o bien, 149 galones de petróleo [52].

El mayor productor mundial de energía nuclear es Estados Unidos. El 19 % de la electricidad consumida por ese país es de origen nuclear; dicho porcentaje equivale a un 30 % de la electricidad mundial nuclear [53]. Cabe mencionar que casi todos los reactores nucleares que surten de electricidad a Estados

44 Concepto general tomado de blogs educativos de la Universidad de Princeton.



Unidos, fueron construidos entre 1967 y 1990; la razón se debe principalmente a que los fondos se encauzaron a proyectos de gas natural, considerados más viables económicamente. Por eso es que Estados Unidos prevé un máximo de cuatro nuevos reactores para el 2020.

En la Unión Europea, por aparte, el 30 % de la electricidad consumida es de origen nuclear [54]. En Francia, la electricidad se genera principalmente mediante reactores nucleares: un 77.7 % de su energía eléctrica en el año 2011 fue de origen nuclear. Le siguen Bélgica y Eslovaquia; con un 54 % y un 47 % de electricidad, respectivamente, a base de energía nuclear para ese mismo año [55]. No está por demás mencionar que Alemania, con un 18 % de electricidad de origen nuclear generada en el 2012, planea cerrar todas sus plantas nucleares en el 2020 [56]. Tal medida se puede interpretar como una respuesta al accidente nuclear ocurrido en Fukushima, Japón en el 2011. De hecho, uno de los factores que ha contribuido a la desaceleración del desarrollo de la energía nuclear en general, a nivel mundial, es la seguridad.

En Latinoamérica el panorama es similar: la mayoría de países que planeaban incursionar en la energía nuclear, desistieron luego del accidente de Fukushima. Únicamente México, Brasil y Argentina, que ya contaban con energía atómica anteriormente al desastre nuclear de Japón, tienen previsto continuar con su desarrollo en las próximas décadas [57].

Uranio

Productores de uranio

La figura 1.45 muestra a los países que cuentan con minería de uranio. Kazajistán ocupa el primer lugar con 21 317 toneladas. Canadá ocupa el segundo lugar con 8 999 toneladas; le sigue Australia con 6 991 toneladas. Debe notarse que aproximadamente un 64 % de la producción mundial de Uranio proviene de los tres países mencionados: Kazajistán, Australia y Canadá.

Figura 1.45.

Los países mineros de uranio en toneladas [58].

País	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Kazajistán	4357	5279	6637	8521	14020	17803	19451	21317
Canadá	11628	9862	9476	9000	10173	9783	9145	8999
Australia	9516	7593	8611	8430	7982	5900	5983	6991
Nigeria	3093	3434	3153	3031	3243	4198	4351	4667
Namibia	3147	3067	2879	4366	4626	4496	3258	4495
Rusia	3431	3262	3413	3521	3564	3562	2993	2872
Uzbekistán	2300	2260	2320	2338	2429	2400	2500	2400
Estados Unidos	1039	1672	1654	1430	1453	1660	1537	1596
China (est)	750	750	712	769	750	827	885	1500
Malawi	NA	NA	NA	NA	104	670	846	1101
Ucrania (est)	800	800	846	800	840	850	890	960
Sudáfrica	674	534	539	655	563	583	582	465
India (est)	230	177	270	271	290	400	400	385
Brasil	110	190	299	330	345	148	265	231
República Checa	408	359	306	263	258	254	229	228
Rumanía (est)	90	90	77	77	75	77	77	90
Alemania	94	65	41	0	0	8	51	50
Pakistán (est)	45	45	45	45	50	45	45	45
Francia	7	5	4	5	8	7	6	3

Productores de electricidad de origen nuclear

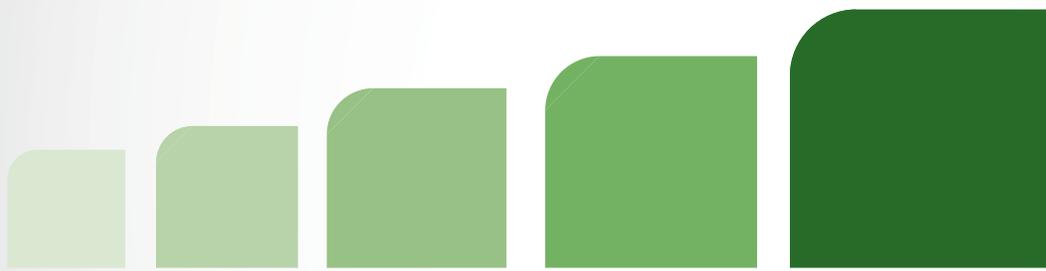
La figura 1.46 muestra a los principales países productores de electricidad de origen nuclear. El primer lugar lo ocupa Estados Unidos con un 31.8 % de la producción mundial. Francia ocupa el segundo lugar con un 17.1 %, y le sigue Rusia con un distante 6.7 % [59].

Una planta moderna de reactor nuclear de 2 234 000 kW tiene un costo de \$5 530/ kW [15].

Figura 1.46.

Los principales países productores de electricidad de origen nuclear [5] (año 2011).

Productores	TWh	% del total mundial
Estados Unidos	821	31.8
Francia	442	17.1
Rusia	173	6.7
Corea	155	6.0
Alemania	108	4.2
Japón	102	3.9
Canadá	94	3.6
Ucrania	90	3.5
China	86	3.3
Reino Unido	69	2.7
Resto del mundo	444	17.2
Total mundial	2 584	100



2.

**ENERGÍA EN
GUATEMALA**

2.1. PANORAMA GENERAL

El territorio de Guatemala se ubica sobre tres placas tectónicas: la placa de Norteamérica, del Caribe y de Cocos. Cuenta con una superficie de alrededor de 108 800 km², de geografía muy accidentada y con una amplia biodiversidad. Sus rasgos topográficos son producto de la dinámica entre las tres placas: el contacto entre las placas de Cocos y del Caribe es de tipo convergente, la zona de subducción se sitúa a aproximadamente 50 km frente a las costas del océano Pacífico.

El proceso alimenta una cadena de 36 volcanes y genera además deformaciones en el interior de la placa del Caribe, produciendo fallas secundarias –Jalpatagua, Mixco, Santa Catarina Pinula, entre otras–. Por su estructura geológica, sus características topográficas y su ubicación geográfica, el país cuenta con potencial abundante para la generación de energía mediante los recursos: hídrico, carburífico, solar, eólico, y geotérmico. Con relación al recurso hídrico, Guatemala posee alrededor de 3 000 ríos que fluyen en 38 cuencas hidrográficas con vertientes en el océano Pacífico, el mar Caribe y el golfo de México. Si bien los estudios científicos para contabilizar el potencial energético del país son aún escasos, los estudios prospectivos y las estimaciones apuntan a los números de la siguiente tabla:

Recurso	Estimación	Aprovechamiento
Petróleo	190 millones de barriles	10 000 barriles/día
Hídrico	6 000 MW	15 %
Geotérmico	1 000 MW	5 %
Eólico	280 MW	0 %
Solar	5.3 kWh/m ² /día	sistemas aislados

A nivel administrativo, el sector energético de Guatemala está compuesto de dos subsectores: el subsector eléctrico y el de hidrocarburos, ambos regulados por el Estado a través del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

Según el reporte de balances energéticos de Guatemala del año 2011, publicado por el Ministerio de Energía y Minas, las principales fuentes de energía del país, incluyendo importaciones, son la leña (45.5 %), el petróleo y sus derivados (30.5 %), el bagazo de caña (15 %), la hidroenergía (4 %), el carbón (3 %) y la geotermia (2 %). Estas fuentes primarias y secundarias se transforman en energía aprovechable con distintos grados de eficiencia.

Guatemala cuenta con instalaciones y tecnologías para transformar recursos energéticos en energía aprovechable por industrias, residencias y servicios públicos. Ninguna de estas tecnologías es nativa, salvo las técnicas predominantes para quemar leña y usarla como combustible para la calefacción y cocina en hogares. Alrededor del 64 % de la energía útil en el

país se destina al uso residencial, el 22 % al transporte, el 11 % a la industria, y el 2 % al sector de comercio y servicios.

Leña

De las estadísticas de consumo energético nacional sobresale el hecho de que la leña sea el recurso energético con mayor demanda. Pese a representar la principal contribución de la matriz energética, hasta el 2013 las políticas del sector energético tenían un vacío en la gestión sostenible de la leña, hecho que se vuelve impostergable teniendo en cuenta que la deforestación del bosque nativo, por distintos factores, es de alrededor de 132 000 hectáreas por año.

Hidrocarburos

El petróleo y sus derivados (la segunda fuente energética más utilizada en el país) son particularmente importantes en el sector transporte. Guatemala posee pozos de donde se extraen un promedio de 10 000 barriles de petróleo al día. Es un petróleo con un alto contenido de azufre. Según los estándares internacionales está catalogado como petróleo pesado, útil únicamente para producir lubricantes y parafinas, combustóleo pesado y asfaltos. En contraste con la producción nacional, el consumo diario de petróleo asciende a 70 000 barriles, siendo necesaria la importación de más del 80 % de la demanda de petróleo en el país.

La actividad petrolera en Guatemala se concentra en varios pozos ubicados en la zona norte del país, el principal de ellos es el Campo Xan, de 289 912 hectáreas, ubicado en el Parque Nacional Laguna del Tigre, que provee más del 90 % del petróleo de Guatemala.

A futuro se prevé un incremento de la inversión de las empresas petroleras en el país. En efecto, el reciente hallazgo de considerables reservas de gas natural en la región de Petén, Alta Verapaz, Quiché, Izabal y Huehuetenango, y las nuevas tecnologías asociadas a la extracción de gas de esquisto abren posibilidades de explotación. En el 2013 se inició la adjudicación de siete áreas petroleras para aumentar la producción de petróleo y explorar las reservas de gas natural en el subsuelo guatemalteco, entre ellas figuran: Xalbal (entre Alta Verapaz, Quiché y Huehuetenango, de 171 720 ha), San Francisco (en Petén, de 126 994 ha), Laguna Blanca (en Petén, de 158 912 ha), Cancuén (entre Alta Verapaz, Izabal y Petén, de 117 331 ha) y La Libertad (en Petén, de 105 994 ha).

Electricidad

En el país, el 27 % de los recursos energéticos primarios disponibles se destinan a la generación de electricidad (que es una fuente secundaria de energía). En el año 2012, la demanda de potencia eléctrica reportó un valor de alrededor de 1 500 MW. Se utilizan principalmente tres tecnologías de generación: turbinas hidráulicas para generación en hidroeléctricas, turbinas de vapor y motores de combustión interna. Las centrales geotérmicas contribuyen con el 3 % de la generación eléctrica total.

Las fuentes de energías necesarias para el uso de estas tecnologías son el búnker y el diésel (ambos derivados del petróleo), el movimiento de agua en los ríos (hidroeléctricas), el carbón mineral y la biomasa, el vapor de agua y el agua caliente (en el caso de las plantas geotérmicas).

Actualmente, la mayor parte de la generación eléctrica estatal se lleva a cabo en centrales hidroeléctricas. Su producción, sin embargo, está sujeta a variaciones estacionales. Por otro lado, en el sector privado, las centrales generadoras son en mayor medida termoeléctricas que generan con combustibles derivados del petróleo. Más de dos tercios de la energía eléctrica nacional provienen de este sector. De particular relevancia es la electricidad generada a partir de biomasa en los grandes ingenios azucareros, que es despachada al Sistema Nacional Interconectado (SNI⁴⁵) entre los meses de noviembre y abril.

Planificación energética

En materia de planificación, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) es el órgano rector. Esta instancia se encarga de implementar estrategias de gestión pública en torno a los recursos energéticos disponibles en el país. En la planificación de políticas energéticas, es imprescindible tener una visión a largo plazo y responder a las preguntas de cuánta energía se dispone; si la energía disponible es compatible con los servicios que necesita la población, si la energía es renovable o no, qué cantidad de energía es aprovechable al instalar tecnologías específicas, cuál es el costo económico, social, cultural y ambiental por el uso intensivo de recursos naturales, si el plan energético nacional asegura el desarrollo sustentable del país, y finalmente, cuál es la pertinencia de importar tecnología extractiva o bien apoyar el desarrollo tecnológico local para aprovechar los recursos.

En febrero de 2013 el Gobierno de Guatemala promulgó la nueva política energética 2013-2027, la cual define líneas de acción generales para promover innovación y desarrollo de alternativas energéticas. En concreto, la política contiene los siguientes cinco ejes de intervención:

1. Seguridad del abastecimiento de electricidad a precios competitivos.
2. Seguridad del abastecimiento de combustibles a precios competitivos.
3. Exploración y explotación de las reservas petroleras con miras al autoabastecimiento nacional.
4. Ahorro y uso eficiente de la energía.
5. Reducción del uso de leña en el país.

Entre los objetivos operativos de estas líneas de acción están el de diversificar la matriz de generación de energía eléctrica priorizando fuentes renovables, ampliar la cobertura eléctrica nacional y dinamizar el mercado energético nacional.

45 La red de energía eléctrica de Guatemala.

Electrificación

Según los datos publicados por el MEM, la cobertura eléctrica a nivel nacional alcanzó el 89.58 % de hogares en el 2013. Sin embargo, este avance no refleja la situación en el área rural donde los índices de cobertura son significativamente más bajos. Los departamentos de Alta Verapaz, Petén, Baja Verapaz, Izabal y Quiché presentan los índices más bajos, siendo estos el 43.5 %, 63.4 %, 77.5 %, 81.7 % y 83 %, respectivamente.

Desde la década de 1970, el gobierno central, a través del Inde ha implementado los denominados Planes de Electrificación Rural (PER) con el propósito de ampliar el suministro de servicio eléctrico para elevar el nivel socioeconómico de la población rural. El esfuerzo, sin embargo, no ha sido suficiente para cubrir las necesidades de áreas aisladas, donde tanto los costos de electrificación por conexión como los costos de operación y mantenimiento de infraestructura eléctrica son altos.

Conflictividad

La implementación de proyectos mineros y energéticos (hidroeléctricas, tendidos eléctricos, perforación de pozos de petróleo y generación de biocombustibles) en la zona rural de Guatemala ha desencadenado, en muchos casos, conflictos por el uso de la tierra y la falta de inclusión de los pueblos locales en la gestión de los recursos naturales. Aunque para el año 2013, se habían identificado 1 800 puntos de conflicto⁴⁶, las regiones más álgidas las constituían los municipios de Río Hondo, Zacapa; San Rafael Las Flores, Santa Rosa; y Barillas, Huehuetenango.

En general, los conflictos se presentan como acciones de resistencia por parte de las comunidades locales que se declaran afectadas. Estas demandan entonces participación en las decisiones al respecto del proyecto en cuestión. Debe tenerse en mente que las condiciones de infraestructura del 80 % de las viviendas en el área rural son deficientes y carecen de servicios básicos. Por lo demás, no poseen garantía de tenencia de tierra. Así pues, la raíz del conflicto en algunos casos es el reflejo de la ausencia de estado en determinada zona.

Con todo, se ha señalado a los gobiernos de turno de actuar con violencia ante tales situaciones –y favorecer únicamente a las compañías inversionistas– en vez de atender las causas de fondo. Por otro lado, también se ha argumentado que han existido conflictos ilegítimos (manipulaciones de grupos con intereses ajenos a los de las comunidades).

En cualquier caso, la conflictividad social asociada a proyectos energéticos hace evidente el vacío legal, o bien, la desconexión actual entre proyectos de energía y el desarrollo local⁴⁷. Alta Verapaz, por ejemplo, es el departamento con mayor número de hidroeléctricas⁴⁸ y el segundo en potencia instalada.

46 Incluyendo los conflictos asociados a la tierra.

47 Cabe mencionar, que en lo referente a proyectos hidroeléctricos, países como Brasil han resuelto el problema con la Ley de Regalías de Hidroelectricidad. Dicha ley establece que las hidroeléctricas en cierto rango de potencia deben compartir regalías con las comunidades de las zonas afectadas.

48 Siete hidroeléctricas con una potencia total instalada de 404.15 MW, a enero de 2013.

Sin embargo, es el departamento con el menor índice de cobertura eléctrica del país; un 43.5 %⁴⁹. Incluso, Alta Verapaz es el departamento más pobre de Guatemala⁵⁰ (en varios de sus municipios más de la mitad de la población rural vive en extrema pobreza).

2.2 BALANCE ENERGÉTICO

Un balance energético es la contabilización de los flujos de energía en cada una de las etapas de la cadena energética y las relaciones de equilibrio entre la oferta y la demanda, por las cuales la energía se produce, se intercambia con el exterior, se transforma y se consume; tomando como sistema de análisis el ámbito de un país o una región; y para un período determinado (generalmente un año) [61].

Existen dos formas comunes de presentar un balance energético:

- Como balance físico, en el que cada uno de los flujos está indicado en las unidades de medida físicas en las que se encuentra (volumen, masa, unidades de energía, etc.). Esta forma de presentar los flujos dificulta la comparación y agregación entre fuentes de energía.
- Como balance calórico, en el que todos los flujos han sido transformados en flujos calóricos. Se utilizan como factores de conversión los poderes calóricos inferiores de las fuentes combustibles y las equivalencias entre unidades para aquellas fuentes medidas directamente en unidades de energía.

El balance energético de Guatemala se presenta generalmente en forma de balance calórico⁵¹. Además, se encuentra elaborado en términos de energía final, siguiendo el modelo utilizado actualmente en el Sistema de Información Económica Energética (SIEE) y en el Sistema de Información Energética Nacional (SIEN).

El balance energético muestra cómo se produce la energía, se exporta o importa, se transforma y se consume por sectores económicos. Permite calcular ciertas relaciones de eficiencia y hacer un diagnóstico de la situación energética de un país, región o continente dado.

Una estructura común de un balance energético presenta a la oferta de las distintas fuentes de energía y determina la forma en que cada una de ellas ha sido utilizada, acumulada, o tal vez perdida.

Esta sucesión lógica conduce al llamado balance energético descendente. Por lo demás, la Olade⁵² ha adoptado el balance

49 Al momento de la presente edición el dato más reciente disponible es de 2013.

50 Al momento de la presente edición, el dato más reciente disponible es de 2011.

51 Dicho balance es elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM).

52 Organización Latinoamericana de Energía.

energético en términos de energía final como estándar para sus informes, y los países miembros han hecho lo mismo para facilitar comparaciones entre ellos. Este balance se presenta en forma matricial, siendo las columnas las fuentes de energía (primarias y secundarias) y las filas el conjunto de actividades (orígenes y destinos o consumos de la energía). Tal formato ha sido adoptado por Guatemala desde el año 2005.

La información para la realización de este balance energético anual para Guatemala es proporcionada por las centrales generadoras operantes del país, la Dirección General de Hidrocarburos del MEM y el Instituto Nacional de Estadística, entre otras fuentes.

Las unidades utilizadas en Guatemala para expresar los flujos de las fuentes primarias y secundarias de energía son los kilobarriles equivalentes de petróleo (KBP).

El balance energético de 2011 para Guatemala se muestra en la tabla 2.2.

Fuentes primarias

La primera parte del balance energético corresponde a las fuentes de energía primaria que se utilizan en el país. Como puede verse, la mayor parte de estas materias primas son utilizadas en algún proceso de transformación (principalmente en plantas generadoras de electricidad) y, con excepción de la leña, no conservan su forma original en los sectores de consumo.

Es importante destacar los siguientes aspectos:

- La principal fuente primaria de energía del país es la leña, que es utilizada sin transformaciones en el sector residencial principalmente para cocción de alimentos y calefacción, y también en el sector de comercio y servicios.
- Guatemala es consumidor de carbón, pero el carbón proviene únicamente de importaciones y es utilizado exclusivamente para generación de electricidad en las centrales eléctricas.
- El petróleo extraído de suelo guatemalteco es principalmente exportado, sin sufrir transformaciones, para ser refinado en otra parte. Tan solo el 22 % del petróleo extraído es refinado dentro del país y sirve principalmente para la fabricación de asfaltos.
- El bagazo de caña es utilizado para la generación de energía eléctrica usada en los ingenios azucareros; el exceso de electricidad es vendido a la red eléctrica del país.

Fuentes secundarias

La segunda parte del balance energético corresponde a las fuentes secundarias de energía. Dichas fuentes son la energía eléctrica y los derivados del petróleo (gas licuado de petróleo, gasolina, keroseno, diésel y fueloil, orimulsión, coque de petróleo y productos petroleros no energéticos).

Más de la mitad del petróleo y sus derivados, un 53.10 %, es consumido por el sector transporte. El sector industrial, por aparte, consume un 26 %; el resto se reparte entre el sector

Tabla 2.2.

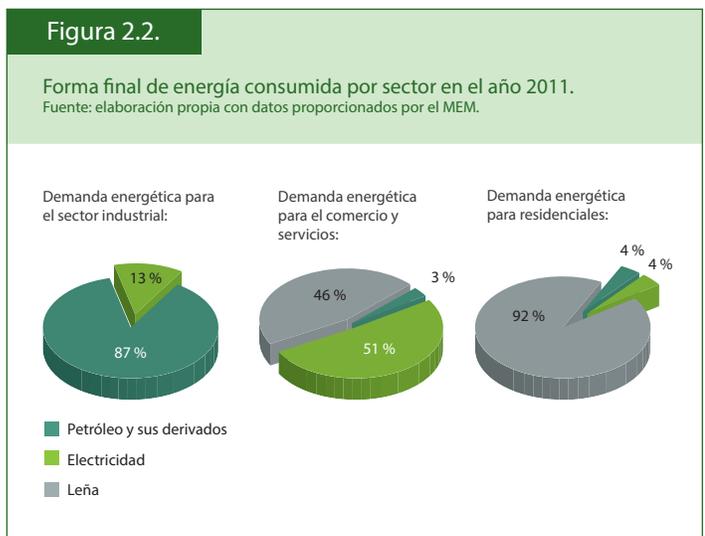
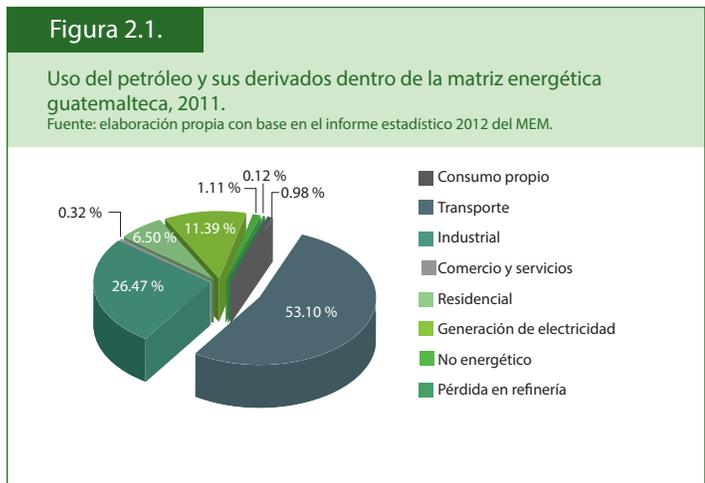
Balance energético de Guatemala para 2011 (cantidades en KBEP).

ACTIVIDADES	PETR	CRBN	HYDRO	GEOE	LEÑA	BCAÑA	TOTAL PRIMARIAS	ELEC	GLP	GAS	KER	DOIL	FOIL	ORIM	COQE	NOEN	TOTAL DERIVADOS DE PETROLEO	TOTAL SECUNDARIAS	TOTAL
Producción	3 966.74	0	3 233.94	1 522.42	37 253.01	12 424.03	58 400.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58 400.14
Importación	0	2 878.72	0	0	0	0	2 878.72	316.86	2 729.97	7 144.48	557.47	9 154.37	4 465.59	0	1 184.99	99.38	25 336.25	25 653.11	28 531.83
Exportación	3 504.33	0	0	0	0	0	3 504.33	119.58	806.72	153.14	0	168.76	60.56	0	0	134.81	1 323.99	1 443.57	4 947.90
Variación inventario	108.67	-395.56	0	0	0	0	-286.89	0	93.89	106.43	-428.4	-2 253.93	2 899.60	0	-107.85	10.6	320.34	320.34	33.45
OFERTA TOTAL	571.08	2 483.16	3 233.94	1 522.42	37 253.01	12 424.03	57 487.64	197.28	2 017.14	7 097.77	1 290.7	6 731.68	7 304.63	0	1 077.14	-24.83	24 332.60	24 529.88	82 017.52
Refinerías	-571.08	0	0	0	0	0	-571.08	0	0	0.71	4.4	238.11	0	0	0	299	542.22	542.22	-28.86
Centrales eléctricas	0	-2 483.16	-3 216.63	-1 522.42	0	-8 696.82	-15 919.03	5 262.36	0	0	0	-56.47	-2 763.84	0	0	0	-2 820.31	2 442.05	-13 476.98
Autoproducciones	0	0	-17.31	0	0	-3 727.21	-3 744.52	425.47	0	0	0	-152.59	0	0	0	0	-152.59	272.88	-3 471.64
TOTAL TRANSFORMACION	-571.08	-2 483.16	-3 233.94	-1 522.42	0	-12 424.03	-20 234.63	5 687.83	0	0.71	4.4	181.64	-2 916.43	0	0	299	-2 430.68	3 257.15	-16 977.48
Consumo propio	0	0	0	0	0	0	0	213.12	0	0.71	4.4	238.11	0	0	0	0	243.22	456.34	456.34
Pérdidas	0	0	0	0	0	0	0	779.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	779.93	779.93
Ajuste	0	0	0	0	0	0	0	173.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	173.22	173.22
Transporte	0	0	0	0	0	0	0	0	20.17	6 920.65	61.95	6 141.19	0	0	0	0	13 143.96	13 143.96	13 143.96
Industria	0	0	0	0	0	0	0	1 934.14	403.43	141.7	7.74	534.02	4 388.21	0	1 077.14	0	6 552.24	8 486.38	8 486.38
Residencial	0	0	0	0	36 135.42	0	36 135.42	1 530.74	1 553.20	0	56.79	0	0	0	0	0	1 609.99	3 140.73	39 276.15
Comercio y servicios	0	0	0	0	1 117.59	0	1 117.59	1 253.96	40.34	35.43	2.58	0	0	0	0	0	78.35	1 332.31	2 449.90
CONSUMO ENERGETICO	0	0	0	0	37 253.01	0	37 253.01	5 885.11	2 017.14	7 098.49	133.46	6 913.32	4 388.21	0	1 077.14	0	21 627.76	27 512.87	64 765.88
NO ENERGÉTICO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	274.17	274.17	274.17	274.17
CONSUMO FINAL	0	0	0	0	37 253.01	0	37 253.01	5 885.11	2 017.14	7 098.49	133.46	6 913.32	4 388.21	0	1 077.14	274.17	21 901.93	27 787.04	65 040.05

Clave: Fuentes primarias de energía, PETR = petróleo, CRBN = carbón, HYDR = hidroenergía, GEOE = geoenergía, BCAA = bagazo de caña (residuo de la caña de azúcar luego de haberse extraído su jugo). Fuentes secundarias de energía: ELEC = electricidad, GLP = gas licuado de petróleo (mezcla de hidrocarburos livianos como el propano y el butano), GAS = gas natural, KER = keroseno (combustible líquido utilizado en cocción de alimentos, alumbrado y motores), DOIL = diésel y gasóleo (combustibles líquidos que se utilizan en motores diésel y sistemas de calefacción), FOIL = fueloil (combustible residual de la refinación del petróleo; es el combustible más pesado derivado del petróleo), ORIM = orimulsión (marca registrada de un tipo de emulsión de hidrocarburo –la emulsión es una mezcla de líquidos que no se mezclan naturalmente– utilizado en plantas termoeléctricas), COQE = sólido carbonoso derivado de la refinación del petróleo, NOEN = derivados del petróleo no energéticos.

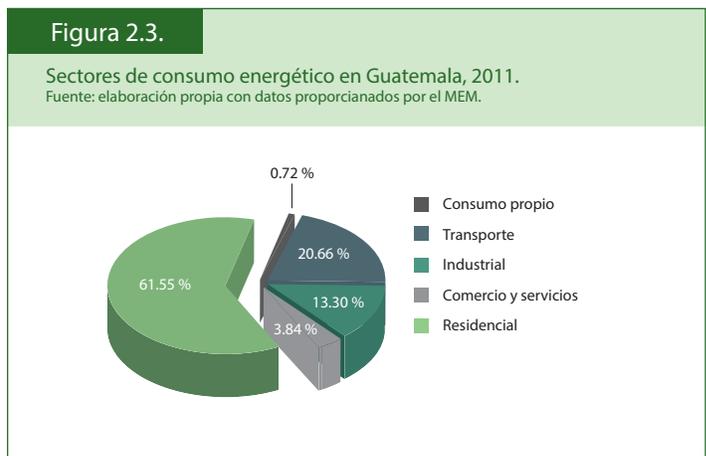
residencial, la generación de electricidad, el sector de comercios y servicios, los autoprodutores y los usos no energéticos y las pérdidas (ver figura 2.1.).

Es importante destacar que alrededor del 98 % del petróleo y sus derivados en el país, son importados. Guatemala, como se mencionó anteriormente, únicamente extrae petróleo crudo para refinar la parte más pesada del mismo y elaborar asfaltos, el resto del petróleo crudo es exportado sin cambios.



En cuanto a la energía eléctrica, Guatemala produce el 96 % de lo que consume. La figura 2.2 muestra las formas finales de energía consumida por sector en términos de porcentaje⁵³.

En la figura 2.3. también puede verse cómo es el consumo de energía por sectores. El sector residencial consume más del 50 % de la energía del país; le sigue el sector transporte con un 20.50 %. El sector industrial representa al 13 % de la energía que es utilizada; un porcentaje aún menor corresponde al sector de comercios y servicios. Lo anterior sugiere que el país tiene un sector productivo poco desarrollado.



2.3. DIAGRAMA DE FLUJO ENERGÉTICO

Guatemala

La lectura de la tabla de balance energético es complicada, y puede dar lugar a equivocaciones debido a la enorme cantidad de datos que presenta, las gráficas de pastel y de barras dan una idea un poco más clara de lo que el balance energético representa, pero no abarcan todos los datos y presentan entonces visualizaciones parciales sobre ciertas áreas del balance energético.

Una solución a los problemas de interpretación del balance energético es el diagrama de flujo energético⁵⁴ (DFE).

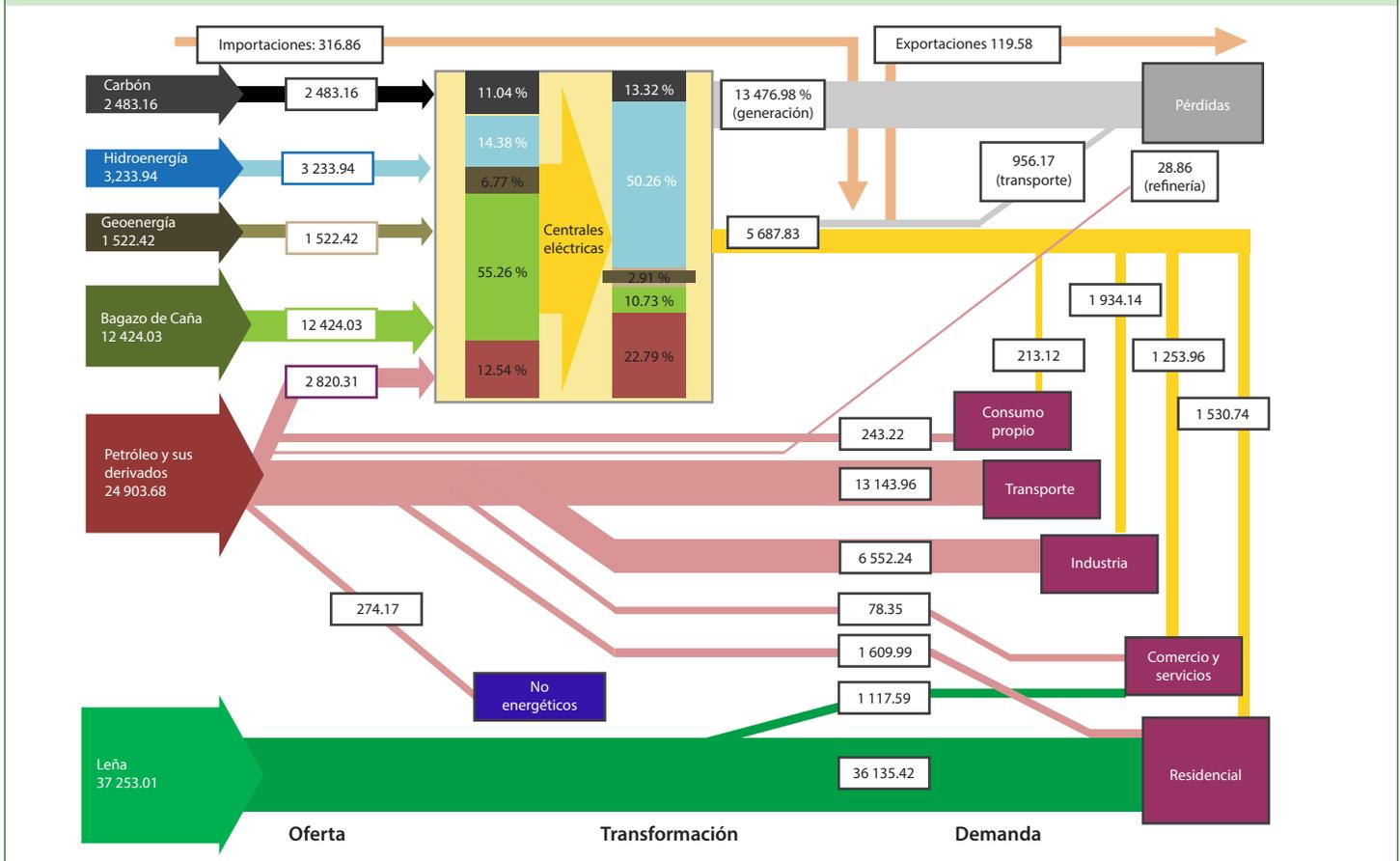
El DFE para 2011, correspondiente al balance energético presentado en la tabla 2.2., se despliega en la figura 2.4.

Puede verse en la figura 2.4 los tres componentes del balance energético presentado anteriormente, de izquierda a derecha:

53 El sector transporte consume un 100 % de derivados de petróleo.
54 Basado en el diagrama Sankey, diagrama de flujo en el cual el ancho de las flechas es proporcional a la cantidad de flujo. El diagrama de flujo energético para Guatemala fue desarrollado por el Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Universidad Rafael Landívar durante el 2013, basado en los datos de las publicaciones de balances energéticos del MEM.

Figura 2.4.

Diagrama de flujo energético (DFE) para Guatemala, 2011 [61]. Fuente: elaboración propia con base en la matriz energética guatemalteca, 2011, publicada por el MEM (cantidades de energía en KBEP).



oferta, transformación y demanda. Las fuentes primarias y secundarias de energía han sido agrupadas en el lado de la oferta y las flechas conducen al sector de consumo correspondiente. Se aprecia también en la región de la demanda el tipo de formas energéticas consumidas (primarias o secundarias).

Por ejemplo, el sector residencial utiliza energía en forma de electricidad, petróleo y/o sus derivados, y leña.

Nótese que estas tres formas de energía son las únicas que se utilizan en los sectores de consumo.

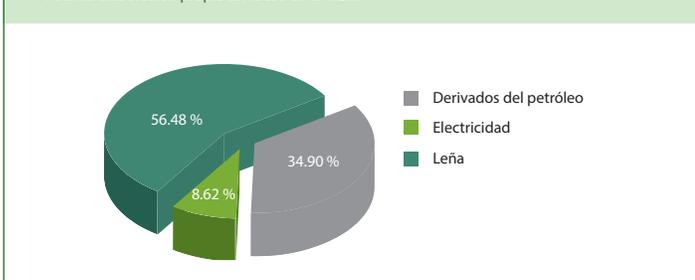
Graficando únicamente las tres fuentes de energía: leña, electricidad y derivados del petróleo se obtiene la figura 2.5, que representa el consumo energético final del país, para 2011.

Es importante mencionar, que Guatemala tiene previsto promover la explotación de sus reservas de gas natural en un 25 % antes del 2027 [62]. En cuanto a la leña, se prevé la implementación de 100 000 estufas ahorradoras; y más aún, la sustitución de dicho energético por otras fuentes en un 25 % de los hogares durante el período 2013-2027 [62]. Con respecto al petróleo, la meta es refinar un 10 % más durante ese mismo período. Y, en general, a partir del 2013, Guatemala se ha fijado la meta de que los proyectos energéticos obedezcan a los principios de la sostenibilidad. Por lo demás, se tiene previsto que en el 2027, un 80 % de la generación de electricidad provenga de fuentes renovables. Al respecto, cabe destacar que la geotermia –un recurso renovable– apenas y había sido explotada en un 2.4 %, de un total estimado de 1 000 MW [63] para el año 2010.

Existen además otros recursos renovables como las energías solar y eólica, que recientemente se han empezado a explotar en Guatemala. En el año 2013, el gobierno firmó un acuerdo con la empresa española Grupo Ortiz para la construcción de un parque solar con capacidad de 50 MW. El inicio de operaciones de dicha planta está previsto para agosto de 2014 [64].

Figura 2.5.

Tipos de energía para consumo final en Guatemala, 2011. Fuente: elaboración propia con base en el MEM.



Asimismo, existen proyectos eólicos en marcha, como el de la empresa Viento Blanco de 21 MW, previsto para entrar en funcionamiento en el 2014 [65].

Países seleccionados

Como se ha visto, el DFE facilita la visualización de los flujos de energía de un país. Cada país ha estructurado su DFE en la forma más conveniente, en función de sus fuentes primarias y secundarias de energía, sus procesos de transformaciones y sus usos finales. A modo de comparación se presentan a continuación ejemplos de los DFE de países seleccionados:

Estados Unidos

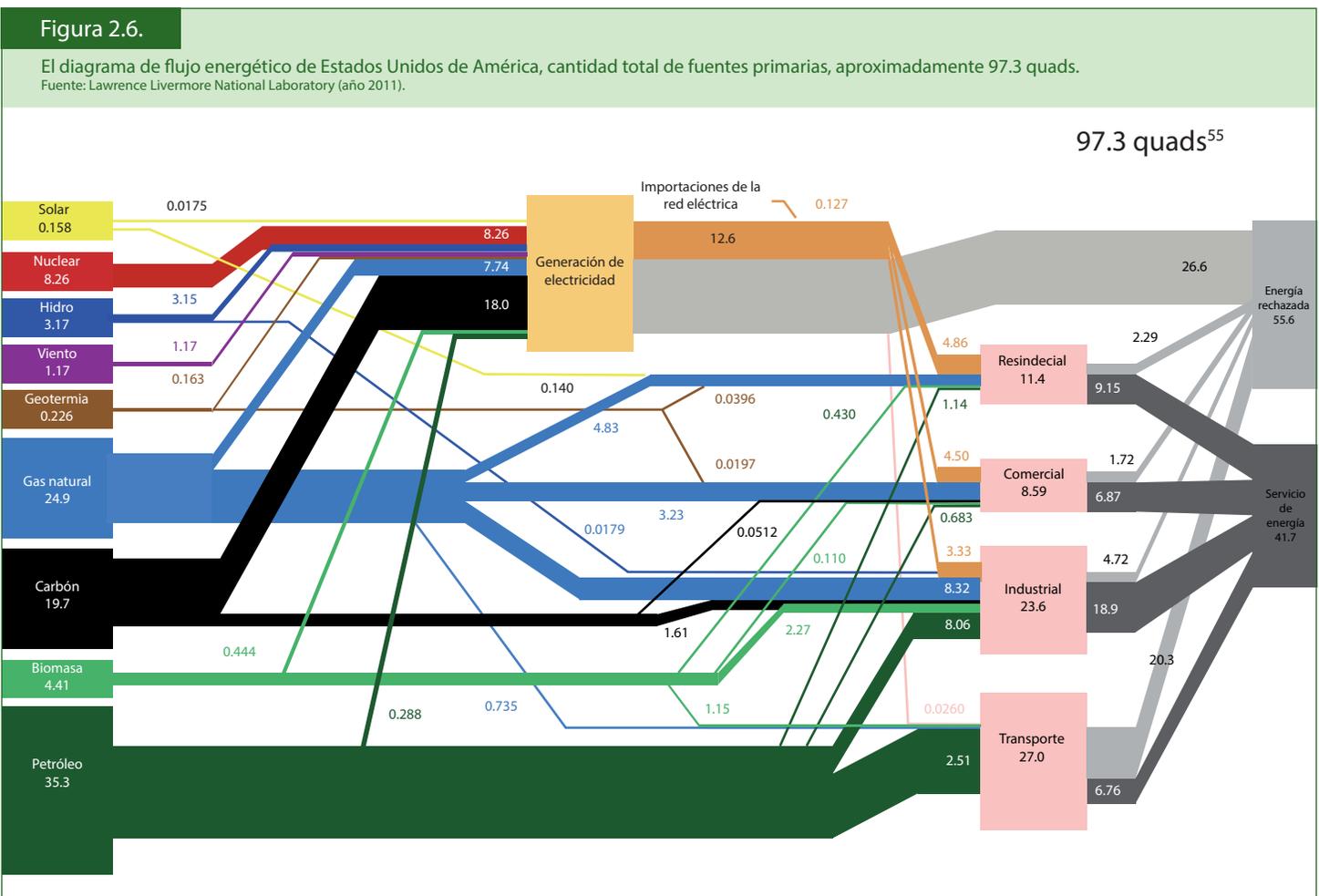
Algunas diferencias importantes que pueden señalarse entre la matriz energética de Guatemala y la de Estados Unidos son:

1. La fuente principal de energía para Estados Unidos es el petróleo y sus derivados, seguida del gas natural y el carbón mineral. En Guatemala, la leña es el principal energético.

2. La contribución de energías renovables para Estados Unidos es relativamente pequeña, alrededor de un 10 % de la matriz energética, y el resto se encuentra constituido por fuentes no renovables de energía. En Guatemala, en cambio, la fuente principal de energía es la leña, un recurso renovable.
3. Estados Unidos no utiliza el petróleo ni sus derivados para generar electricidad. En contraste, en Guatemala, una parte significativa de la electricidad se genera por derivados del petróleo.
4. Aunque en un porcentaje muy pequeño –a diferencia de Guatemala–, Estados Unidos utiliza electricidad para el transporte.

Costa Rica

Las principales fuentes de de la matriz energética de Costa Rica son el petróleo y sus derivados. La leña constituye un elemento mínimo, utilizado principalmente por el sector residencial.

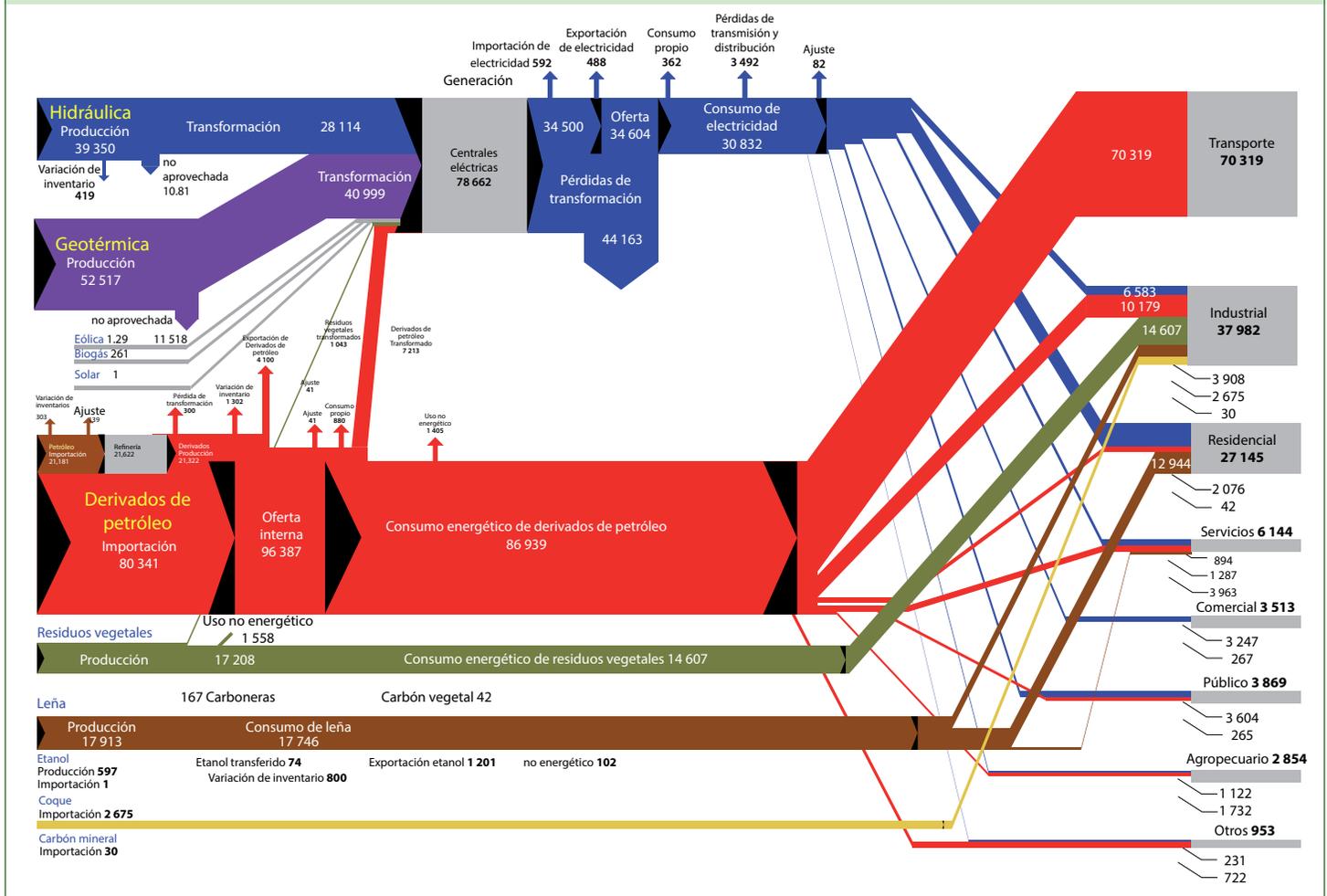


55 Abreviatura de *quadrillion* de BTU, que en español se traduce a mil billones, o bien 10^{15} BTU; equivalente a 1.055×10^{18} joules. Ver apéndice A.

Figura 2.7.

El diagrama de flujo energético de Costa Rica, en terajoules.

Fuente: Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (año 2010).



México

México se apoya principalmente en el petróleo y sus derivados para satisfacer sus necesidades energéticas.

Gran parte del petróleo producido es exportado. Estados Unidos es uno de los compradores de este petróleo. El restante es consumido localmente por dos grandes sectores: el sector de transporte y la generación eléctrica. México, al igual que Guatemala, emplea petróleo y sus derivados en las generadoras termoeléctricas. Es de notar que el aporte de las fuentes renovables en la matriz energética mexicana es pequeño.

2.4. SUBSECTOR ELÉCTRICO⁵⁶

Estructura

La energía eléctrica se obtiene a partir de distintas fuentes primarias, algunas localizadas en abundancia, en suelo guatemalteco. La electricidad generada se vende dentro (a la población, el comercio y la industria) o fuera del país, según la disponibilidad de excedentes. Si la electricidad no basta para cubrir la demanda, se importa.

Con el objeto de ejercer control sobre el conjunto de operaciones relacionadas a la energía eléctrica, y en general sobre todas las transacciones relacionadas a las formas de energía utilizadas en el país, el Organismo Ejecutivo, en el Artículo 34 del Decreto Número 114-97 de su ley, nombró al Ministerio de Energía y Minas (MEM) como el encargado de atender lo relativo a las leyes que rigen la producción, distribución y comercialización de la energía eléctrica, los hidrocarburos (combustibles fósiles) y la minería. Para garantizar, como la Ley General de Electricidad (LGE) establece, un esquema de descentralización de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica que contemple el desarrollo simultáneo de las actividades de empresas o personas jurídicas, el MEM (el sujeto político) se apoya en dos instancias que participan en la operación del mercado energético (el sistema de compraventa de energía eléctrica del país).

La primera de estas instancias que brinda apoyo al MEM es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), que representa al sujeto regulador y cuyo objetivo principal es velar por la existencia de condiciones propicias, apegadas a la ley, para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica puedan ser desarrolladas por cualquier operador del sector energético. La CNEE, además determina los precios y calidad de la prestación de los servicios de transporte y distribución sujetos a autorizaciones, y debe asegurar las condiciones de competencia en el mercado mayorista de electricidad.

La segunda instancia de apoyo del MEM es el sujeto operador y corresponde al Administrador del Mercado Mayorista (AMM), quien gestiona la operación, compra, y venta de bloques de potencia y energía entre los agentes del sistema. A dichos agentes se les llama agentes del mercado mayorista, que son: los generadores, comercializadores, distribuidores, importadores, exportadores, transportistas y grandes usuarios.

La figura 2.9 muestra cómo se relacionan las entidades que participan en el subsector eléctrico.

56 Puesto que el sector eléctrico es una división del sector de energía, se le llama subsector eléctrico.

Figura 2.9.

Estructura general del subsector eléctrico de Guatemala.
Fuente: CNEE.

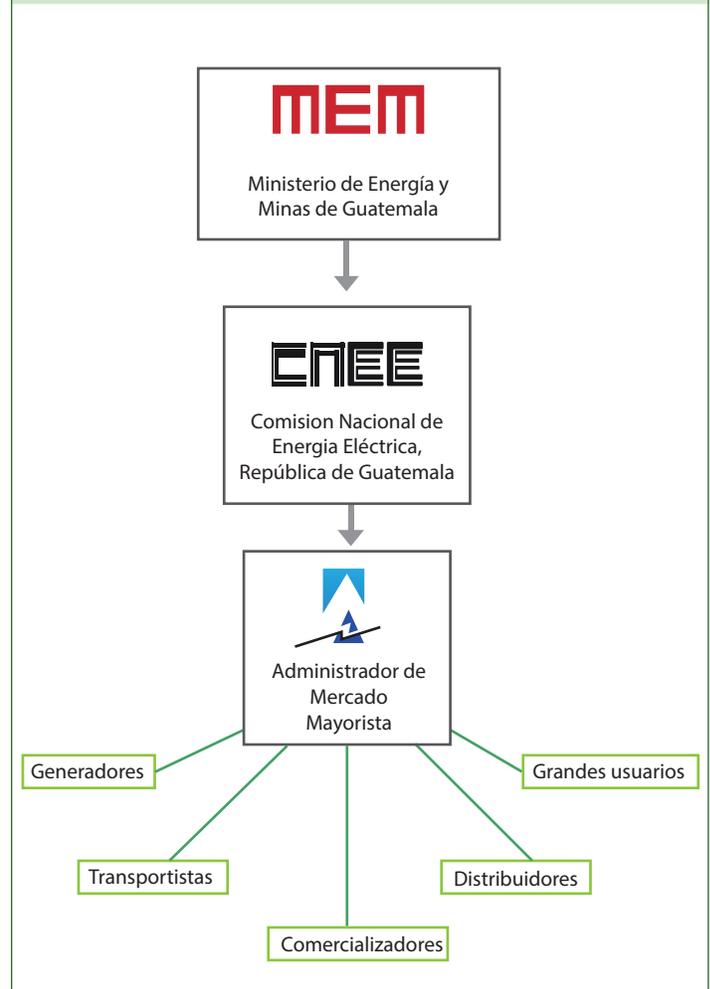
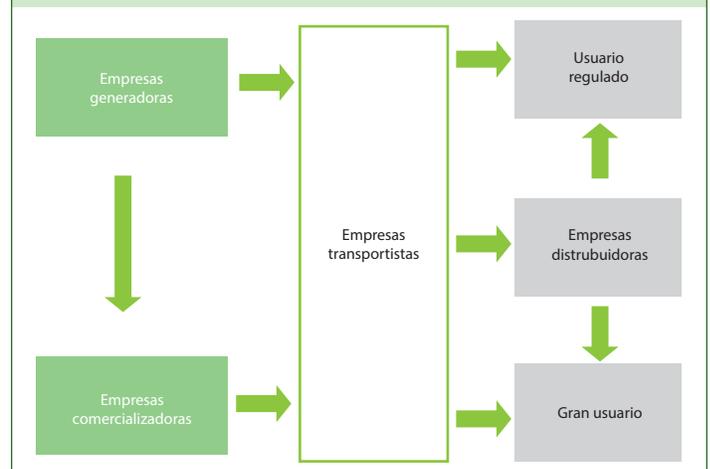


Figura 2.10.

Diagrama de interacción entre agentes del mercado mayorista.
Fuente: elaboración propia con base en la CNEE.



La estructura de funcionamiento e interacción entre los agentes del mercado mayorista (aquellos operadores que llevan a cabo alguna actividad dentro del sistema de energía eléctrica) se esquematiza en la figura 2.10.

Tabla 2.3.

Agentes del mercado mayorista.
Fuente: Ley General de Electricidad.

Agente del mercado mayorista	Definición
Generador	Es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que comercializa total o parcialmente su producción de electricidad.
Transportista	Es la persona, individual o jurídica, poseedora de instalaciones destinadas a realizar la actividad de transmisión y transformación de electricidad.
Comercializador	Es la persona, individual o jurídica, cuya actividad consiste en comprar y vender bloques de energía eléctrica con carácter de intermediación y sin participación en la generación, transporte, distribución y consumo.
Distribuidor	Es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica.
Usuario regulado	Es el titular o poseedor del bien inmueble que recibe el suministro de energía eléctrica.
Gran usuario	Es aquel cuya demanda de potencia excede al límite estipulado en el reglamento de la Ley General de Electricidad.

Red de energía eléctrica⁵⁷

El Sistema Eléctrico Nacional, se define en la LGE como:

El conjunto de instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda la infraestructura eléctrica destinada a la prestación del servicio, interconectados o no, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país [66].

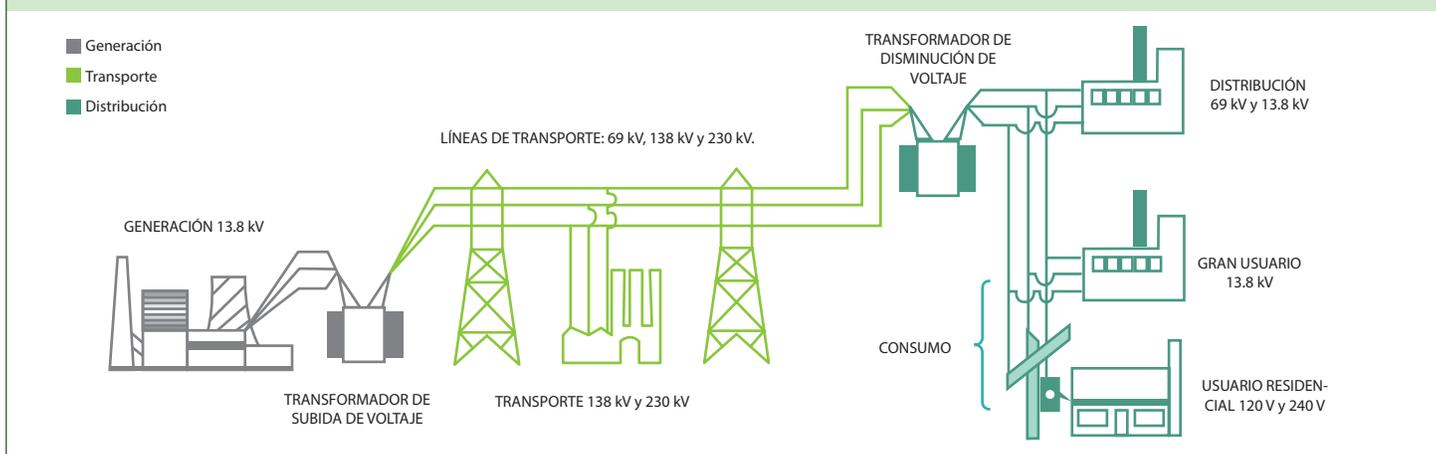
Esta sección trata sobre el Sistema Nacional Interconectado (SNI) “la porción interconectada del Sistema Eléctrico Nacional” [66] (comúnmente se le llama red de energía eléctrica). Así

pues, a continuación se presentan de manera simplificada los elementos básicos de la red de distribución de energía eléctrica del país.

Téngase en cuenta que un fin inherente de cada red, es la eficiencia⁵⁸ de cada uno de sus componentes. Asimismo, se debe considerar que aunque la energía eléctrica sí se puede almacenar (en baterías, por ejemplo), el flujo eléctrico (la potencia) no; este se consume al mismo tiempo que se genera. Y ya que el consumo de electricidad (demanda de flujo eléctrico) de los usuarios cambia continuamente⁵⁹, la red eléctrica debe ser un sistema dinámico capaz de adaptar periódicamente el flujo de potencia entre generadores y consumidores.

Figura 2.11.

Esquema simplificado de una red de distribución de energía eléctrica. Los valores de voltaje de la gráfica corresponden a los valores típicos del territorio de Guatemala.



57 Los valores de voltajes para el presente caso corresponden a los valores estándar en las redes eléctricas de Guatemala.

58 La eficiencia es un tema extenso. El presente capítulo se limita a exponer maneras de implementar la eficiencia de la red para contrarrestar los efectos de la potencia reactiva (potencia que un dispositivo electromagnético necesita para su funcionamiento, pero que no contribuye a la realización de trabajo útil).

59 Una buena analogía la constituye el flujo de agua en una tubería residencial. Cada vez que se abre un grifo, cambia (disminuye) ligeramente el flujo de agua en el resto de los chorros. En una red eléctrica –a diferencia de una tubería básica residencial– los flujos para consumo deben mantenerse constantes, luego, la generación entra a actuar según la demanda del momento.

La red de distribución de energía eléctrica es la estructura física en donde ocurren las interacciones fundamentales de los elementos que componen el sector eléctrico.

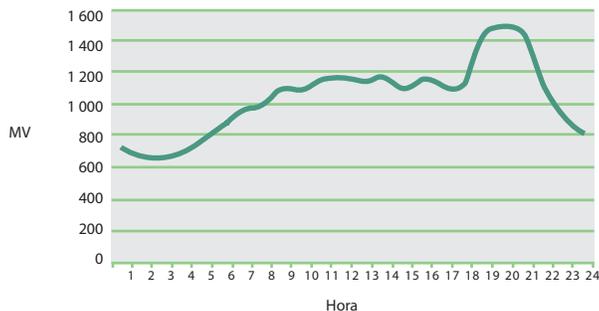
Los elementos básicos de una red eléctrica son (ver figura 2.11.):

- Generación
- Transporte
- Distribución
- Consumo

Puesto que la demanda de energía no es constante, las redes cuentan con plantas “pico” que se activan con el objeto de cubrir picos de demanda (ver figura 2.12.). La demanda estable⁶⁰, en cambio, es cubierta por plantas que funcionan durante largos períodos (meses). En Estados Unidos, por ejemplo, un 10 % de la infraestructura correspondiente a la generación y un 15 % correspondiente a la de distribución, están activas únicamente un 5 % del tiempo. Por otro lado, la demanda estable en Estados Unidos es cubierta principalmente por plantas de carbón. En Guatemala, en cambio, la demanda estable es generalmente cubierta por hidroeléctricas, mientras que las plantas de carbón se utilizan para cubrir los picos.

Figura 2.12.

Demanda de potencia eléctrica⁶¹ [67]. Los picos son cubiertos por plantas que puedan entrar a funcionar rápidamente. Nótese el gran pico que ocurre entre las 18:30 horas y 21:30 horas.



Etapas, componentes y agentes

Generación

En Guatemala, la energía eléctrica se genera en:

- Centrales hidráulicas
- Centrales termoeléctricas
- Centrales de energías alternativas⁶²

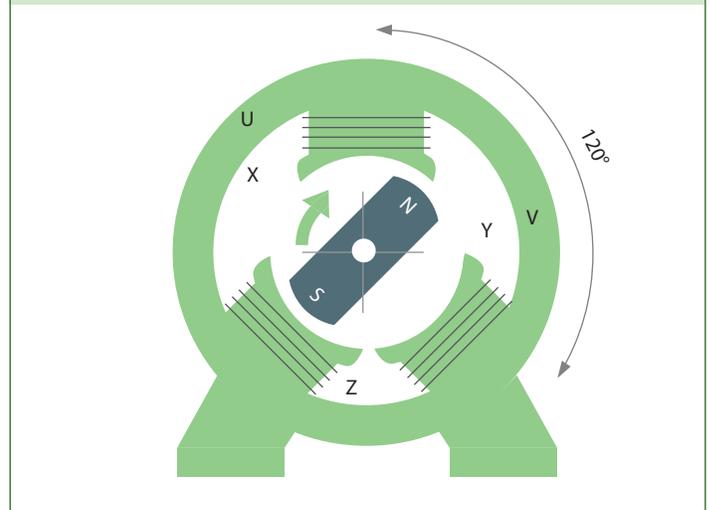
60 La electricidad consumida en una región particular no presenta cambios abruptos a ciertas horas del día. No obstante, existen horarios en los que el consumo de electricidad aumenta significativamente; se crea un “pico”. Por ejemplo, cuando la gente regresa del trabajo a sus casas –al finalizar la tarde–, utiliza varios electrodomésticos al mismo tiempo: televisores, hornos de microondas, computadoras, lámparas, etc. Luego del pico, el consumo de electricidad regresa al rango estable.

61 Existe además la llamada potencia reactiva –como parte de la potencia eléctrica total–, la cual disminuye la eficiencia de la red (ver Apéndice C).

62 En general, energías renovables o de origen nuclear. Cabe mencionar que Guatemala no cuenta con energía nuclear.

Figura 2.13.

Generador Trifásico. El componente móvil del generador es el rotor, la parte fija es el estator.



El voltaje⁶³ generado en una planta es de unos 14.1 kV. Luego de pérdidas internas, este voltaje se reduce a 13.8 kV. Entonces, la electricidad abandona la planta generadora a un voltaje de 13.8 kV, y pasa por un transformador que eleva el voltaje a 138 kV o 239 kV.

Es de notar que la conversión inicial de energía (del combustible o de la fuente renovable) hacia energía eléctrica, ocurre en general mediante generadores trifásicos⁶⁴ (ver figura 2.13.).

En esencia, el generador consta de un rotor bobinado⁶⁵, el cual gira en torno a tres bobinas; cada vez que el rotor pasa frente a una bobina, se genera un voltaje en ella. Este voltaje varía en el tiempo y se transmite en el alambre de la bobina: una onda de voltaje se genera.

Puesto que son tres bobinas, se generan tres ondas senoidales desfasadas. Y como cada bobina está separada un tercio de vuelta, entonces cada onda ocurre cada 120° de giro del rotor. O bien, se crea voltaje en tres fases. Las ondas de voltaje se pueden representar como en la figura 2.14.

Claramente, la onda de voltaje de cada fase no tiene un valor constante, sino varía de un mínimo a un máximo como lo muestra la gráfica⁶⁶, durante un ciclo⁶⁷. En general, cuando se

63 Al voltaje se le suele llamar “tensión”.

64 Un tipo de los llamados generadores síncronos. Existen generadores síncronos de mayor número de fases, llamados polifásicos.

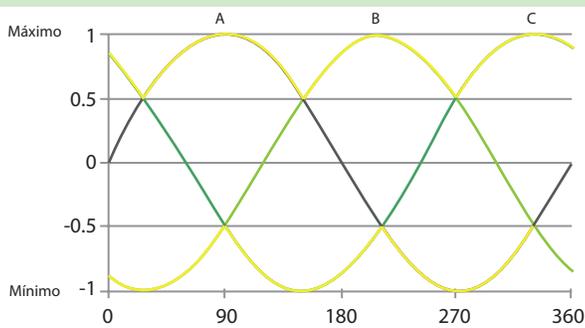
65 Un imán bobinado; este es puesto en rotación por la acción del flujo originado por el combustible o la fuente de energía renovable. Por ejemplo, en una hidroeléctrica es el flujo de agua el que pone en movimiento al rotor. En una termoeléctrica, el flujo de vapor hace girar al rotor.

66 Gracias al principio electromagnético de inducción: un campo magnético que varía su posición –alejándose o acercándose– en presencia de una bobina, genera una corriente (y un voltaje) en ella. Es así como se genera la energía eléctrica en estas circunstancias. Y claro, el movimiento del imán es originado por otro tipo de energía.

67 Cada vez que se acerca y aleja el imán del rotor. En países como Guatemala, las señales de voltaje se transmiten a 60 Hz, es decir, a 60 ciclos por

Figura 2.14.

Esquema de tres fases de voltaje. El voltaje resultante nunca desciende a cero (ver las líneas de color amarillo).



habla de voltajes en la red eléctrica, se hace referencia al valor nominal, que es el valor promedio del voltaje⁶⁸.

Es importante mencionar que la electricidad trifásica presenta las siguientes ventajas:

- El diseño de un generador trifásico es más sencillo que el de uno monofásico.
- La onda de voltaje nunca es cero, a diferencia de una onda de voltaje monofásica.
- Su transmisión es más eficiente que la transmisión de electricidad monofásica⁶⁹.
- La electricidad trifásica satisface las necesidades de la industria.
- De la electricidad trifásica se puede tomar solo una o dos fases para satisfacer las necesidades del hogar.
- Ideal para transmisión de altos voltajes, lo que implica corrientes eléctricas bajas; tales corrientes requieren de cables de menor diámetro, y por tanto, de menor peso en comparación con el equivalente de electricidad asociada a la corriente directa.

Agentes del mercado mayorista: generadores

Guatemala tiene registradas para 2011 cuarenta y nueve empresas generadoras⁷⁰. De acuerdo a la LGE cualquiera puede participar en el mercado de generación siempre que cumpla con los requisitos para integrarse al SNI, por lo que la lista de generadores está constituida por agentes públicos y privados, siendo en su mayoría privados. Los generadores del mercado mayorista deben tener una potencia máxima mayor de 5 MW.

segundo.

68 En realidad se llama valor RMS (Root Mean Square), la raíz cuadrada del valor promedio al cuadrado, que corresponde al valor medio de la onda.

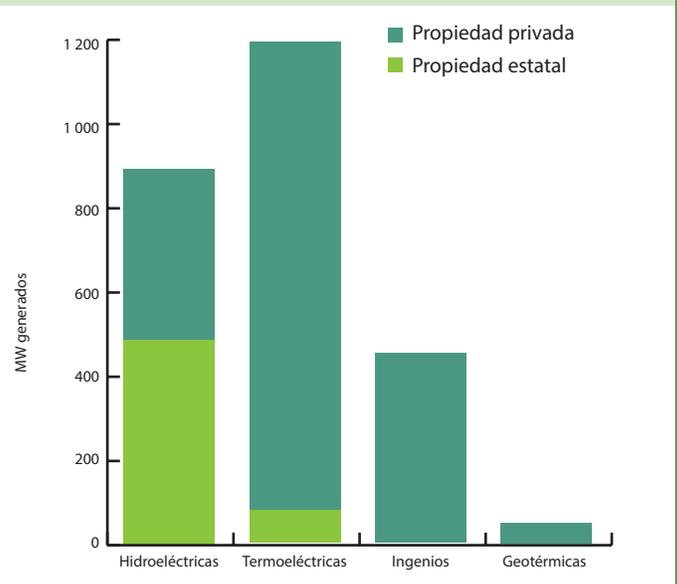
69 Notar que ambos tipos de electricidad alterna, resultan ideales para su transmisión a largas distancias. En contraste, la corriente directa –como la que genera una batería– es menos eficiente para cierto rango de voltajes de transmisión (y entre otras cosas, requiere de cables más gruesos para su transmisión a grandes distancias). No obstante, se utiliza corriente directa en rangos de voltajes ultraaltos (de más de 735 kV).

70 En el Apéndice E se puede consultar el listado de empresas generadoras para el año 2011.

Figura 2.15.

SNI, capacidad instalada 2011.

Fuente: elaboración propia con base en los datos tomados de la CNEE.



La generación de energía eléctrica puede agruparse de tres formas: por tipo de tecnología, por fuente primaria de energía y por tipo de central generadora⁷¹ (esta última está directamente relacionada con el tipo de tecnología).

Generación de electricidad por tipo de tecnología

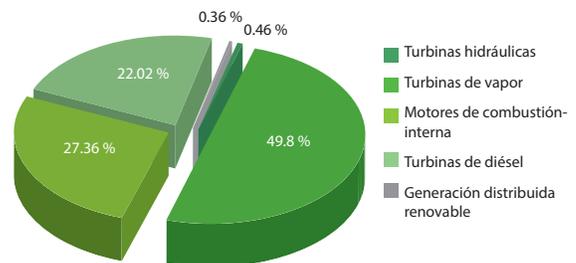
Guatemala tiene básicamente tres tecnologías principales: turbinas hidráulicas (generación en hidroeléctricas), turbinas de vapor y motores de combustión interna.

Casi el 50 % de la tecnología de generación corresponde a turbinas hidráulicas (Figura 2.16).

Figura 2.16

Producción de energía en porcentajes por tipo de tecnología.

Fuente: elaboración propia con base en los datos tomados de la CNEE (año 2011).

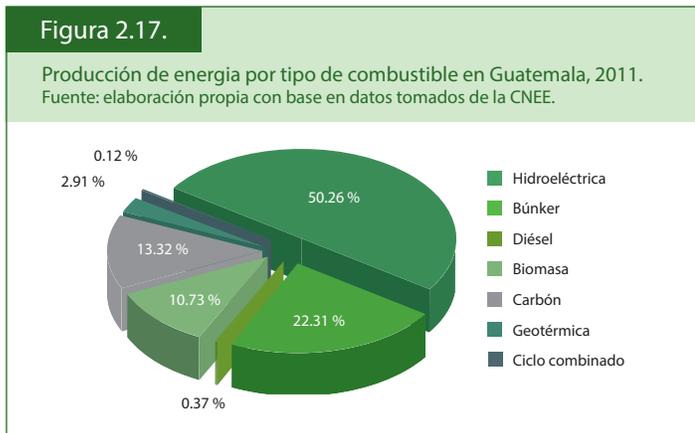


Generación de electricidad por fuente de energía

Las fuentes de energía utilizadas son el búnker y el diésel (ambos derivados del petróleo), el movimiento del agua de los ríos (en el caso de las hidroeléctricas), el vapor de agua y el agua caliente (en el caso de las plantas geotérmicas), el carbón mineral y la

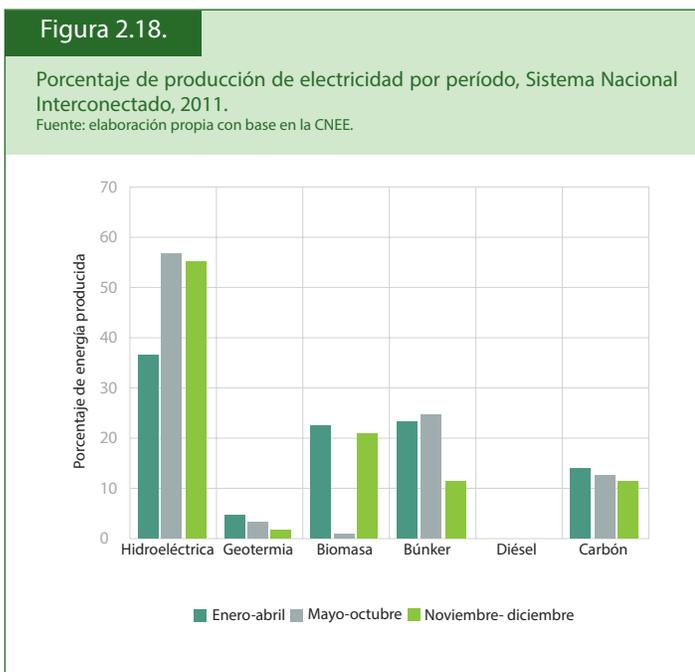
71 El listado de plantas generadoras en el país para el 2011 aparece en el Apéndice D.

biomasa, los derivados del petróleo, y las hidroeléctricas como principales fuentes de generación.



La figura 2.17. muestra las fuentes de energía utilizadas en la generación de energía eléctrica por aquellas plantas conectadas al Sistema Nacional Interconectado (SNI). Debe tenerse en cuenta, también, que existe generación eléctrica de uso particular no conectada al SNI –no aparece en la figura 2.17–, que va desde plantas para hospitales y centros comerciales hasta proyectos hidroeléctricos en fincas. Cabe mencionar también que a largo plazo, Guatemala proyecta generar un 80 % de su electricidad por fuentes renovables [62].

Es necesario hacer notar que la figura 2.17. presenta los porcentajes de producción de energía a partir de diferentes energéticos para el ciclo 2011 completo; sin embargo, a lo largo del año estos porcentajes varían en función de la disponibilidad de las fuentes primarias de energía, fundamentalmente de biomasa y caudal hídrico. La figura 2.18. representa tales variaciones a lo largo del año.

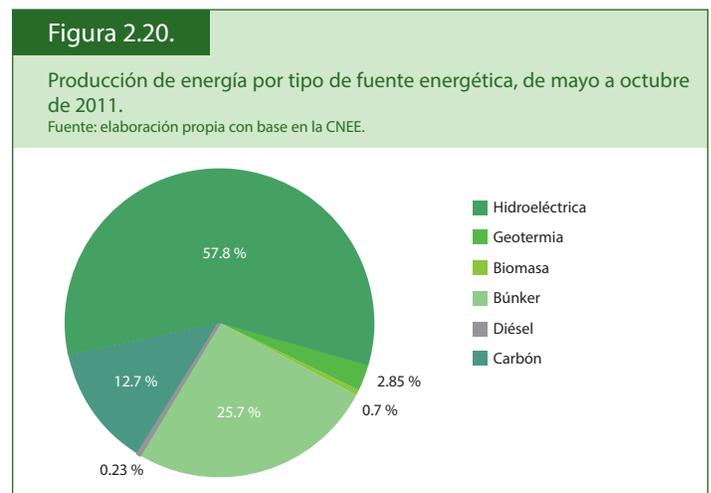
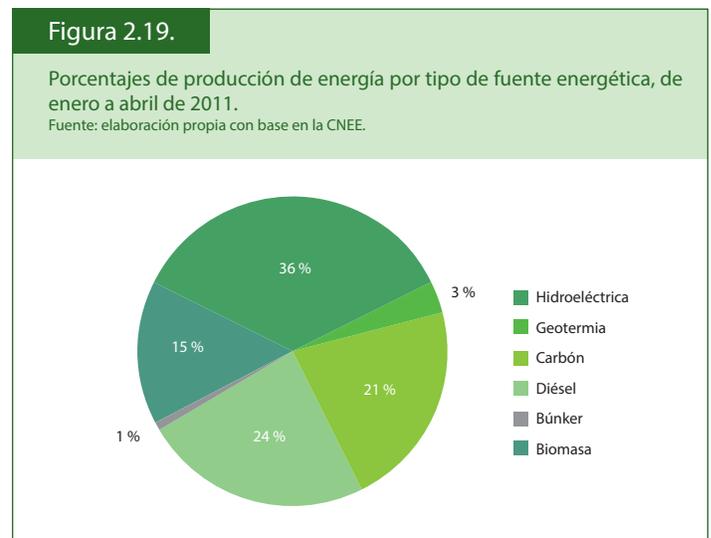


Las variaciones más importantes en la figura 2.18 corresponden a la generación de electricidad por hidroeléctricas, siendo la mayor generación entre mayo y diciembre, la época lluviosa. En cuanto a la generación a partir de biomasa, la mayor generación ocurre entre los meses de noviembre y abril, la época de zafra⁷².

Nótese que durante los meses en los cuales se reduce la generación de energía a partir de hidroeléctricas, son precisamente aquellos en los que la generación a partir de biomasa aumenta y viceversa. Dicha coincidencia permite que aproximadamente un 50 % de la energía eléctrica provenga de fuentes renovables, a lo largo de todo el año.

Períodos

Hay tres períodos importantes en la producción de electricidad. Las siguientes figuras muestran las contribuciones por tipo de fuente energética, correspondientes a cada período.

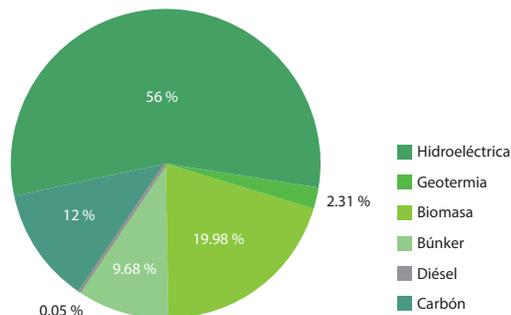


72 Los desechos de la caña de azúcar, resultantes del proceso de fabricación de azúcar en los ingenios, son la principal fuente de biomasa en el país. De mayo a octubre, cuando no hay zafra, la contribución eléctrica de los ingenios a la red nacional prácticamente se reduce a cero.

Figura 2.21.

Producción de energía por tipo de combustible, de noviembre a diciembre de 2011.

Fuente: elaboración propia con base en la CNEE.



Resulta una excepción lo que ocurre durante los meses de noviembre y diciembre, cuando la hidroelectricidad y la biomasa aún están en sus puntos altos de generación, y la matriz energética está constituida entonces por $\frac{3}{4}$ de energías renovables. Es durante este período que el consumo de bunker para generación de electricidad disminuye.

La generación de electricidad a partir de geotermia y diésel es estable, y mínima, a lo largo del año.

La ubicación de las estaciones generadoras de energía eléctrica en el país que alimentan al Sistema Nacional Interconectado, se muestra en los mapas de la figura 2.22. Este y otros mapas de este documento han sido generados a partir de la información contenida en el atlas de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), 2012 y se encuentran disponibles para consulta en la página del InCytDE⁷³. Al momento de la elaboración de este documento se contabilizaban 25 hidroeléctricas y 37 termoeléctricas.

Figura 2.22.

Ubicación de estaciones generadoras de energía eléctrica en Guatemala, 2011.

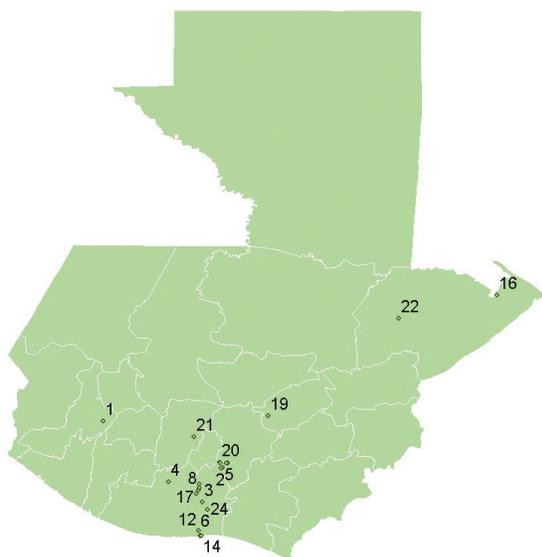
Fuente: elaboración propia con base en el atlas de la CNEE.

Centrales térmicas

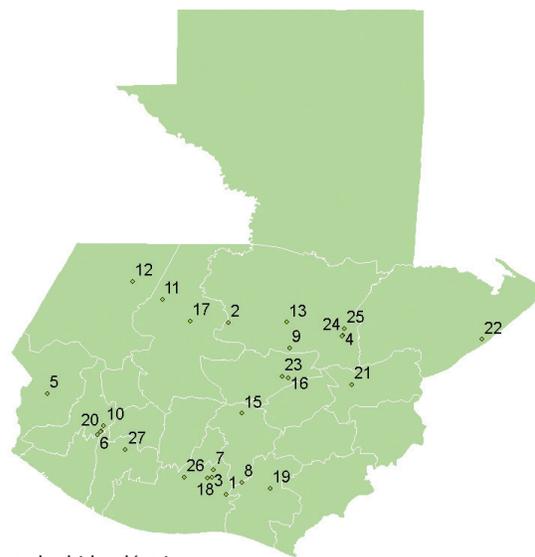
1	Geotérmica Zunil	5	La Libertad	9	Escuintla Gas 5	13	Poliwatt	17	SIDEGUA	21	GEGSA
2	Geotérmica Ortitlán	6	Arizona Vapor	10	Laguna Gas 1	14	Puerto Quetzal Power	18	Ind. Textiles del Lago	22	COENESA
3	San José	7	Tampa	11	Laguna Gas 2	15	Las Palmas	19	Generadora Progreso	23	Las Palmas
4	DARSA	8	Stewart & Stevenson	12	Arizona	16	GENOR	20	Electro Generación	24	Jaguar

Centrales hidroeléctricas

1	Aguacatán	5	El Porvenir	9	Santa Teresa	13	Renace	17	Palo Viejo	21	Pasabien	25	Choloma
2	Chixoy	6	El Recreo	10	Santa María	14	El Canadá	18	El Salto	22	Río Bobos	26	El Capulín
3	Jurún Marinalá	7	Palín II	11	Xacbal	15	Las Vacas	19	Los Esclavos	23	Matanzas	27	Panamá
4	Chichaic	8	Verde	12	Canbalam I	16	San Isidro	20	Monte Cristo	24	Secacao		



Centrales térmicas



Centrales hidroeléctricas

73 Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Universidad Rafael Landívar. Sitio web: www.incytde.org.

La operación de las centrales generadoras es coordinada por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y ejecutada por los generadores. La energía eléctrica producida en la central de generación es trasladada a las líneas de transporte (líneas de transmisión y subestaciones de potencia), y posteriormente al sistema de distribución (líneas y subestaciones de distribución), para ser finalmente utilizada por la población en industrias, comercios, hogares, etc.

Transporte (transmisión)

Previo a su entrada a las líneas de transmisión⁷⁴, el voltaje generado (13.8 kV) se transforma a los siguientes voltajes nominales: 69 kV⁷⁵, 138 kV y 230 kV. Un aumento en el voltaje generado, permite a la electricidad viajar grandes distancias de manera más eficiente⁷⁶.

Los elementos básicos del transporte son:

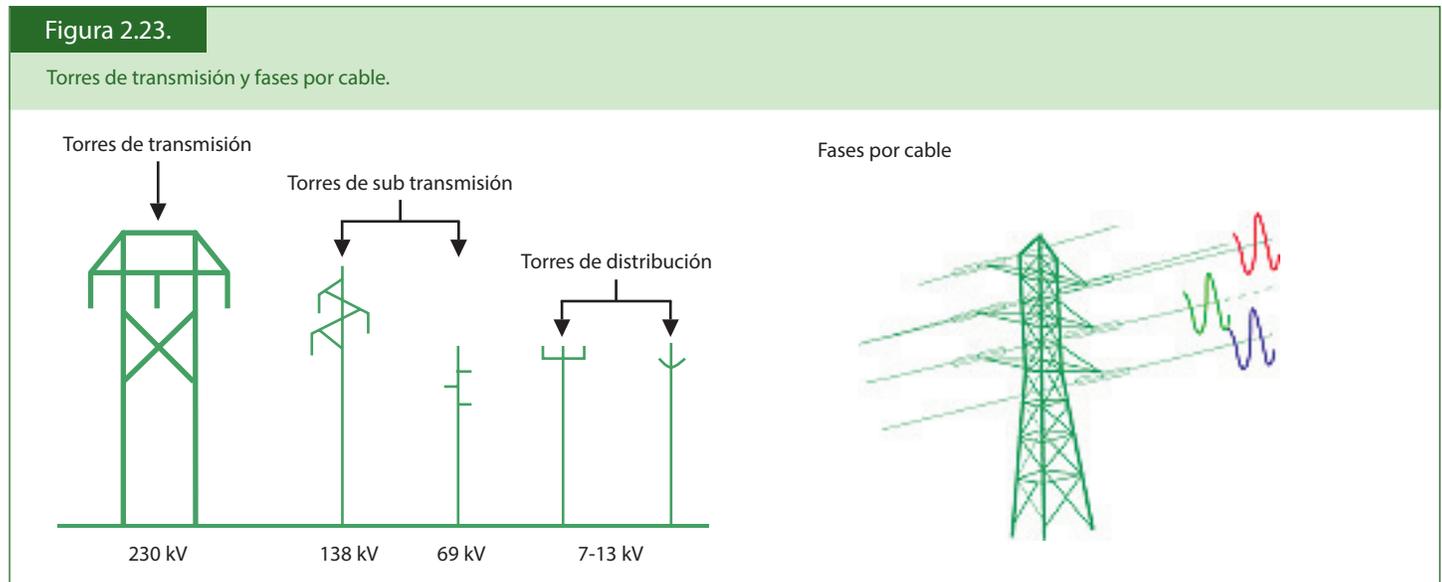
- Líneas de transmisión de alto voltaje (cada una de 69 kV, 138 kV y 230 kV respectivamente).
- Subestaciones y transformadores.
- Sistema de protección, control y monitoreo en SCADA⁷⁷.

Es de notar que el término “transporte” o “transmisión de la electricidad” se aplica al tramo de conexión de la planta generadora hasta las subestaciones, próximas a los destinatarios finales, y ocurre, como se ha mencionado, a voltajes mayores a 69 kV.

Las subestaciones de esta parte de la red –transporte– están conectadas con subestaciones de distribución.

Según el Plan de Expansión de Transporte (PET), para el año 2013, la longitud de las líneas⁷⁸ de 230 kV se habrán incrementado en 845 km. Estos 845 km de nuevas líneas de transmisión tienen forma de anillos concéntricos. Dicha disposición geométrica⁷⁹ –a modo de complemento a la red actual– permite una operación más eficiente ante eventuales fallas en distintos puntos de la red.

El SNI forma parte del SIEPAC⁸⁰. Es decir, la red eléctrica de Guatemala está conectada con el resto de Centroamérica por medio de una línea de 230 kV (ver figura 2.24.), y con México por otra de 400 kV⁸¹. La interconexión eléctrica entre países tiene la ventaja de permitir la compra y venta de electricidad en la región.

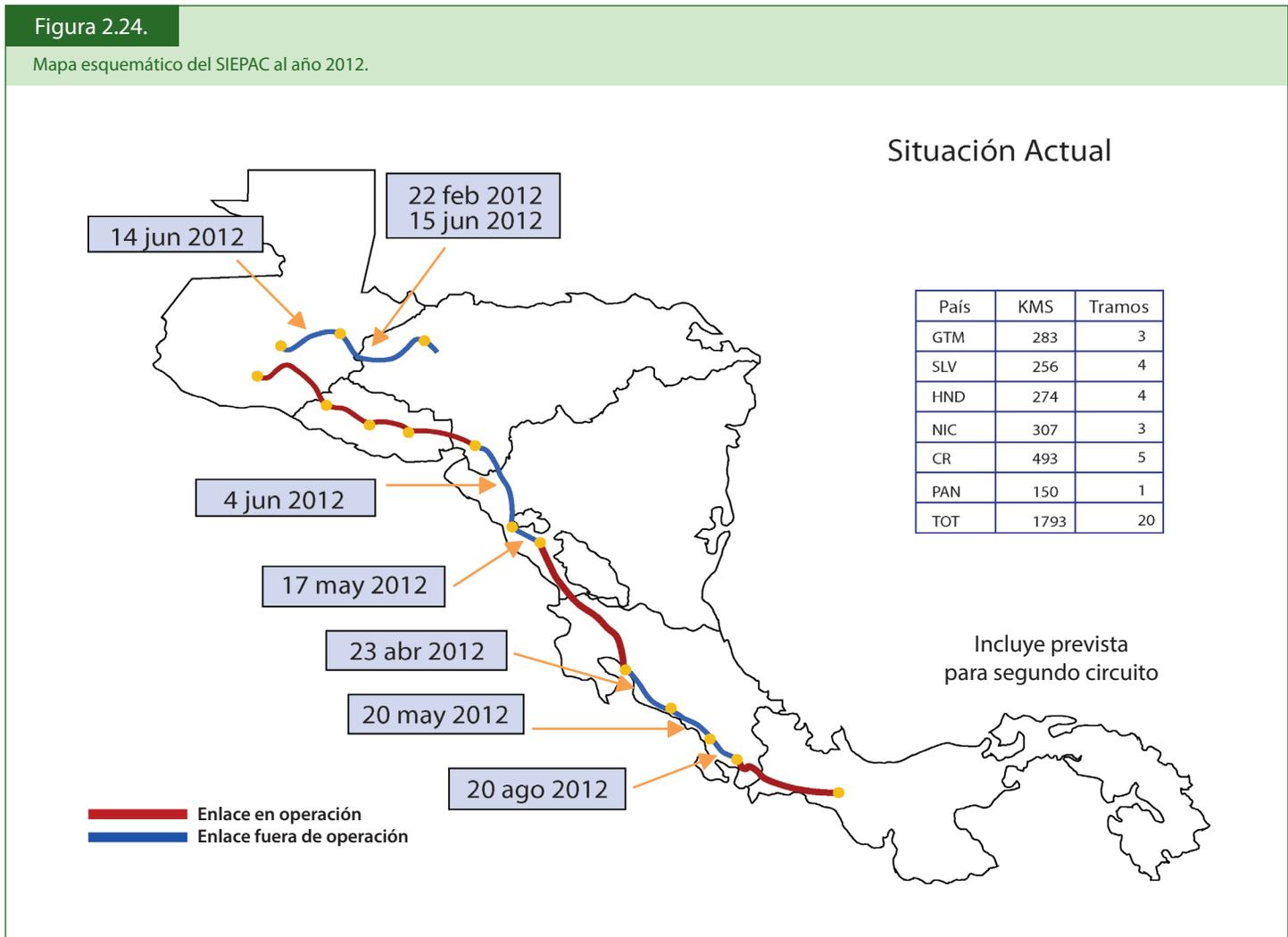


74 En la sección “Distribución” se aborda el tema de los transformadores, dispositivos electromagnéticos básicos en una red eléctrica.
 75 En muchos casos, a las líneas de 69 kV se les llama de subtransmisión.
 76 Un voltaje grande implica una corriente pequeña para la misma cantidad de energía y viceversa. Una corriente pequeña significa menores pérdidas por disipación de energía. No está por demás enfatizar que se transmite energía eléctrica: el voltaje y la corriente son parámetros que se derivan de ella.
 77 Acrónimo en inglés de Supervisory Control and Data Acquisition. Entonces, SCADA es un protocolo de monitoreo de la transmisión de la electricidad.

78 Obra adjudicada a la empresa TRECESA (Transportadora de Energía de Centroamérica, Sociedad Anónima), de capital colombiano.
 79 La forma resultante podría compararse a una telaraña. Si la telaraña no cuenta con los anillos, su geometría es entonces, radial. En una red radial, cualquier daño en una línea perjudica a todos los elementos conectados a la misma. En una red tipo telaraña, en cambio, un daño en una línea perjudica únicamente a los elementos en la vecindad.
 80 Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central.
 81 Notar que es la línea de transmisión de mayor voltaje en Guatemala. En países más grandes como Estados Unidos, existen líneas de transmisión de hasta 800 kV.

Figura 2.24.

Mapa esquemático del SIEPAC al año 2012.



Agentes del mercado mayorista: transportistas

Los transportistas del mercado mayorista deben tener una capacidad de transporte mínima de 10 MW. En Guatemala existen cuatro empresas⁸² que prestan sus servicios como transportistas de energía eléctrica. Estas cuatro empresas de transporte poseen

líneas a distintos voltajes (69, 138 y 230 kilovoltios), con diferentes longitudes. Las figuras 2.25, 2.26 y 2.27 indican cómo se encuentran repartidas las líneas de transporte entre las empresas, en qué voltajes operan y cuáles son sus longitudes.

Figura 2.25.

Porcentaje de líneas de transmisión de transportistas locales. SNI Guatemala, 2011.
Fuente: elaboración propia con base en la CNEE, 2011.

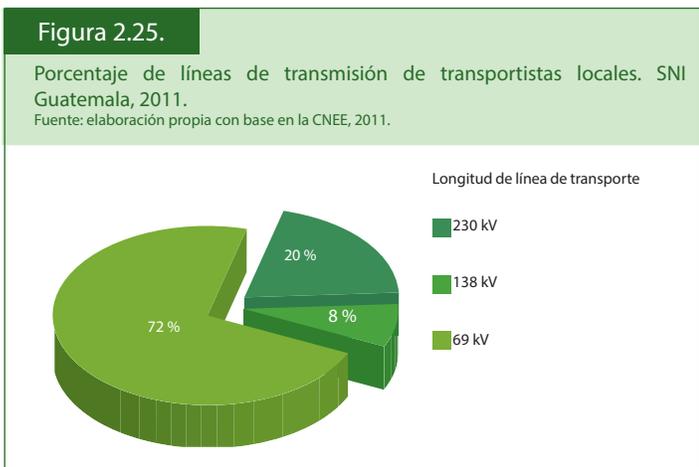
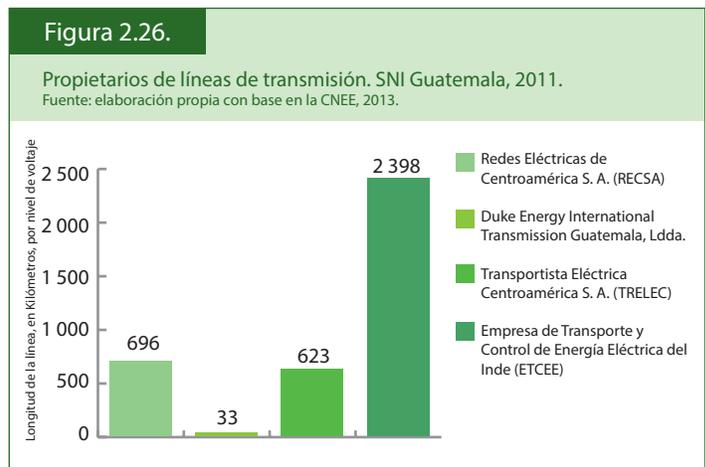


Figura 2.26.

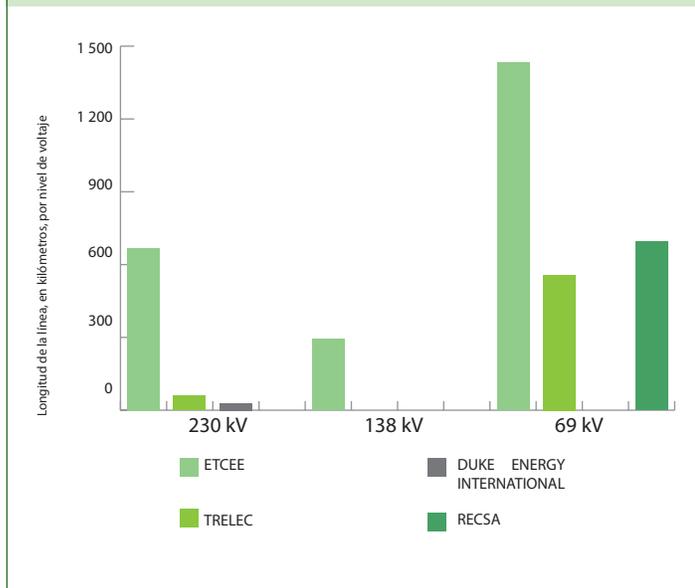
Propietarios de líneas de transmisión. SNI Guatemala, 2011.
Fuente: elaboración propia con base en la CNEE, 2013.



82 Los nombres y datos de dichas empresas aparecen en el Apéndice E.

Figura 2.27.

Longitud de la línea por nivel de voltaje, por empresa propietaria.
SNI Guatemala, 2011.
Fuente: elaboración propia con base en la CNEE.



Distribución

Previo a su entrada a las subestaciones de distribución⁸³, el voltaje generado se reduce a 69 kV o menos.

Los elementos básicos de distribución son:

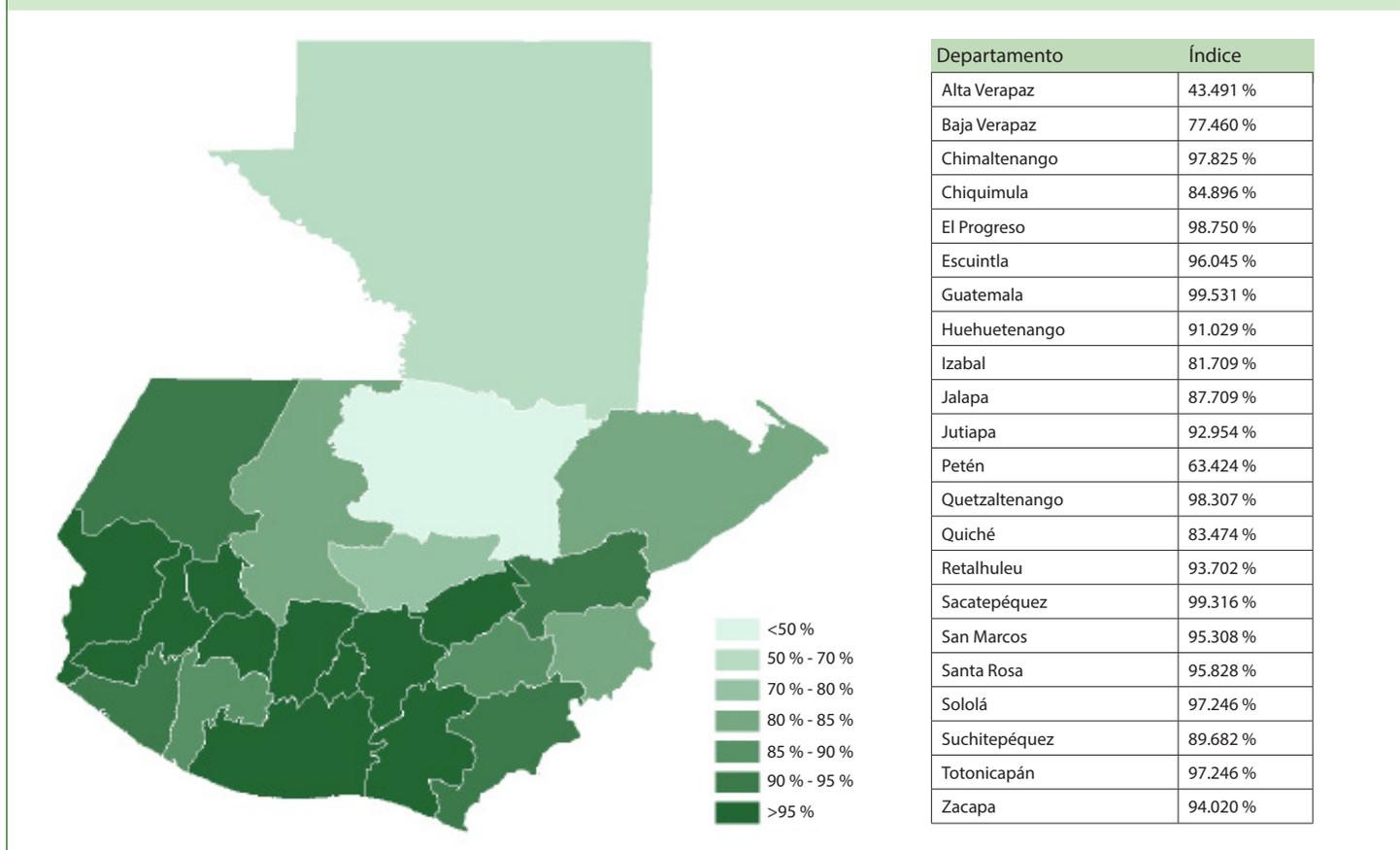
- Líneas de 13.8 kV y 7.6 kV.
- Subestaciones que elevan o reducen el voltaje.

La salida de electricidad de las subestaciones ocurre a voltaje de 7.6 kV por fase⁸⁴ y 13.8 kV entre fases. Esto demuestra una distribución trifásica en las ciudades. La siguiente tabla muestra los índices de cobertura eléctrica al año 2010.

Debe mencionarse que las líneas de distribución de electricidad trifásica forman la columna vertebral de la red. Por ejemplo, un edificio puede presentar cargas que requieran electricidad trifásica y cargas que utilicen monofásicas de 120 V. Los dos tipos de requerimientos son satisfechos por un sistema de distribución de electricidad trifásico, que se obtiene al conectar las monofásicas de tal manera que el voltaje de alimentación pueda transformarse según las especificaciones de los equipos eléctricos.

Tabla 2.4.

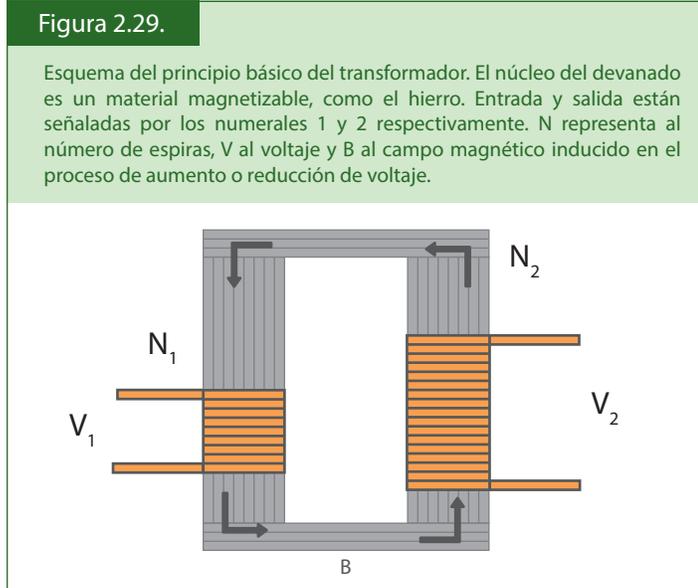
Índices de cobertura eléctrica para el 2013 por departamento [68].
Fuente: CNEE.



83 Por lo regular, a la entrada de ciudades o grandes zonas de consumo.
84 Recordar que la energía eléctrica se transmite en sistemas de tres fases.

Transformadores de distribución

Son los dispositivos que cambian el voltaje de las líneas de distribución a los voltajes 120/240 V, utilizados comúnmente en residencias y comercios. Puesto que la electricidad viaja en tres fases (una por cable de transmisión), en general se utilizan tres transformadores (monofásicos) conectados de tal manera que los voltajes reducidos resultantes pueden seguir siendo de tipo trifásico, o bien, únicamente monofásico, según las necesidades del consumidor.



Conversión de voltaje

El aumento de voltaje se requiere para que la electricidad se pueda transmitir a grandes distancias. La reducción del voltaje permite el uso de la electricidad en aplicaciones domésticas o industriales. En principio⁸⁵: al aplicarse un voltaje entrante al

85 Este es un caso de inducción electromagnética, en el que un voltaje cambiante induce una corriente en el devanado primario. La corriente induce un campo magnético y este a su vez, induce un nuevo voltaje en el devanado de salida o secundario.

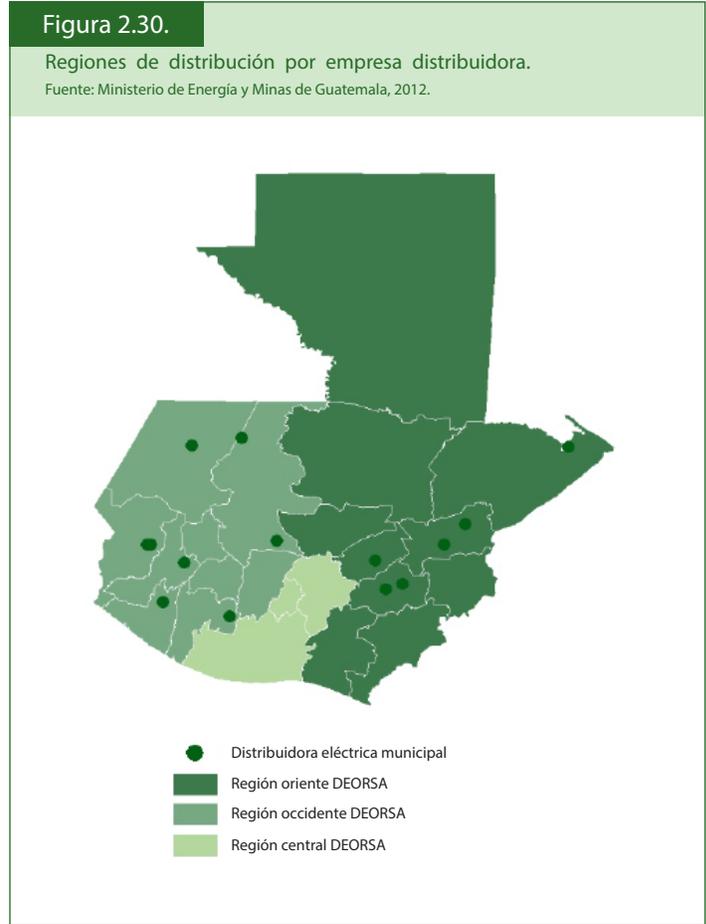
transformador, este aumentará o disminuirá (voltaje de salida) según la relación entre el número de vueltas del cable en la entrada y la salida del dispositivo (ver figura 2.29.). El núcleo del devanado es un material magnetizable, como el hierro. Si el número de espiras en la salida es mayor que el de la entrada, habrá un aumento de voltaje. En el caso opuesto se obtiene una reducción.

Agentes del mercado mayorista: distribuidores

Los distribuidores son los encargados de suministrar la energía eléctrica a los usuarios finales, trasladándola desde la subestación de distribución (aquella en la cual se reducen los niveles de tensión de las líneas de transmisión de alta tensión, a niveles de media y baja tensión) hasta el punto de consumo.

El sistema de distribución se encuentra integrado por las líneas de distribución, las subestaciones y las redes de distribución que, en Guatemala, operan en tensiones menores a 34.5 kV. Los distribuidores del mercado mayorista deben distribuir a un mínimo de 15 000 usuarios (el límite es revisado periódicamente y puede ser modificado por el MEM).

Las regiones del país cubiertas por cada empresa distribuidora, incluidas las quince empresas municipales operantes durante 2011 se muestran en la figura 2.30, donde pueden verse claramente los traslapes entre regiones de distribución.



La tabla 2.5. proporciona un detalle de las distribuidoras operantes en las diferentes regiones y departamentos de Guatemala. Como puede apreciarse, DEORSA cubre la mayor parte del país en cuanto a territorio, sin embargo se encuentra también en algunas de las áreas con menos cobertura eléctrica, como el departamento de Petén.

A diferencia de las líneas de transporte –en su mayoría propiedad de una empresa pública nacional–, las líneas de distribución pertenecen en su mayoría a una empresa privada. Las de dominio público son únicamente las que prestan servicio a los departamentos del área surcentral.

Tabla 2.5.

Regiones en las que prestan servicio las diferentes distribuidoras operantes en el país (año 2011).
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Empresa distribuidora	Región
Distribuidora de Electricidad de Occidente (DEOCSA)	Área Central (Guatemala, Escuintla, Sacatepéquez)
Distribuidora de Electricidad de Oriente (DEORSA)	Área Norte - Sur - Oriente
Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. (EEGSA)	Área Norte- Sur -Occidente
Empresa Eléctrica Municipal de Gualán	Zacapa
Empresa Eléctrica Municipal de Guastatoya	El Progreso
Empresa Rural de Electricidad de Ixcán	Quiché
Empresa Eléctrica Municipal de Jalapa	Jalapa
Empresa Eléctrica Municipal de Joyabaj	Quiché
Empresa Eléctrica de Patulul	Suchitepéquez
Empresa Eléctrica Municipal de Puerto Barrios	Izabal
Empresa Eléctrica Municipal de Retalhuleu	Retalhuleu
Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango	Quetzaltenango
Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos	San Marcos
Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Pinula	Jalapa
Empresa Eléctrica Municipal de San Pedro Sacatepéquez	San Marcos
Empresa Eléctrica Municipal de Santa Eulalia	Huehuetenango
Empresa Eléctrica Municipal de Zacapa	Zacapa

Consumo

Grandes usuarios

Los grandes usuarios se conectan a la red en 69 kV a través de subestaciones propias y transforman a los voltajes que ellos necesitan, eso para evitar los costos de distribución y reducir el precio de kWh.

Residencias

Están alimentadas por el voltaje de la red: 13.8 kV, transmitido por los cables de los postes en las calles; también es utilizado por el alumbrado público.

El usuario final domiciliario recibirá 120/240 V monofásicos a través de transformadores reductores.

A modo de síntesis, obsérvese la figura 2.31, que representa a la red nacional de distribución de electricidad, llamado Sistema Nacional Interconectado, para el año 2011. Dicha red, como se ha mencionado, la constituyen en términos generales los elementos de generación, transmisión, distribución y consumo de esta forma de energía.

Usuario regulado

Los usuarios regulados se definen por la demanda de potencia menor a 100 kW. La clasificación correspondiente se aprecia en la tabla 2.6., publicada por la CNEE.

El costo de la energía eléctrica para el usuario regulado depende de la categoría en la que se encuentra, y es fijado trimestralmente por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Tarifa social

Es una tarifa especial con carácter social, aplicada al suministro de energía eléctrica dirigida a usuarios regulados conectados en baja tensión, sin cargo por demanda. Se reconoce como usuario de tarifa social a todo usuario que consuma la cantidad igual o inferior a 300 kWh en un período de facturación mensual, o que tenga un consumo promedio diario de hasta 10 kWh (LGE).

Figura 2.32.b.

Tipos de mercado eléctrico existentes en Guatemala.
Fuente: elaboración propia con base en la CNEE.

Categoría	Descripción	Demanda de potencia del usuario	Tipo de tarifa aplicada
A	Usuarios en baja tensión (BT)	Menor a 11 kW	<ul style="list-style-type: none"> · Baja tensión simple (BTS). · Baja tensión simple social (BTSS). Esta es en la que se encuentra el usuario promedio.
B	Usuarios en baja tensión o en media tensión (BT o MT)	Entre 11 kW y 100 kW	<ul style="list-style-type: none"> · Baja tensión con demanda en punta (BTDP), baja tensión con demanda fuera de punta (BTDFP), baja tensión horaria (BTH). · Media tensión con demanda en punta (MTDP), media tensión con demanda fuera de punta (MTDFP). · Media tensión horaria (MTH).
C	Usuarios en baja tensión o media tensión (BT o MT)	Mayor a 100 kW, grandes usuarios	Condiciones pactadas individualmente entre el usuario y la distribuidora o la comercializadora. Solo se define un pago máximo por el uso de la red de transporte llamado peaje en función del transportista.

Aquellos usuarios que pasen de 300 kWh, pero se encuentren conectados en baja tensión, se encuentran dentro de la tarifa no social. Para el usuario promedio –consumidor de energía

eléctrica a nivel domiciliario– que se encuentra en la categoría A, los costos de la energía eléctrica para el primer trimestre del año 2013 y los ajustes a la tarifa social se describen en la tabla 2.6.

Tabla 2.6.

Tarifas de distribución de energía eléctrica, EEGSA y Energuate, 2013.
Fuente: CNEE.

Distribuidora	Tarifa social (GTQ)	Tarifa no social (GTQ)	Consumo mensual de energía eléctrica	Ajuste a la tarifa social	% de la población dentro de esta tarifa
EEGSA	1.89	1.83	0-50 kWh/mes	0.50 GTQ/kWh	42 %
DEOCSA	2.03	1.81	51-100 kWh/mes	0.75 GTQ/kWh	27 %
DEORSA	1.93	1.97	Por los primeros 100 kWh de consumo para usuarios entre 101-300 kWh/mes	1.55 GTQ/kWh (1.75 GTQ/kWh para EEGSA)	25 %

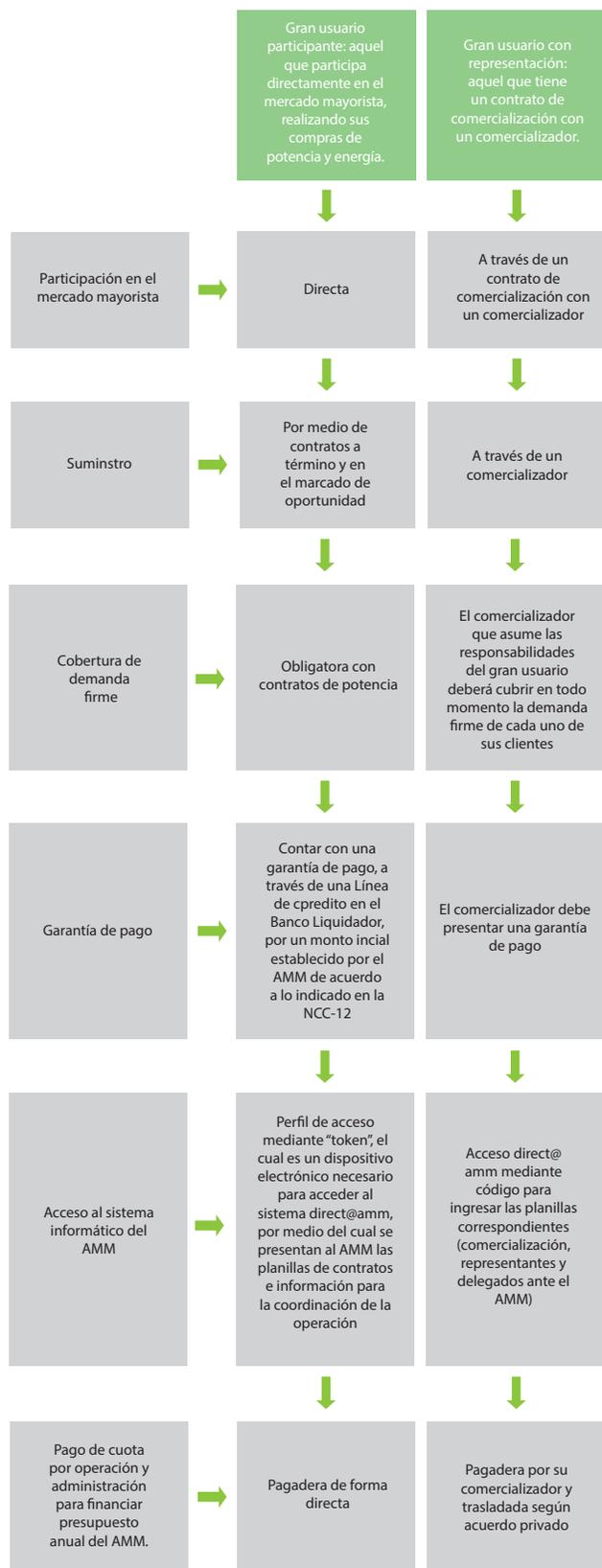
Los usuarios de la categoría B, descrita en la figura 2.32.b., pueden elegir su propia tarifa dentro de las opciones proporcionadas por la CNEE en los pliegos tarifarios. En el caso de que el usuario no pueda determinar la tarifa adecuada a su tipo de consumo, la distribuidora aplica la tarifa que represente el mayor beneficio para el usuario, en función de sus características de consumo.

La tarifa social se sostiene por los recursos financieros obtenidos de la comercialización de la energía eléctrica de las plantas del Inde.

Figura 2.33.

Tipos de usuarios contemplados en la LGE.

Fuente: elaboración propia con base en la CNEE.



Tarifas horarias: baja o media tensión horarias (BTH ó MTH)

Son aquellas cuyo medidor permite discriminar el consumo por horas. Tienen precios diferenciados de energía en función de la banda horaria en la que se consuma.

Las bandas horarias, períodos de máxima, media y mínima demanda de energía, se encuentran definidas en el artículo 87 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista y se encuentran sujetas a modificación por parte de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

Usuario no regulado o gran usuario

Usuarios con demanda de potencia superior a 100 kW y que se encuentran registrados ante la CNEE y el MEM. Los grandes usuarios⁸⁶ no se encuentran sujetos a regulación de precio, forman parte del llamado mercado libre, y las condiciones de suministro bajo las que operan se encuentran libremente pactadas con el distribuidor o con cualquier otro suministrador de energía eléctrica. La normativa para operar como gran usuario está dada en la LGE.

Existen dos esquemas bajo los que un gran usuario puede interactuar con el mercado mayorista, estos dos esquemas están esbozados en la figura 2.33.

Agentes del mercado mayorista: comercializadores

Entre los comercializadores⁸⁷ se incluye a los importadores y exportadores que compran o vendan bloques de energía, asociados a una oferta firme eficiente o demanda firme de por lo menos 2 MW.

- Oferta firme eficiente: es la cantidad de energía que una central generadora puede comprometer en contratos para cubrir la demanda firme. Se calcula en función de su potencia máxima, su disponibilidad y su eficiencia.
- Demanda firme: es la demanda de potencia calculada por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), coincidente con la demanda máxima anual proyectada para el Sistema Nacional Interconectado.

Estas empresas no requieren de infraestructura o instalaciones relacionadas al proceso de generación y transporte de electricidad, pues hacen únicamente el papel de intermediario entre aquellos que venden la energía y aquellos que la compran en grandes cantidades.

Nótese que los comercializadores pueden actuar como intermediarios entre generadores e importadores de energía eléctrica y grandes usuarios.

86 El listado de grandes usuarios para el 2011 aparece en el Apéndice E

87 El listado de comercializadores para el 2011 aparece en el Apéndice E.

2.5. LA FACTURA ELÉCTRICA

La factura eléctrica puede ser emitida por tres empresas: EEGSA, DEOCSA y DEORSA. Para el usuario promedio, es decir, para el usuario en baja tensión simple y baja tensión simple social los cobros se encuentran distribuidos como sigue:

Generación y transporte

- Cobro por cantidad de energía eléctrica consumida, de acuerdo a la tarifa correspondiente (social o no social, indicada en la tabla 2.9). El costo del kWh por la cantidad de kWh consumidos.
- Ajuste a la tarifa social (en función de los rangos mostrados en la tabla 2.9.), que va restado del cobro por la cantidad de energía eléctrica consumida.
- Valor agregado de distribución (VAD), que representa una cuota fija independiente de la empresa que presta el servicio.

Distribución

Cargo fijo por cliente, en función de la empresa que presta el servicio.

Además, se incluyen los siguientes cobros a la factura eléctrica:

- Tasa municipal (en función de la municipalidad que preste el servicio).
- Impuesto al Valor Agregado (IVA: 12 %).
- Penalizaciones por incumplimiento de las normas técnicas del servicio de distribución (NTSD) (si las hay).
- Bajo factor de potencia (aplicable únicamente a la industria y no al sector domiciliario).
- Exceso de demanda contratada (aplicable casi exclusivamente a la industria, aunque se aplique en algunos casos al sector domiciliario).
- Mora (1.1 % mensual).

El total de la factura eléctrica es la suma de todos los cargos arriba mencionados.



3.

**MARCO REGULATORIO DEL
SUBSECTOR ELÉCTRICO
EN GUATEMALA**

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Como se ha explicado en las secciones anteriores, en Guatemala el sector eléctrico es regulado por la Ley General de Electricidad (LGE). Dicha ley está contenida en el Decreto 93-96 del Congreso de la República y fue publicada en el *Diario de Centro América* (diario oficial) el 21 de noviembre de 1996 [66].

La mencionada ley tiene como sustento los artículos 129 y 130 de la Constitución. El primer artículo señala que la electrificación del país es un asunto de urgencia nacional. El segundo establece la prohibición de monopolios y resulta fundamental para la arquitectura e implementación de la LGE.

La LGE pretende regular, fortalecer e incentivar la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica al facilitar la liberalización, en término económico, del sector eléctrico. Por lo tanto, organiza el mercado eléctrico según principios de competencia y constituye libertades con garantías.

Las libertades plasmadas en la ley son cuatro:

- Libertad de ingreso al mercado. Incluye la libertad de generación, libertad de transporte y libertad de distribución privada.
- Libertad de acceso a las redes de transporte y distribución.
- Libertad de contratación y establecimiento competitivo de precios.
- Libertad de inversión en relación al subsector eléctrico.

Las garantías del mercado eléctrico también son cuatro:

- Garantía de separación de actividades.
- Garantía de separación institucional.
- Garantía en el suministro y crecimiento de la red.
- Garantía de abastecimiento.

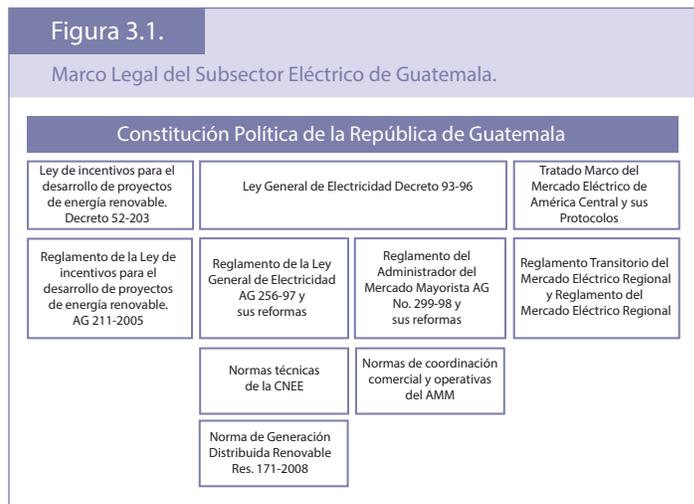
Además de la liberalización del mercado, la LGE busca en el mediano y largo plazo, independencia de la variación de los precios del petróleo crudo en el mercado internacional. Esto es posible si se ofrecen incentivos a la inversión, especialmente en lo referente a fuentes renovables de energía.

La vigente LGE contempla el funcionamiento de las siguientes instituciones sectoriales:

Comisión Nacional de Energía-CNEE: ente regulador [67].
 Administración del Mercado Mayorista-AMM: ente operador [68].

Ambas instituciones tienen injerencia en el ajuste de tarifas en las transacciones de energía. La Ley de la Tarifa Social, creada el 2 de enero de 2001, por medio del Decreto 96-2000, que tiene como objetivo favorecer al usuario regulado cuyo consumo no supere los 300 kWh, es administrada por la CNEE.

Existen más de treinta documentos legales relativos a la LGE, por tanto, la comprensión absoluta de la legislación aplicable al tema del sector eléctrico puede llegar a ser motivo de profesionalización. Cada área tecnológica inherente al sector eléctrico: generación, distribución y comercialización, posee reglamentos específicos para su gestión y operación. Así pues, a continuación se presenta una síntesis general del marco regulatorio.



3.2. HISTORIA

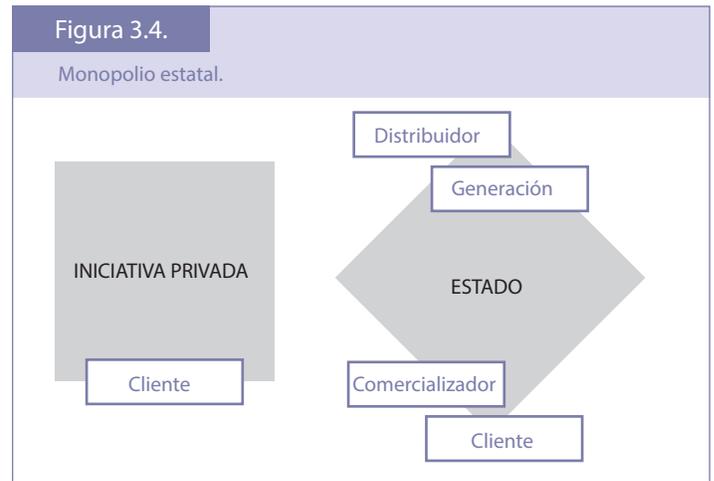
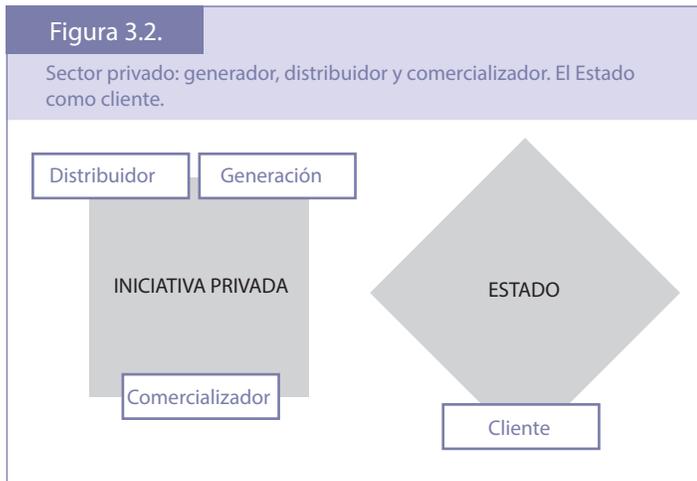
Durante el desarrollo histórico del sector eléctrico han existido diversos modelos de participación estatal. Existen cuatro períodos identificables durante este desarrollo [69]:

1. Período de mandato privado o inicial.
2. Período de mandato mixto.
3. Período de mandato predominantemente estatal.
4. Período de liberalización.

Los aspectos destacables de cada período son:

Período de mandato privado o inicial (1870 a 1945)

Las iniciativas privadas son las responsables del desarrollo de las primeras centrales generadoras en el país. Corre el año de 1870. Las tarifas de venta de energía son fijadas por los propietarios de las centrales generadoras. Para 1894 se constituye la Empresa Eléctrica de Guatemala que proporcionaba energía para el alumbrado público en los municipios: Guatemala capital, Antigua Guatemala, Palín, Amatitlán y Escuintla. Los señores Enrique Neutze y J. M. Cofiño son los empresarios de mayor accionar en este período. El Estado interviene de manera contractual, pero sin acceder a fijación de tarifas.



Período de mandato mixto (1945 a 1960)

En 1945 se crea el Departamento de Electrificación de la Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Fomento. Este departamento impulsa proyectos de hidroeléctricas públicas, siendo la más emblemática Jurún Marinalá, que se mantiene activa hasta la actualidad. En 1959 se crea el Instituto Nacional de Electrificación (Inde), que absorbe las hidroeléctricas estatales y compra centrales de generación públicas y privadas, iniciando un período de gestión estatal en el sector eléctrico.

Período de liberalización del mercado (1996-presente)

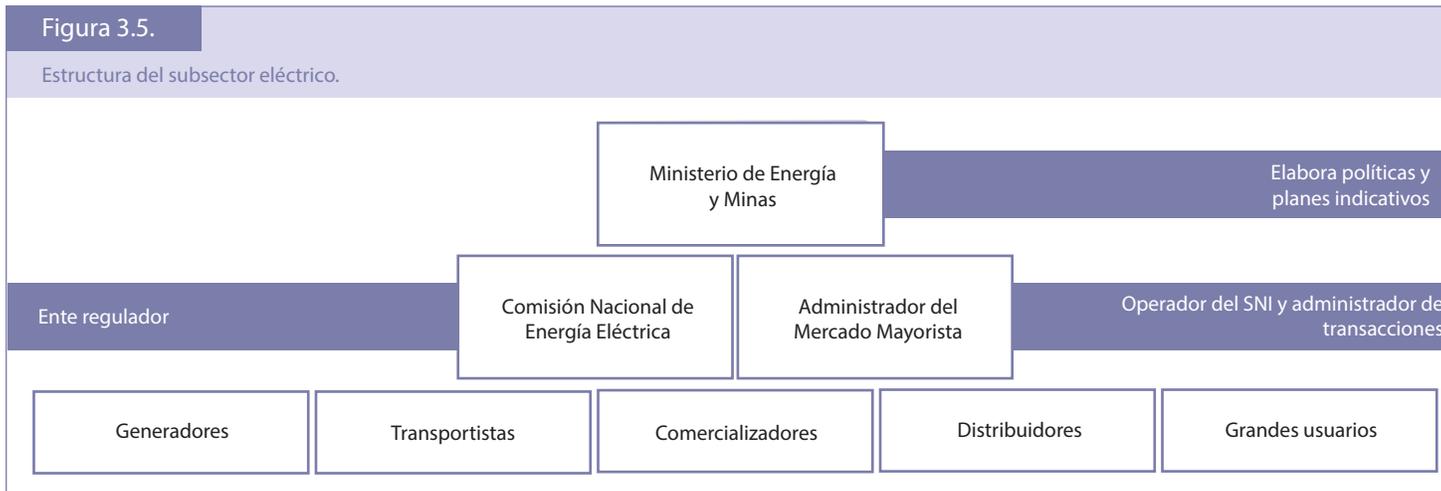
A mediados de los años 90 se realizan en Guatemala las privatizaciones de los sectores eléctrico y de telecomunicaciones. Se argumenta que las empresas estatales operan con déficit y que son incapaces de generar plusvalía al Estado. En 1996 se legisla a favor de un régimen privado y se crea la LGE y la Ley de Telecomunicaciones, que sustentan la creación de la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) y la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), como entes rectores de los sectores comunicación y energía, respectivamente. El desarrollo del marco legal básico para la operación del sector energético se lleva a cabo en aproximadamente veinte meses. El 16 de octubre del año 1996, el Congreso de la República aprobó la Ley General de Electricidad, Decreto 93-96, publicada en el diario oficial el 21 de noviembre de 1996. Posteriormente, el 21 de marzo de 1997 el presidente de la República emitió el Reglamento de la Ley General de Electricidad, Acuerdo Gubernativo 256-97, publicado en el diario oficial, el 2 de abril de 1997. Por último, el 25 de mayo de 1998, el presidente emitió el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, Acuerdo Gubernativo 299-98, el cual se publicó en el diario oficial el 1 de junio de 1998 [66].



Período de mandato predominantemente estatal (1960-1996)

El Inde es el organismo rector y autoregulador del sector eléctrico. El actor privado más importante en este período es la Empresa Eléctrica de Guatemala S. A., que fungió como empresa privada hasta 1972, año en que el Estado adquiere las acciones de la misma. En 1977 las acciones de la EEGSA pasan a ser administradas por el Ministerio de Economía y en 1983 son trasladadas al Inde. Entonces, tanto la generación como la distribución de energía estaban a cargo de entidades del Gobierno, Inde y EEGSA respectivamente.

Este marco legal y normativo pretende desmonopolizar el sector eléctrico, hasta entonces regido por el Inde. La política del Estado de Guatemala gira entonces hacia la ampliación de la participación privada en el sector de la energía eléctrica y limita la participación del Estado en subsidios para la inversión en electrificación rural.



3.3. MARCO LEGAL GUATEMALTECO RELACIONADO A LA LGE

El Código Civil de Guatemala, específicamente el artículo 442, Decreto Ley 106, tiene relación especial con la LGE, puesto que define “bien” como las cosas que son o pueden ser objeto de apropiación, además establece que pueden ser objeto de apropiación todas las cosas que no estén excluidas del comercio por su naturaleza.

El artículo 449 del código en mención también auxilia en la delimitación del “bien” que constituye la energía eléctrica. Así, es bien accesorio todo lo que está aplicado permanentemente a su fin económico y se halla en una relación que responde a ese fin. Entonces la energía eléctrica es también un bien accesorio.

El artículo 451 del mismo código define bienes muebles como: “1. Los bienes que puedan trasladarse de un lugar a otro, sin menoscabo de ellos mismos o del inmueble donde estén colocados [...] 3. Las fuerzas naturales susceptibles de apropiación”. Por lo que se infiere que la energía eléctrica es un bien mueble, puesto que puede “trasladarse” físicamente. El artículo 454 define “bien fungible” como el que puede ser sustituido por otro de la misma especie, calidad y cantidad; y no fungible como el que no puede ser remplazado por otro de las mismas cualidades.

Por tanto, el Código Civil cataloga la energía eléctrica como un bien: mueble, accesorio y fungible. Entonces debe ser considerado de esta manera en la legislación que le compete, es decir, la LGE [70].

3.4. LEY GENERAL DE ELECTRICIDAD

La LGE, contenida en el Decreto 93-96 del Congreso de la República y publicada en el diario oficial el 21 de noviembre de 1996, menciona en el artículo 1: “La presente ley norma el desarrollo del conjunto de actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad”.

Para lograr su cometido, la LGE organiza el mercado eléctrico según principios de competencia y constituye libertades con garantías, explícitas en diversos artículos de la misma.

Libertades

Las libertades establecidas son [71]:

Libertad en el ingreso al mercado (incluye la libertad de generación, transporte y de distribución privada)

Explícita en el artículo 1, literales a) a d). Busca disponer de un “mercado eléctrico” abierto y con la mayor cantidad de operadores de servicios. Esta libertad faculta a todo operador, existente o de nueva formación, para que goce del derecho de generar, transportar y distribuir la energía eléctrica.

- La libertad de generación establece que es libre la generación de electricidad y sin requerir autorización previa por parte del Estado.
- La libertad de transporte y distribución de energía eléctrica aplica cuando no se utilizan bienes de dominio público.

Libertad para el acceso a redes de transporte y distribución

Implica que cualquier operador del sector eléctrico pueda acceder a la infraestructura de transporte y distribución que le permita participar en el mercado. El artículo 4, literal f) de la LGE, establece que es la Comisión Nacional de Energía Eléctrica la encargada de garantizar esta libertad. El título IV, capítulo II

de la LGE, artículos del 64 al 70, establecen la obligatoriedad de permitir utilización de sistemas de transmisión y distribución a terceros actores. Se señala además el “peaje” por uso, fijado por la CNEE. En el documento Normas técnicas de acceso y uso de la capacidad de transporte, elaborado por la CNEE, se detallan los requisitos para solicitar acceso y transporte.

Libertad en la contratación y establecimiento competitivo de precios

El capítulo I del título IV de la LGE, artículos del 59 al 63, describe lo referente a regulación de precios. Se establece que existe libertad para comprar, vender, importar, exportar y extenderse en las áreas del sector eléctrico. Los operadores participantes del mercado mayorista gozan de libertad de ofertar contratos de compraventa de energía, fijando precios de mutuo acuerdo.

Libertad de inversión en el subsector eléctrico

Esta existe cuando las tres libertades anteriores son una realidad efectiva.

Garantías

Las garantías del mercado eléctrico son:

Garantía en la separación de actividades

Capítulo IV, artículo 7 de la LGE. Es la que garantiza la desmonopolización del sector eléctrico. Mediante esta garantía se busca que ningún actor realice simultáneamente actividades relacionadas a generación, transporte, distribución y comercialización de la energía eléctrica. El tercer considerando de la LGE dice:

Que al desmonopolizarse el sistema de generación de energía eléctrica, cumpliendo con el mandato constitucional contenido en el Artículo 130 de la Constitución Política de la República de Guatemala, es urgente descentralizar y desmonopolizar los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica para agilizar el crecimiento de la oferta y satisfacer las necesidades sociales y productivas de los habitantes de la República.

Garantía de separación institucional

Implica un marco legal claro para las entidades que rigen, regulan, administran y operan el mercado energético. Esquemáticamente tiene un paralelismo a la división de poderes del Estado, que en teoría política brinda equilibrio al mismo. Esta garantía se institucionaliza en el sector eléctrico mediante la existencia de tres sujetos: político, regulador (técnico) y operador.

Sujeto político

Capítulo I, artículo 3 de la LGE. Funge como sujeto político el Ministerio de Energía y Minas. El MEM regula, además de la actividad eléctrica, la política energética de hidrocarburos y de la actividad minera. Sus funciones específicas en el sector

eléctrico incluyen [72]:

- Ejercer las funciones normativas y de control en lo relacionado a energía eléctrica.
- Fomentar la utilización y el estudio de fuentes nuevas y renovables de energía.
- Opinar, dentro de su competencia, sobre políticas o proyectos de otras instituciones públicas que incidan en el desarrollo energético del país.
- Proponer y cumplir las normas ambientales relacionadas a energía.

El MEM también autoriza a empresas que utilicen bienes de dominio público para sus actividades en el sector eléctrico, inscribe a los grandes usuarios del AMM y elabora el plan de expansión del sistema de transporte.

Sujeto regulador (técnico)

La CNEE es el sujeto regulador caracterizado por la LGE. Inicia funciones el 28 de mayo de 1997, y tiene como objetivo velar porque existan las condiciones propicias y apegadas a la ley para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica puedan ser desarrolladas por cualquier operador del sector energético[66]. La CNEE emite normas técnicas, calcula y regula tarifas, y acciona con los operadores según requerimientos específicos o faltas tipificadas en la ley. El artículo 4 de la LGE y el reglamento del AMM puntualizan las atribuciones de la CNEE.

Sujeto operador

El sujeto operador para el sector eléctrico de Guatemala es el AMM, quien gestiona la operación de compra y venta de bloques de potencia y energía, entre los agentes del sistema. Las operaciones se clasifican en tres áreas distintas [66]:

- Física y tecnológica: garantizando seguridad y abastecimiento.
- Económica: regulando costos del sistema en generación, interconexión y transporte.
- Comercial: estableciendo precios de mercado en transferencias de potencia y energía.

Las funciones del AMM se detallan en el título III, capítulo I, artículo 44 de la LGE, y se amplían en el artículo 15 del Reglamento de Administradores del Mercado Mayorista.

Garantía en el suministro y crecimiento de red

Se explicita en los artículos 20 y 46 de la LGE, y hace obligatorio el suministro de energía eléctrica a todo el que lo requiera. El suministro obligatorio promueve un crecimiento de red, de transporte y distribución, de forma intrínseca a las solicitudes de servicio de energía, por parte de usuarios que lo requieran.

Garantía de abastecimiento

Dividida en dos aspectos: abastecimiento del sistema y abastecimiento a las distribuidoras para garantizar servicio a los usuarios. El artículo 53 de la LGE menciona que las distribuidoras y transportistas, adjudicatarios, tienen prohibido el desabastecer de servicio a los usuarios y para ello necesitan realizar contratos de proveeduría de energía con los generadores, con garantía de prestación del año en curso y del año siguiente. La CNEE supervisa esta operación.

El capítulo II, título III de la LGE regula lo relativo al servicio a usuarios. Esto implica una labor acuciosa de regulación de parte del AMM, según el artículo 44 de la ley.

3.5. EL MERCADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

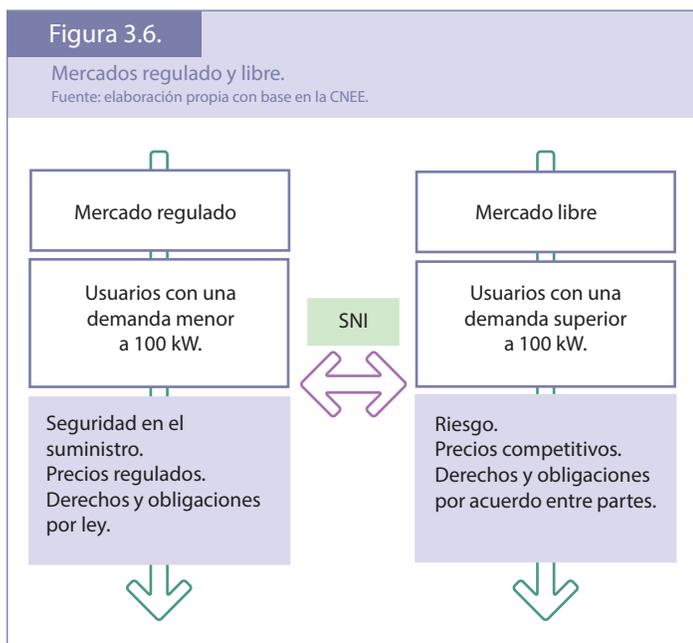
La Ley General de Electricidad y la Ley de Tarifa Social establecen dos tipos de mercado en el ámbito del sector eléctrico: el mercado libre, administrado por el AMM y el mercado regulado, gestionado desde la CNEE.

Mercado regulado

Cuyos sustentos legales son la LGE y el Decreto 96-2000, y la Ley de Tarifa Social. Se conforma por los siguientes actores:

Desde la demanda

Según la Ley de Tarifa Social, son usuarios “regulados” aquellos con una demanda de potencia menor a 100 kW [73].



Desde la oferta

Distribuidores autorizados con su respectiva zona de autorización y área obligatoria de servicio, definida en el artículo 20 de la LGE: “que no podrá ser inferior a una franja de doscientos (200) metros en torno a sus instalaciones”. Estos usuarios constituyen un mercado cautivo del distribuidor [66].

Mercado mayorista

Cuyos agentes son definidos según el Acuerdo Gubernativo 256-97, reformado con el Acuerdo Gubernativo 68-2007, artículo 39:

1. Generadores produciendo una potencia mayor a 5 MW.
2. Distribuidores con un mínimo de 15 000 usuarios.
3. Transportistas con capacidad de transporte mínima de 10 MW.
4. Comercializadores, incluyendo importadores y exportadores, que compren o vendan bloques de energía asociados a una oferta firme eficiente o demanda firme de por lo menos 2 MW.
5. Los grandes usuarios que tengan una demanda máxima de potencia que exceda 100 kW, podrán realizar transacciones en el mercado mayorista.

3.6. INCENTIVOS PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Entorno nacional

La Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, contenida en el Decreto 52-2003 [74], declara de “urgencia nacional” el desarrollo “racional” de proyectos que exploten fuentes renovables de energía en la producción de electricidad. En base a esta urgencia, la ley establece incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto. Estos incentivos implican [75]:

Exención del IVA

En importaciones de tecnología relacionada a la generación de electricidad desde fuentes renovables de energía. Define periodos de preinversión y de construcción, con una duración máxima de diez años.

Exención del Impuesto sobre la Renta

Por diez años, a partir de la fecha en que el proyecto inicia la operación comercial.

Existe un documento técnico publicado por la CNEE llamado “Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios

autoprodutores con excedentes de energía”. Más que un incentivo, el documento ofrece un marco regulatorio específico a los actores que deseen incursionar en la generación con fuentes renovables [76].

Entorno internacional

El REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), es una organización internacional establecida en 2005 e integrada por funcionarios públicos del área de energía de diversos países, así como por expertos en materia energética y por delegados de asociaciones que promueven la energía renovable. En su “Reporte global sobre el estado de las energías renovables”, edición 2012, brindan referencia y síntesis sobre el desarrollo de las energías “limpias” alrededor del mundo [14].

Se realiza una comparación entre los datos mostrados en el REN y los proporcionados por la CNEE; donde se infiere que Guatemala posee una matriz de generación de energía eléctrica con énfasis en lo renovable. La generación hidráulica y por biomasa permite ubicar a Guatemala, en relación con la Unión Europea, como un país generador con “perfil verde” [77].

En materia legal, Guatemala posee políticas regulatorias moderadas para impulsar las energías renovables. Los incentivos fiscales se limitan a exenciones de impuestos y créditos sobre inversión. La política de inversión pública en energías renovables aún está por desarrollarse (2012). En la tabla 3.1. se realiza una comparación del marco legal de Guatemala con otros países. [14]

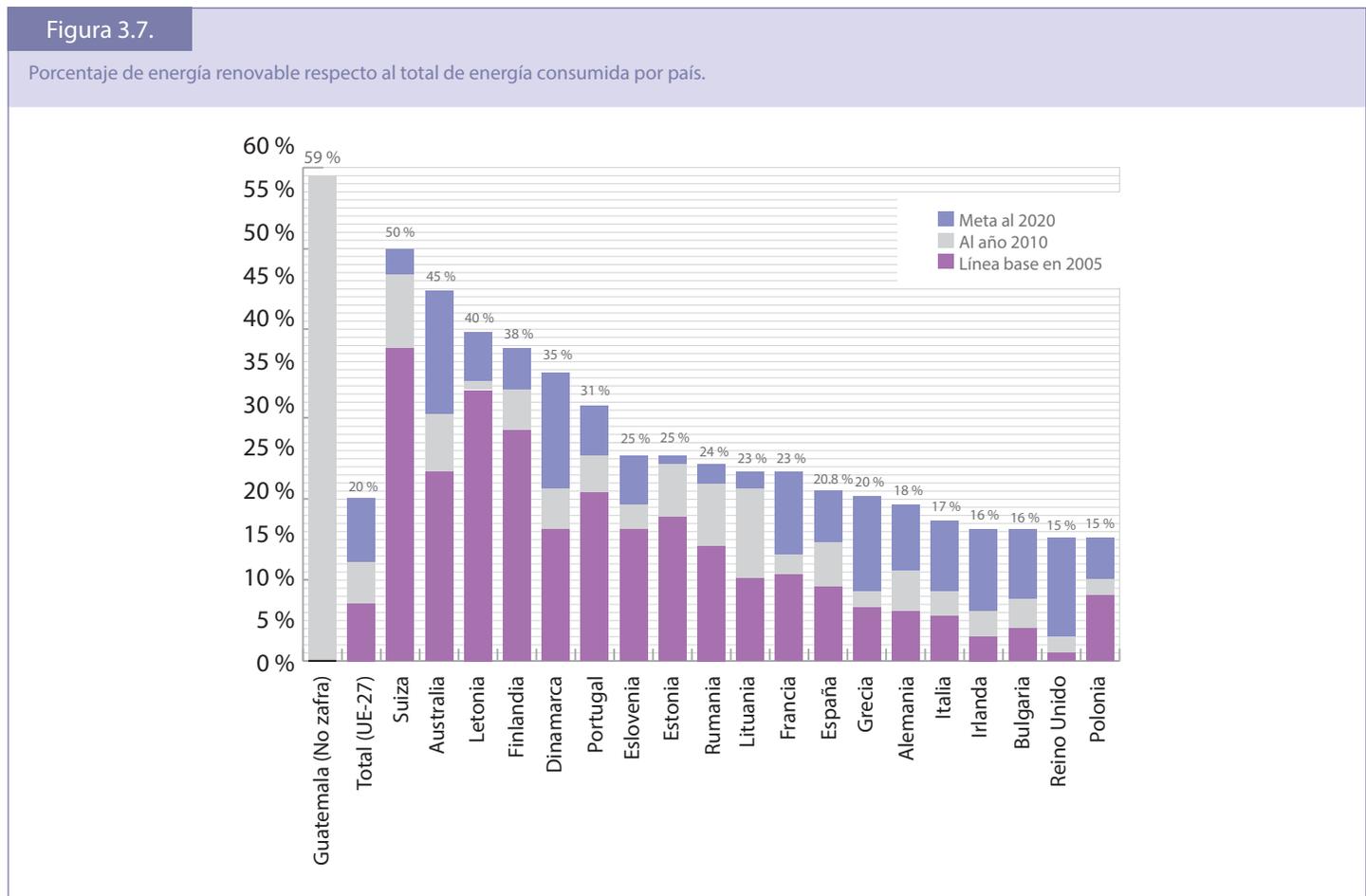


Tabla 3.1.

Incentivos para el desarrollo de energías renovables por país.

País	Ingreso (de acuerdo al PIB per cápita)	Políticas regulatorias						Incentivos fiscales				Financiamiento público	
		Tarifa preferencial para energías renovables (Feed in tariff)	Cuota mínima renovable según portafolio ad hoc (RPS)	Medición neta en generación distribuida	Cuota regulada de biocombustibles	Cuota regulada térmica	Certificados negociables	Subsidios capital o retornos de inversión	Créditos a inversores	Reducción de impuestos	Pago preferencial por producción	Inversión pública	Licitaciones públicas
Cánada	Alto	●	●	●	●			●	●	●		●	●
China	Medio	●	●		●	●		●			●	●	●
Estados Unidos	Alto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Guatemala	Bajo			●	●			●	●				●
Italia	Alto	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
India	Bajo	●	●		●	●	●	●	●			●	●
Uruguay	Medio	●		●	●	●		●		●		●	●



REFERENCIAS
BIBLIOGRAFÍA
APÉNDICES

REFERENCIAS

1. U. S. Department of Energy. (2010). *Energy literacy: essential principles and fundamental concepts for energy education*. Washington D. C. Recuperado en junio de 2012, de http://downloads.globalchange.gov/Literacy/Energy_Literacy_1.0_Low_Res.pdf
2. Delarue, E.; Meeus, L.; Azevedo, I.; Belmans, R.; D'haeseleer, W.; Glachant, J-M. (2011). *Decarbonizing the European Electric Power Sector by 2050: A tale guided by different studies*. Katholieke Universiteit Leuven. Recuperado en noviembre de 2013, de http://www.mech.kuleuven.be/en/tme/research/energy_environment/Pdf/WPEN2010-11
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007 (AR4)*. Recuperado en noviembre de 2013, de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#UtSDD9LuL_M
4. European Commission, Climate Action. (2011). *Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050*. Recuperado en enero de 2014, de http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/index_en.htm
5. U. S. Energy Information Administration (EIA). (2013). *Annual Energy Outlook 2013*. Recuperado en enero de 2014, de [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2013).pdf)
6. International Energy Agency (IEA). (2013). *Key World Energy Statistics*. Recuperado en enero de 2014, de http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013_FINAL_WEB.pdf
7. International Energy Agency (IEA) y Global EV Outlook. (2013). *Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*. Recuperado en julio de 2013, de http://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf
8. Plumer, B. (2013). Here's why 1.2 billion people still don't have access to electricity. *The Washington Post Blog*. Recuperado en octubre de 2013, de <http://www.washingtonpost.com/blogs/wonkblog/wp/2013/05/29/heres-why-1-2-billion-people-still-dont-have-access-to-electricity/>
9. Columbia University, School of International and Public Affairs (SIPA). (2010). *10 Million Solar Roofs Act of 2010*. Recuperado en julio de 2012, de http://mpaenvironment.ei.columbia.edu/news/documents/Solar_Team_finalreport.pdf
10. California Energy Commission & California Public Utilities Commission. (s/f). *California Solar Statistics*. Recuperado en enero de 2013, de <http://www.californiasolarstatistics.ca.gov/>
11. European Commission, Strategic Energy Technologies Information System (SETIS). (s/f). *European Industrial Initiative on solar energy; Concentrating solar power*. Recuperado en agosto de 2012, de <http://setis.ec.europa.eu/implementation/technology-roadmap/european-industrial-initiative-on-solar-energy-2013-concentrating-solar-power>
12. The Energy Collective. (2013). *Japan Solar Energy PV Industry Reaches 10 GW Milestone*. Recuperado en octubre de 2013, de <http://theenergycollective.com/joshhill/273976/japan-solar-pv-industry-reaches-10-gw-milestone>
13. Bissegger, M. (2013). The Future of Solar in Latin America. *Renewable Energy Blog*. Recuperado en agosto de 2013, de <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/05/the-future-of-solar-in-latin-america>
14. Ren 21 Steering Committee. (2013). *Renewables 2013 Global Status Report*. Recuperado en febrero de 2013, de http://www.ren21.net/portals/0/documents/resources/gsr/2013/gsr2013_lowres.pdf
15. International Renewable Energy Agency (IRENA). (s/f). *Doubling the Global Share of Renewable Energy A Roadmap to 2030*. Recuperado en julio de 2013, de <https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA%20REMAP%202030%20working%20paper.pdf>
16. Jacobson, M.; Delucchi, M. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part 1: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, 39(2011) 1 154-1 169.
17. U. S. Department of Energy. (s/f). *Wind Program*. Recuperado en noviembre de 2012, de <http://www.windpoweringamerica.gov/>
18. TP Wind Advisory Council. (2006). *Wind Energy: A vision for Europe in 2030*. Recuperado en mayo de 2012, de http://www.windplatform.eu/fileadmin/ewetp_docs/Structure/061003Vision_final.pdf
19. Hsu, J. (2013). Japan's Offshore Wind Power Rises with-in Sight of Fukushima Nuclear Plant. *Scientific American*. Recuperado en diciembre de 2013, de <http://www.>

- scientificamerican.com/article/japans-offshore-wind-power-rises-within-sight-of-fukushima-nuclear-plant/
20. Windation. (2012). Growth of Wind Power in Latin America. *Windation*. Recuperado en febrero de 2013, de <http://windation.com/growth-of-wind-power-in-latin-america.htm>
 21. Armaroli, N. y Balzani, V. (2011). Towards an electricity-powered world. *Energy Environmental Sciences*, 4(2011), 3 193-3 222.
 22. Juusola, H. (2012). Water Conflicts in the Middle East. *The International Relations and Security Network*. Recuperado en mayo de 2013, de <http://www.isn.ethz.ch/Digital-Library/Articles/Special-Feature/Detail/?id=153761&contextid774=153761&contextid775=153757&tabid=1453348906>
 23. The World Commission on Dams. (2000). *Dams and development: a new framework for decision making*. Recuperado en mayo de 2012, de http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf
 24. Boyle, G. (2004). *Renewable Energy: Power for a sustainable future* (2da ed.). Oxford University Press.
 25. Wheeler, B. (2012). Hydro Powers Latin America. *Renewable Energy World*. Recuperado en abril de 2013, de <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/06/hydro-powers-latin-america>
 26. Oilgae. (s/f). *Oilgae*. Recuperado en abril de 2012 de <http://www.oilgae.com/>
 27. U. S. Department of Agriculture: Economic Research Service. (2012). *U. S. Bioenergy Statistics*. Recuperado en abril de 2012, de http://www.ers.usda.gov/data-products/us-bioenergy-statistics.aspx#.Uwfkp2J5P_N
 28. Congreso de los Estados Unidos de América. (2007). *Energy Independence and Security Act 2007*. Recuperado en mayo de 2012 de http://www1.eere.energy.gov/buildings/appliance_standards/commercial/pdfs/eisa_2007.pdf
 29. European Biofuels Technology Platform. *European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI) (2010)*. Recuperado en octubre 2013 en <http://www.biofuelstp.eu/eibi.html>
 30. European Biofuels: Technology Platform. (2013). *Mission of the European Biofuels Technology Platform*. Recuperado en diciembre de 2013, de <http://international.fnr.de/eu-projects/ebtp/>
 31. Barros, S. (2012). *Biofuels Annual Report 2012*. Recuperado en abril de 2013, de http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_8-21-2012.pdf
 32. California Energy Commission. (s/f). *California Energy Commission*. Recuperado en octubre de 2013, de <http://www.energy.ca.gov/>
 33. Armaroli, N. y Balzani, V. (2011). The legacy of fossil fuels. *Chemistry - An Asian Journal*, 6(3), 768-784.
 34. Jon Berkeley. (2013). The future of oil. Yesterday's fuel. *The Economist*. Recuperado en septiembre de 2013, de <http://www.economist.com/news/leaders/21582516-worlds-thirst-oil-could-be-nearing-peak-bad-news-producers-excellent>
 35. U. S. Energy Information Administration (EIA). (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. Recuperado en julio de 2013, de <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>
 36. Leifer, S.; Jackson, T. y Wyman, C. (2013). European Commission Poised to Address Shale Gas Development as Member States Adopt Range of Approaches. *International Environment Reporter*. Recuperado en enero de 2014, de [http://www.bakerbotts.com/files/Publication/9eb2990c-4247-411a-9894-391445490dcf/Presentation/PublicationAttachment/684b6b1d-59ec-4c98-9f89-4ce9b8aae2af/European%20Commission%20Poised%20to%20A~%20\(2\)%20pdf%20-%20Adobe%20Acrobat%20Professional.pdf](http://www.bakerbotts.com/files/Publication/9eb2990c-4247-411a-9894-391445490dcf/Presentation/PublicationAttachment/684b6b1d-59ec-4c98-9f89-4ce9b8aae2af/European%20Commission%20Poised%20to%20A~%20(2)%20pdf%20-%20Adobe%20Acrobat%20Professional.pdf)
 37. Tissot, R. (2012). Latin America's Energy Future. *Energy Policy Group*.
 38. Institute for Energy Research (IER). (2013). *Fossil Fuels 2013*. Recuperado en noviembre de 2013, de <http://www.instituteforenergyresearch.org/energy-overview/fossil-fuels/>
 39. European Commission. (s/f). *Renewable Energy: What do we want to achieve?* Recuperado en noviembre de 2013, de http://ec.europa.eu/energy/renewables/index_en.htm
 40. International Energy Agency (IEA). (2012). *World Energy Outlook 2012 - Renewable Energy Outlook*. Recuperado en mayo de 2013, de http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO2012_Renewables.pdf
 41. Deloitte. (2011). *Brazil's Energy Matrix and Prospects for Energy Integration with South America*. Recuperado

- ado en octubre de 2012, de <http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Brazil/Local%20Assets/Documents/Ind%C3%BAstrias/Petr%C3%B3leo%20e%20G%C3%A1s/Brazil's%20Energy%20Matrix.pdf>
42. U. S. Energy Information Administration. (s/f). Recuperado en enero de 2014, de <http://www.eia.gov/>
 43. U. S. Energy Information Administration. (s/f). Recuperado en enero de 2014, de <http://www.eia.gov/>
 44. Advanced Resources International, Inc. (s/f). *World Shale Gas and Shale Oil Resource Assessment*. Recuperado en noviembre 2013, de <http://www.adv-res.com/>
 45. U. S. Energy Information Administration. (2013). *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States*. Recuperado en julio de 2013, de <http://www.eia.gov/analysis/studies/world-shalegas/>
 46. BP Statistical Review of World Energy. (2011).
 47. Massachusetts Institute of Technology. (2006). *The future of geothermal energy - impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century*. Recuperado en enero de 2013, de <http://geothermal.inel.gov/>
 48. International Institute for Sustainable Development. (2012). *Central America's Power Generation Statistics*.
 49. Petz, B. (2010). The Untapped Potential of Geothermal Energy. *Ecology Global Network*. Recuperado en marzo de 2013, de <http://www.ecology.com/2010/11/08/untapped-potential-geothermal-energy/>
 50. European Renewable Energy Council (EREC). (s/f). *Renewable Energy Target For Europe 20% by 2020*. Recuperado en abril de 2013, de http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/EREC_Targets_2020_def.pdf
 51. Geothermal Energy Association, (2013). *Geothermal Power: International Market Overview*. Recuperado en noviembre 2013, de <http://geo-energy.org/events/2013%20International%20Report%20Final.pdf>
 52. Nuclear Energy Institute. (2012). *Nuclear Fuel Processes*. Recuperado de <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Fuel-Processes>
 53. World Nuclear Association. (2014). *Nuclear Power in the USA*. Recuperado en diciembre de 2013, de <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/USA--Nuclear-Power/>
 54. European Commission. (s/f). *Nuclear Energy – What do we want to achieve?* Recuperado en noviembre de 2013, de http://ec.europa.eu/energy/nuclear/index_en.htm
 55. World Nuclear Association. (2014). *Nuclear Power in Germany*. Recuperado en octubre de 2014, de <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-G-N/Germany/>
 56. Bernasconi-Osterwalder, N. y Hoffmann, R. (2012). International Institute for Sustainable Development. (IISD). *The German Nuclear Phase-Out Put to the Test in International Investment Arbitration?* Recuperado en mayo de 2013, de http://www.iisd.org/pdf/2012/german_nuclear_phase_out.pdf
 57. Lerner, M. (2012). In Latin America, Nuclear Power on Shaky Ground. *World Policy Blog*. Recuperado en julio de 2013, de <http://www.worldpolicy.org/blog/2012/05/14/latin-america-nuclear-power-shaky-ground>
 58. World Nuclear Association. (2014). *World Uranium Mining Production*. Recuperado en agosto de 2014, de <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/>
 59. U. S. Energy Information Administration. *Annual Energy Outlook 2013, with Projections to 2040*. Recuperado de [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2013).pdf)
 60. García, F. (2011). *Manual de Estadísticas Energéticas*. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).
 61. Morales, L.; Aguilar, K.; Ponciano, J. y Rivas, M. F. (2013). *Visualizing energy data and seeing the whole picture of energy in Guatemala, Proceedings of the IASTED International Conference, Power and Energy*.
 62. Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. (s/f). *Política Energética 2013-2027*.
 63. Aguilar, K. (2013). *Orzunil y la Energía Geotérmica*. Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Universidad Rafael Landívar. Recuperado en septiembre de 2013, de <http://www.incytde.org/incytdde/content/orzunil-y-la-energ-geot-rmica>
 64. Secretaría de Estado de Comercio de España. (2013). *El Grupo Ortiz construirá en Guatemala un parque solar de 50MW*. Recuperado en julio de 2013, de <http://boletin-secex.comercio.mineco.es/es-es/febrero-2013/paginas/el-grupo-ortiz-construira-en-guatemala-un-parque-solar-de-50mw.aspx>

65. Batres, A. (2012). *Emprendedoras del viento*. Recuperado en noviembre de 2013, de <http://www.elperiodico.com.gt/es/20120211/economia/207856/>
66. Ley General de Electricidad / Reglamento de la Ley General de Electricidad / Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (Incluye reformas según acuerdos gubernativos 68-2007 y 69-2007). Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
67. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/>
68. Administrador del Mercado Mayorista. Recuperado de <http://www.amm.org.gt/>
69. Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (s/f). *Historia*. Recuperado de <http://eegsa.com/quines-somos/historia>
70. Sigüenza, G. A. (2010). *Código Civil Decreto Ley No. 106*. Guatemala: Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Rafael Landívar.
71. Logan Pacheco, C. (2008). *Régimen jurídico aplicable a la actividad de generación de energía eléctrica en el ordenamiento jurídico guatemalteco*. (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Jurídicas, Universidad de San Carlos de Guatemala.
72. Ley del Organismo Ejecutivo, Decreto 114-97. Departamento de Información Pública del Gobierno de la República de Guatemala. Recuperado en <http://www.dip.mindef.mil.gt/loe.pdf>
73. Ley del Tarifa Social, Decreto 96-2000. Sistema Nacional de Diálogo Permanente del Gobierno de la República de Guatemala. Recuperado en http://www.dialogo.gob.gt/sites/default/files/Ley_de_Tarifa_Social.pdf
74. Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable, Decreto 52-2003. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala. Recuperado de <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Decreto-y-Acuerdo-Gubernativo.pdf>
75. Aráuz, J. G. (2004). Incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable. Guatemala: Instituto de Investigaciones Jurídicas, Universidad Rafael Landívar.
76. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía*. Recuperado de <http://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>
77. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2012). *Informe Estadístico 2012 - Indicadores del Mercado Mayorista de Electricidad de la República de Guatemala, correspondientes al año 2011*. Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

Administrador del Mercado Mayorista. (s/f). Recuperado de <http://www.amm.org.gt/>

Álvarez Carmenza, C. (2009). *Informe Final, Asistencia Técnica Guatemala, Proyecto: Planificación Energética*. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional ACDI y Universidad de Calgary.

Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala. (s/f). Recuperado de <http://www.acrguatemala.com/>

Boyle, G. (2004). *Renewable energy - Power for a sustainable future* (2da ed.). Reino Unido: Oxford University Press - The Open University.

Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (2012). *Informe Estadístico 2012 - Indicadores del Mercado Mayorista de Electricidad de la República de Guatemala correspondientes al año 2011*. Guatemala.

_____. (2010). *Compendio de Normas Técnicas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. Guatemala.

_____. (s/f). *Perspectivas de mediano plazo (2010-2015) para el suministro de electricidad del sistema eléctrico nacional, Plan de Expansión Sistema Eléctrico Guatemalteco, una visión a largo plazo*. Guatemala.

Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA). (s/f). Recuperado de <http://www.eegsa.com/>

Grigsby, L. (2012). *Electric power generation, transmission and distribution* (3ra ed.). Estados Unidos: CRC Press.

Instituto de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Universidad Rafael Landívar. Recuperao de [http:// incytde.org](http://incytde.org)

Instituto Nacional de Electrificación. (2009). *Plan Operativo Anual 2009*. Guatemala.

Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. (s/f). Recuperado de <http://www.ine.gob.gt/>

International Energy Agency (IEA). (s/f). *IEA, Sankey Diagram*. Recuperado de <http://www.iea.org/>

Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. (2007). *Política Energética y Minera 2008-2015*. Guatemala: Paz Editores.

_____. (2011). *Matriz de generación eléctrica*. Guatemala.

_____. (2011). *Capacidad instalada y efectiva 2011 Sistema Nacional Interconectado*. Guatemala.

_____. (2012). *Guía del Subsector Eléctrico y de las Energías Renovables*. Guatemala.

_____. (s/f). *Subsector Eléctrico en Guatemala*. Guatemala

Organización Latinoamericana de Energía. (s/f). Recuperado de <http://www.olade.org/en>

Reglamento de la Ley General de Electricidad. Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. Recuperado en <http://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/Reglamento%20de%20la%20LGE.pdf>

APÉNDICES

Apéndice A. Unidades físicas relacionadas a la energía

Prefijos importantes

En general, las unidades físicas se escriben con prefijos que representan potencias de 10. Tal disposición permite una notación compacta de números grandes o muy pequeños. En energía los prefijos más comunes para unidades relacionadas a la energía son:

Tabla A-1		
Prefijos de potencias de 10.		
Cantidades grandes	Abreviatura	
$10^3 =$	1 000 = kilo	k
$10^6 =$	1 000 000 = mega	M
$10^9 =$	1 000 000 000 = giga	G
$10^{12} =$	1 000 000 000 000 = tera	T
$10^{15} =$	1 000 000 000 000 000 = peta	P
$10^{18} =$	1 000 000 000 000 000 000 = exa	E
Cantidades pequeñas (menores a uno)	Abreviatura	
$10^{-3} =$	0.001 = mili	m
$10^{-6} =$	0.000 001 = micro	μ
$10^{-9} =$	0.000 000 001 = nano	n

Unidades de energía

La unidad física para medir la energía en el Sistema Internacional es el joule, abreviado: J.

Equivalencias importantes al Sistema Internacional:

- kilowatt-hora⁸⁸ y joule
 $1 \text{ kWh} = 3.6 * 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$
- Unidad británica térmica (Btu) y joule
 $1 \text{ Btu} = 1.055 * 1018 \text{ J} = 1.055 \text{ EJ}$
- Caloría⁸⁹ y joules
 $1 \text{ cal} = 4.12 \text{ Joule}$
- Tonelada equivalente de petróleo TOE , megavatio-hora y gigajoules
 $1 \text{ TOE}^{90} = 11.63 \text{ MWh} = 11.63 \text{ GJ}$

88 El kilovatio-hora (kWh) es la unidad más común para medir el consumo de energía eléctrica residencial, comercial o industrial. Cuando las cantidades de electricidad son mucho mayores, se utilizan prefijos mayores para el vatio-hora, dando como resultado, por ejemplo: el megavatio-hora, o el teravatio-hora.

89 La caloría es la unidad que se utiliza con mayor frecuencia en nutrición y alimentos.

90 Energía liberada al quemar una tonelada de petróleo crudo. Puesto que es

Unidades de potencia

La potencia se define como el ritmo de generación o consumo de energía.

- Potencia = Energía / Tiempo
- Dimensional: Vatio (W)

Nótese que el kilovatio-hora (kWh) es una medida de energía y el kW es una medida de potencia⁹¹.

Tabla A-2						
Factores de conversión para energía.						
A:	De:	TJ	Gcal	MTOE	MBtu	GWh
	multiplicar por:					
TJ		1	238.8	2.388×10^{-5}	947.8	0.2778
Gcal		4.1868×10^{-3}	1	10^{-7}	3.968	1.163×10^{-3}
MTOE		4.1868×10^4	10^7	1	3.968×10^7	11 630
MBtu		1.0551×10^{-3}	0.252	2.52×10^{-8}	1	2.931×10^{-4}
GWh		3.6	860	8.6×10^{-5}	3 412	1

Tabla A-3					
Factores de conversión para potencia.					
Unidad	cal/s	kcal/s	W(SI)	kW	hp
1 cal/s	1	3,6	4,184	$4,184 * 10^{-3}$	$5,6108 * 10^{-3}$
1 kcal/s	0,27778	1	1,1622	$1,1622 * 10^{-3}$	$1,5586 * 10^{-3}$
1 W (SI)	0,23901	086042	1	$1,0 * 10^{-3}$	$1,3410 * 10^{-3}$
1 kW	239,01	860,42	1,000	1	1,3410
1 Btu/hr	$7,0046 * 10^{-2}$	0,25216	0,29307	$2,9307 * 10^{-4}$	3,9301
1 hp	178,23	641,62	745,70	$2,9307 * 10^{-4}$	1
1 pie- lbf/hr	$9,0013 * 10^{-5}$	3,2405	$3,7662 * 10^{-4}$	$3,7662 * 10^{-7}$	$5,0505 * 10^{-7}$

una dimensional grande con respecto a las otras, se utiliza con frecuencia en estadísticas energéticas de países enteros.

91 Por ejemplo, un gramo de una galleta contiene ocho veces más energía que un gramo de TNT. Sin embargo, un gramo de TNT libera toda su energía en una millonésima de segundo. El gramo de galleta en cambio, libera su energía lentamente. Luego la TNT es más potente, pero menos energético.

Potencial eléctrico (voltaje)

El voltaje o potencial eléctrico es la energía potencial eléctrica⁹² por unidad de carga. Esta definición permite caracterizar energéticamente a las cargas eléctricas.

- Potencial eléctrico = Energía potencial eléctrica/carga eléctrica
- Dimensional: Volt

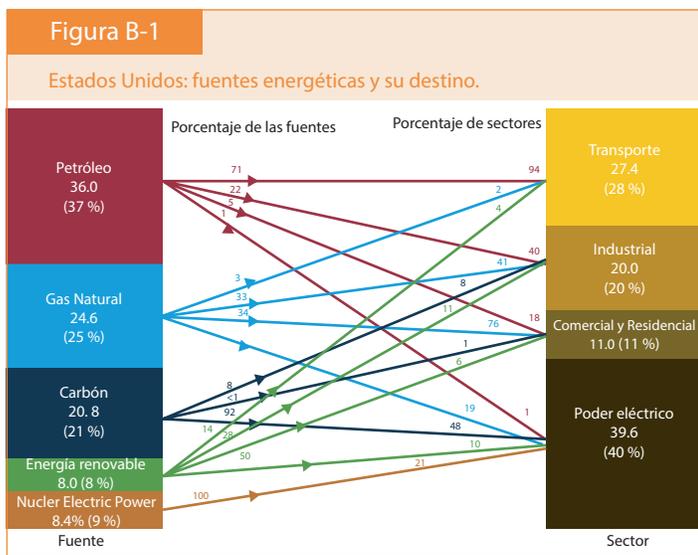
Apéndice B. Energía y electricidad en regiones seleccionadas

Estados Unidos: fuentes energéticas y su destino

La figura B-1⁹³ muestra las fuentes energéticas primarias de Estados Unidos y su destino, para el año 2010. La primera columna muestra las fuentes y la segunda su destino. Los números en las flechas representan:

- El porcentaje de la fuente energética destinado a cierto sector (próximos a las fuentes).
- El porcentaje del sector destinado, el cual es constituido por la fuente original (próximos a los sectores destinados).

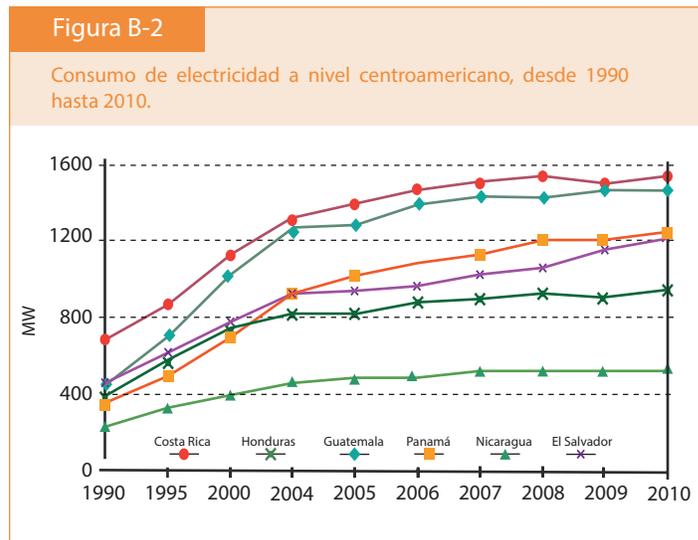
Por ejemplo, el petróleo constituye un 37 % de la energía primaria consumida en Estados Unidos. A su vez, el 71 % del petróleo (la primera flecha roja) se destina al sector de transporte. Un 94 % (fin de la primera flecha roja) de la energía utilizada por el transporte proviene del petróleo. Asimismo, un 28 % de la energía consumida por Estados Unidos se utiliza con fines de transporte. Nótese que el sector eléctrico es el mayor consumidor de energía primaria, con un 40 %. Un 46 % de esa energía la constituye el carbón.



92 Para crear energía eléctrica se necesita de al menos dos cargas eléctricas. En varias aplicaciones, como en las baterías, es importante caracterizar a las cargas que proveen de energía a las cargas del circuito o aparato huésped.
 93 Fuente de datos: Energy Information Administration (EIA), 2011. Departamento de Energía de Estados Unidos.

Consumo de electricidad a nivel centroamericano

La siguiente gráfica⁹⁴ muestra el consumo de electricidad a nivel centroamericano desde 1990 hasta el año 2011. Obsérvese la similitud de consumo entre Guatemala y Costa Rica. Nicaragua es el menor consumidor de electricidad de la región.



Apéndice C. Potencia reactiva y su compensación

Existe un fenómeno llamado “potencia reactiva” característico de las redes eléctricas, el cual, es la causa de disminución de eficiencia en la transmisión de energía, expresada como factor de potencia. Dicha potencia está relacionada a los tipos de cargas que existen en los sistemas eléctricos: se origina en el consumo que presentan aquellos equipos eléctricos que necesitan un campo magnético para su funcionamiento.

Puesto que la potencia reactiva es un factor inevitable, es imprescindible implementar su reducción con el objeto de maximizar la eficiencia de la red.

Tipos de cargas

Las “cargas” en una red eléctrica son los elementos que realizan cualquier tipo de función, es decir, máquinas eléctricas o electrónicas.

Resistivas

En las resistencias, la potencia va desde la fuente hacia el elemento. A continuación algunos ejemplos de cargas resistivas:

- Hornos eléctricos
- Calefactores
- Planchas
- Alumbrado incandescente
- Calentadores de agua

94 Fuente de datos: “Mercados Mayoristas de Electricidad”, CEPAL 2010.

Inductivas

En un inductor, la potencia fluctúa entre los elementos y la fuente. Algunos ejemplos de cargas inductivas son:

- Transformadores
- Motores de inducción
- Alumbrado fluorescente
- Máquinas soldadoras

Capacitivas

En un capacitor, la potencia fluctúa entre los elementos y la fuente. Algunos ejemplos de cargas inductivas son:

- Bancos de capacitores
- Condensadores síncronos
- Motores síncronos

Cabe mencionar que se utilizan para mejorar el factor de potencia, lo que contribuye a mejorar la eficiencia de la red eléctrica.

Tipos de potencia

Existen tres tipos de potencia:

Potencia activa (P)

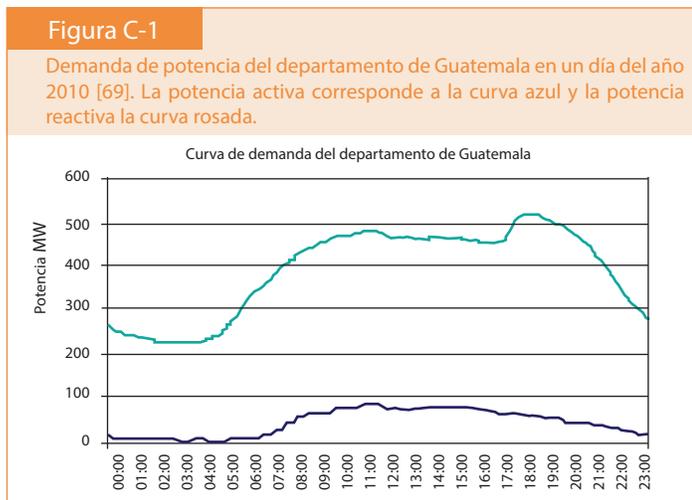
Es característica de dispositivos de tipo resistivo; es la potencia que permite la realización de trabajo útil. Las dimensionales son los kilovatio (kW) o megavatio (MW).

Potencia reactiva (Q)

Es característica de dispositivos de tipo inductivo y capacitivo; esta potencia no genera trabajo útil. Sin embargo, genera campos magnéticos y eléctricos que son necesarios en la operación de tales aparatos. Sus dimensionales son los kilovoltio amperio reactivo (kVAR) o megavoltio amperio reactivo (MVAR).

Potencia aparente (S)

Es la potencia total que requiere la carga⁹⁵. Esta potencia puede ser entregada por generadores, transformadores y UPS. Sus dimensionales son kVA, kilovoltio amperio.



95 Es el valor absoluto de la suma vectorial de Q + P; es decir, la raíz cuadrada de la suma de los dos términos al cuadrado.

Factor de potencia

Se define como la relación entre la potencia activa P con la potencia aparente S:

$$fp = P/S$$

Factores de potencia en cargas:

- Resistores $fp = 1$
- Inductores $fp = 0$
- Capacitores $fp = 0$

Combinaciones:

- Cargas resistivo-inductivo: $fp =$ valores de 0 - 1

Por ejemplo, un factor de potencia de 0.7, indica que del 100 % de potencia suministrada, el 70 % se utiliza para la realización de trabajo útil (ver tabla C-2)⁹⁶.

Tabla C-2	
Factores de potencia típicos de industria y comercio. Fuente: INALEP, Compañía de Dispositivos Eléctricos de México.	
Sector	Factor de potencia fp
Bancos	0.96 -0.99
Plantas de corrugados	0.82 -0.98
Centros comerciales	0.80 - 0.95
Periódicos	0.79 - 0.95
Hoteles	0.75 - 0.94
Hornos de arco	0.70 - 0.90
Textil	0.65 - 0.75
Química	0.65 - 0.75
Maquinaria	0.40 -0.65
Hornos de inducción	0.15 -0.40

Un bajo factor de potencia ocasiona un aumento de la potencia aparente ($S = VI$) y un incremento de la corriente⁹⁷. En otras palabras, cuando el factor de potencia de los usuarios es bajo, las empresas que suministran energía eléctrica se ven afectadas por los siguientes problemas:

- El consumo eléctrico de los usuarios aumenta.
- Las instalaciones eléctricas se subutilizan.
- Caídas fuertes de tensión.

Puesto que la carga aumenta, el suministro eléctrico puede resultar insuficiente para satisfacer la demanda.

Aunque existen varios métodos para corregir el bajo factor de potencia⁹⁸ (es decir, para aumentarlo), el método más común consiste en la aplicación de bancos de capacitores. Ello, debido a las ventajas económicas, técnicas y de fabricación.

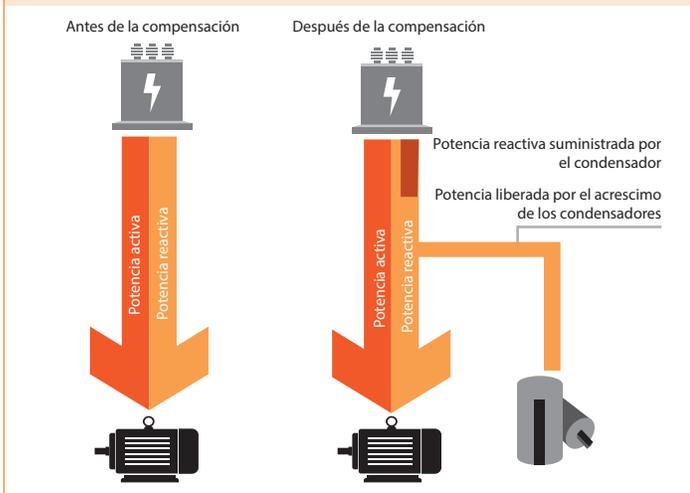
96 Según INALEP, Compañía de Dispositivos Eléctricos de México.

97 Grandes corrientes en las líneas de transmisión ocasionan pérdidas energéticas.

98 En Guatemala, por norma eléctrica, el factor de potencia se debe mantener en 0.95.

Tabla C-3

Compensación de potencia reactiva mediante capacitores. El capacitor almacena energía eléctrica mediante la formación de un campo eléctrico en su interior.



Apéndice D. Composición del parque generador de Guatemala

Tabla D-1

Parque generador por tipo de planta.
Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM), Dirección General de Energía, capacidad instalada y efectiva 2011, SNI.

PLANTAS GENERADORAS	UNIDADES	POTENCIA MW		UBICACIÓN	
		DE PLACA	EFFECTIVA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
Hidroeléctricas		887.14	838.10		
Chixoy	5	300.00	289.98	San Cristóbal	Alta Verapaz
Hidro Xacbal	2	94.00	97.05	Chajul	Quiché
Aguacapa	3	90.00	79.76	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa
Jurún Marinalá	3	60.00	61.66	Palín	Escuintla
Renace	3	68.10	66.72	San Pedro Carchá	Alta Verapaz
El Canadá	2	48.10	47.20	Zunil	Quetzaltenango
Las Vacas	3	45.70	35.85	Chinautla	Guatemala
El Recreo	2	26.00	26.23	El Palmar	Quetzaltenango
Secacao	1	16.50	16.23	Senahú	Alta Verapaz
Los Esclavos	2	15.00	13.23	Cuilapa	Santa Rosa
Montecristo	2	13.50	13.18	Zunil	Quetzaltenango
Pasabien	2	12.75	12.15	Río Hondo	Zacapa
Matanzas	1	12.00	11.78	San Jerónimo	Baja Verapaz
Poza Verde	3	12.51	9.85	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa
Río Bobos	1	10.00	10.36	Quebradas, Morales	Izabal
Choloma	1	9.70	9.65	Senahú	Alta Verapaz
Santa Teresa	2	17.00	16.69	Tucurú	Baja Verapaz

Panan	3	7.32	7.68	San Miguel Panán	Suchitepéquez
Santa María	3	6.00	5.86	Zunil	Quetzaltenango
Palín 2	2	5.80		Palín	Escuintla
Candelaria	1	4.60	4.34	Senahú	Alta Verapaz
San Isidro	2	3.93	3.40	San Jerónimo	Baja Verapaz
El Capulín	2	3.50	3.20	Siquinalá	Escuintla
El Porvenir	1	2.28	2.11	San Pablo	San Marcos
El Salto	2	2.00	2.37	Escuintla	Escuintla
Chichaíc	2	0.60	0.46	Cobán	Alta Verapaz
San Jerónimo	1	0.25	0.20	San Jerónimo	Baja Verapaz

PLANTAS GENERADORAS	UNIDADES	POTENCIA MW		UBICACIÓN	
		DE PLACA	EFFECTIVA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
TERMOELÉCTRICAS		1689.21	1347.91		
TURBINAS DE VAPOR		173.00	151.06		
Combustible carbón mineral					
San José	1	139.00	131.13	Masagua	Escuintla
La Libertad	1	20.00	15.12	Villa Nueva	Guatemala
Combustible búnker					
DARSA	1	1.50		Santa Lucía Cotz.	Escuintla
Arizona Vapor	1	12.50	4.81	Puerto San José	Escuintla
TURBINAS DE GAS		250.85	153.20		
Tampa	2	80.00	78.59	Escuintla	Escuintla
Stewart & Stevenson	1	51.00	21.34	Escuintla	Escuintla
Escuintla Gas 3	1	35.00	22.83	Escuintla	Escuintla
Escuintla Gas 5	1	41.85	13.00	Escuintla	Escuintla
Laguna Gas 1	1	17.00		Amatitlán	Guatemala
Laguna Gas 2	1	26.00	17.43	Amatitlán	Guatemala
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA		765.66	654.50		
Combustible búnker					
Arizona	10	160.00	161.34	Puerto San José	Escuintla
Poliwatt	7	129.36	125.40	Puerto Quetzal	Escuintla
Puerto Quetzal Power	20	118.00	114.73	Puerto Quetzal	Escuintla
Las Palmas	5	66.80	65.15	Escuintla	Escuintla
Genor	4	46.24	41.46	Puerto Barrios	Izabal
Sidegua	10	44.00	38.26	Escuintla	Escuintla
Industria Téticos del Lago	10	90.00	71.05	Amatitlán	Guatemala
Generadora Progreso	6	21.97	20.90	Sanarate	El Progreso
Electro Generación	2	15.75	16.22	Amatitlán	Guatemala
GECSA	2	15.74		Chimaltenango	Chimaltenango
GECSA 2	2	37.80		Chimaltenango	Chimaltenango
Electro Generación Cristal Bunker	2	10.00		Santa Elena	Petén
Combustible diésel					
COENSA	5	10.00	5.82	El Estor	Izabal

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM), Dirección General de Energía, Capacidad Instalada y Efectiva 2011, SNI.

PLANTAS GENERADORAS	UNIDADES	POTENCIA MW		UBICACIÓN	
		DE PLACA	EFFECTIVA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
INGENIOS AZUCAREROS		450.50	357.45		
Combustible bagazo de caña/ búnker					
Magdalena	Varias	130.00	111.25	La Democracia	Escuintla
Pantaleón	Varias	35.00	38.72	Siquinalá	Escuintla
La Unión	Varias	65.00	31.34	Santa Lucía Cotz.	Escuintla
Santa Ana	Varias	40.00	35.43	Escuintla	Escuintla
Madre Tierra	Varias	28.00	21.31	Santa Lucía Cotz.	Escuintla
Concepción	Varias	27.50	25.96	Escuintla	Escuintla
Tululá	2	19.00	13.66	Cuyotenango	Suchitepéquez
Combustible bagazo de caña					
Magdalena Excedentes	Varias	45.00	28.32	La Democracia	Escuintla
Pantaleón Excedentes	Varias	20.00	21.53	Siquinalá	Escuintla
La Unión Excedentes	1	10.00	5.64	Santa Lucía Cotz.	Escuintla
Trinidad	2	26.00	24.28	Masagua	Escuintla
San Diego	1	5.00		Escuintla	Escuintla

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM), Dirección General de Energía, Capacidad Instalada y Efectiva 2011, SNI

PLANTAS GENERADORAS	UNIDADES	POTENCIA MW		UBICACIÓN	
		DE PLACA	EFFECTIVA	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO
GEOTÉRMICAS		49.20	31.70		
Zunil	7	24.00	13.89	Zunil	Quetzaltenango
Ortitlan	3	25.20	17.81	San Vicente Pacaya	Escuintla

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MEM), Dirección General de Energía, Capacidad Instalada y Efectiva 2011, SNI

	Tipo de tecnología de generación
	Tipo de planta generadora
	Tipo de combustible

Apéndice E. Listado de generadores, transportistas, distribuidores, comercializadores y grandes usuarios de electricidad de Guatemala

Tabla E-1

Generadores para el 2011.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y Administrador del Mercado Mayorista (AMM), 2011.

No.	Nombre	Dirección	Teléfono
1	Agrocomercializadora del Polochic, S. A.	5a. Av. 15-45 zona 10, Centro Empresarial Torre II, Nivel 5, Guatemala, Guatemala	
2	Aguilar, Arimany, Consultores Asociados, S. A.	Design Center, Diagonal 6, 12-42 zona 10, Torre 1, Nivel 6, Of. 601	(502) 2261-8857
3	Alternativa de Energía Renovable, S. A.	Calzada Roosevelt 6-19, zona 3 de Mixco, Colonia Cotiá, Guatemala	(502) 2328-1000
4	Central Agroindustrial Guatemalteca, S. A. (Ingenio Madre Tierra)	7a. Avenida 6-53 Zona 4, Guatemala, Guatemala	(502) 2388-6900
5	Central Generadora Eléctrica San José, Ltda. (San José)	Masagua, Carretera a Puerto Quetzal Km 77	(502) 2428-6060
6	Cía. Agrícola Industrial Santa Ana, S. A. (Ingenio Santa Ana)	12 calle 1-25 zona 10, Edificio Géminis 10, Torre Norte, 15 nivel, Guatemala	(502) 2279-1212
7	CODESCO	2a Avenida 9-60 zona 9, Of. 3	(502) 2362-5523
8	COENESA GENERACIÓN, S. A.	El Estor, Izabal, Guatemala, 8a Calle final, ruta Río Dulce, Parque de generación COENESA	(502) 7449-7694 / 4012-0073
9	Compañía Eléctrica La Libertad, S. A.	Av. Reforma 7-62 zona 9, Edificio Aristos Reforma, Of 710, Nivel 7	
10	Concepción, S. A. (Ingenio Concepción)	Diagonal 6 10-31 zona 10 Edificio Pantaleón	(502) 2277-5100 / 2277-5162
11	Duke Energy International Guatemala y Cia, S. C. A.	5a. Avenida 15-55 zona 14, Edificio Europlaza, Torre 1, Oficina 601	(502) 2285-9000
12	Electro Generación, S. A.	Km . 30.5 Carretera al Pacífico	
13	Empresa de Generación de Energía Eléctrica del Inde (EGEE)	7a. Av. 2-29 zona 9, Edificio La Torre	(502) 2334-5711, ext. 2272
14	Eólico San Antonio El Sitio	Ruta 3 2-16 zona 4 Edificio Altamira, 5to. Nivel	(502) 2205-4545
15	Generadora de Occidente, Ltda.	Diagonal 6 10-65, zona 10, CG Las Margaritas, Torre I, Of. 801	(502) 2327-7000
16	Generadora del Este, S. A.		
17	Generadora Eléctrica Central S. A. (GECSA)	Departamento de Chimaltenango, Guatemala	
18	Generadora Eléctrica del Norte, Ltda. (GENOR)	16 calle 4-51 zona 10, Edificio Marbella, Nivel 9	(502) 2421-8500
19	Generadora Montecristo, S. A.	Diagonal 6 10-65, zona 10, CG Las Margaritas, Torre I, Of. 801	(502) 2339-3173 / 2339-3176
20	Generadora Progreso, S. A.	Centro Gerencial Las Margaritas, Torre I of. 1201	(502) 2414-3621 / 2414-3600
21	Hidroeléctrica Candelaria, S. A.	16 calle 0-26, zona 14	(502) 2313-8383
22	Hidroeléctrica Choloma, S. A.	16 calle 0-26, zona 14	(502) 2368-3330 / 2337-3255
23	Hidroeléctrica El Cobano	7a avenida 12-23 zona 9, Edificio Etisa, Of. 1211 Sótano	(502) 2419-1072
24	Hidroeléctrica Río Las Vacas, S. A.	41 calle 6-27 zona 8	(502) 2421-0400
25	Hidroeléctrica SacJa	5a Av. 5-55 zona 14, Edificio Europlaza, Torre 2, 6to Nivel, Of. 603	(502) 2385-3668
26	Hidroeléctrica Secacao, S. A.	16 calle 0-26, zona 14	(502) 2313-8383
27	Hidronorte, S. A.	6ta Ave. 8-14 zona 1, Edificio de Empresa Eléctrica, 4to Nivel	(502) 2420-4000 ext. 3181
28	Hidropower SDMM, S. A.		
29	Hidosacpur, S. A.		
30	Hidrotama, S. A.	12 calle 1-25 zona 10, Edificio Géminis 10, Torre Norte, of 1103	(502) 2381-6777
31	Ingenio La Unión, S. A.	Ave. Reforma 15-54 zona 9, Edificio Galerías Reforma of. 1403	(502) 2379-5454
32	Ingenio Magdalena, S. A.	22 ave. 11-00 zona 15 Vista Hermosa III, Edificio Jarcaranda	(502) 2364-0850
33	Ingenio Tululá, S. A.	Diagonal 6 10-01 zona 10, Centro Gerencial Las Margaritas, Torre 2, Nivel 7	(502) 2470-9696 ext. 7
34	Internacional de Comercio y Consultoría, S. A.		
35	Inversiones Atenas, S. A.	Avenida Reforma 9-76 zona 9	

36	Inversiones Pasabien, S. A.	14 calle 3-51, zona 10, Edificio Murano Center, Oficina 1302	(502) 2366-5930
37	Ortitlán Ltda.	Ave. Reforma 7-62 zona 9 Edificio Aristos of 310	(502) 2362-8001
38	ORZUNIL I DE ELECTRICIDAD, Ltda.	Ave. Reforma 7-62 Edificio Aristos, of. 310	(502) 2362-8007 al 08
39	PAH, S. A.	1a Avenida 10-81 zona 10, Edificio Inexsa, Of. 3A	(502) 2360-2591
40	Pantaleón, S. A. (Ingenio Pantaleón)	Diagonal 6 10-31 zona 10 Edificio Pantaleón	(502) 2277-5100 / 2277-5162
41	Papeles Elaborados, S. A.	20 calle 8-01 zona 14 Edificio Las Conchas, tercer nivel	(502) 2312-4800
42	Puerto Quetzal Power LLC (PQP LLC)	Av. Reforma 9-55, zona 10, Edificio Reforma 10, Piso 11	(502) 2229-8400
43	Recursos Naturales y Celulosas, S. A.	5a. Av. 15-45, zona 10, Centro Empresarial Torre II, Nivel 10	(502) 2328-3500
44	San Diego, S.A.	13 calle 2-60, zona 10, Edificios Topacio Azul, nivel II of 107	(502) 2421-3100
45	Siderúrgica de Guatemala, S. A. (SIDEQUA)	Km. 65.5 Carretera Antigua a Puerto de San José	(502) 2363-1824 / 7889-8337
46	Tampa Centroamericana de Electricidad, Ltda. (TECO Guatemala)	13C 3-40 zona 10, Edificio Atantis, Guatemala, Guatemala.	
47	TECNOGUAT, S.A.	Diagonal 6 10-65, zona 10, Centro Gerencial Las Margaritas	(502) 2339-3173
48	Textiles Amatitlán, S. A. (AMATEX)	Km 30.5 Carrt al Pacifico, Amatitlán, Guatemala	(502) 6633-6550
49	US Geothermal	17 Avenida 19-87 zona 10, Edificio Torino, Of. 1001, Nivel 10	(502) 2368-0256

Tabla E-2

Transportistas para el 2011.
Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (AMM)

No.	Nombre de la Empresa	Dirección	Teléfonos	Contacto web
1	Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica del Inde (ETCEE)	7a. Av. 2-29, zona 9, Edificio La Torre, Sótano 2	(502) 2334-5711 al 19, Ext.: 2330 y 2340	www.inde.gob.gt
2	Transportista Eléctrica Centroamericana S. A. (TRELEC)	2a. Av. 9-27, zona 1	(502) 2230-0659	trelec@trelec.net
3	Duke Energy International Transmision Guatemala, Ltda.	5a. Av. 5-55, zona 14 Edificio Europlaza	(502) 2327-7400	www.duke-energy.com.gt
4	Redes Eléctricas de Centroamérica S. A. (RECSA)	10a. 14-14, zona 14	(502) 2367-9300	reca@reca.com.gt

Tabla E-3

Distribuidores para el 2011.
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

No.	Nombre de la empresa	Dirección	Teléfono	Página Web
1	Distribuidora de Electricidad de Occidente (DEOCSA)	10a. Av. 14-14 zona 14, Edificio Unión Fenosa, Ciudad de Guatemala	(502) 2367-9300	
2	Distribuidora de Electricidad de Oriente (DEORSA)	10a. Av. 14-14 zona 14, Edificio Unión Fenosa, Ciudad de Guatemala	(502) 2367-9300	
3	Empresa Eléctrica de Guatemala S. A. (EEGSA)	6a. Av. 8-14 zona 1, Ciudad de Guatemala	(502) 2420-4000	www.eegsa.com
4	Empresas municipales			

Tabla E-4

Comercializadores para el año 2011.

Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

No.	Nombre de la empresa	Dirección	Teléfono	Página web	Correo electrónico
1	CENTRAL COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA, S. A. (CCEESA)	Ruta 3, 2-16, zona 4, Edificio Altamira, Quinto Nivel Oficina 500, Ciudad de Guatemala	(502) 2332-5324	www.cceesa.com	gerencia@ceesa.com
2	COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD CENTROAMERICANA, S. A. (CEC)	Avenida Hincapié 18-49, zona 13, Ciudad de Guatemala	(502) 2427-3300 / 5184-0854	www.cec.com.gt	cec@cec.com.gt
3	COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMÉRICA, LTDA.	5a. Av. 15-55, zona 14, Edificio Europlaza, Torre 1, Oficina 601, Ciudad de Guatemala	(502) 285-9000 / 285-9001	www.duke-energy	errodas@duke-energy.com
4	COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA S. A. (COMEGSA)	6a Av. 8-14 zona 1, Ciudad de Guatemala	(502) 2420-4200 / 2420-4277	www.comegsa.com.gt	comegsa@comegsa.net
5	MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S. A. (MEL)	18 calle 5-44 zona 14	(502) 2332-2605	www.mel.com.gt	sporres@mel.com.gt
6	POLIWATT, LTDA. (POLIWATT)	Ave. Reforma 9-55, zona 10 Edificio Reforma 10 Nivel	(502)2229-8400		rafael.larios@aeinergy.com
7	COMERCIALIZADORA GUATEMALTECA MAYORISTA DE ELECTRICIDAD, S. A. (GUATEMEL)	Av. Reforma 6-39 zona 10, Centro Corporativo Guayacán, nivel 7, Ciudad de Guatemala	(502) 2381-8888	www.energuate.com	guatemel@guatemel.com.gt dcarranza@energuate.com
8	GLOBELEQ ENERGY GUATEMALA, LTDA.	13 Calle 3-40 zona 10, Edificio Atlantis, Of. 1304	(502) 2366-1656		silvia.alvarado@globeleq.com
9	COMERCIALIZADORA ELECTRICA DEL SUR, S. A.				
10	COMERCIALIZADORA ELECTRONOVA, S. A.	Diagonal 6, 10-65 zona 10, Centro Gerencial las Margaritas, Torre I, Nivel 12, Oficina 1201, Guatemala	(502) 2414-3621	www.electronova.com.gt	blara@electronovapower.com
11	CONTRATACIONES ELÉCTRICAS, S. A.	5a. Av. 15-45 zona 10, Centro Empresarial Torre I oficina 404	(502) 2333-7031		rrueda@dencomi.com
12	EMPRESA DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE	5a. Av. 15-45 zona 10, Centro Gerencial las Margaritas, Torre I, oficina 1201	(502) 2422-1903		www.inde.gob.gt
13	COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DEL PACÍFICO, S. A.	Km. 30.5 Carretera CA9 Sur, Amatitlán	(502) 6633-6550	www.liztex.com	gesur@liztex.com
14	COMERCIALIZADORA COMERTITLAN, S. A.	13 calle 3-40 zona 10	(502) 2363-2846 / 5412-0821		comertitlan@gmail.com
15	ECONOENERGY, S. A.	5a Av. 15-45 zona 10, Edificio Centro empresarial, Torre 2, Oficina 707, Guatemala, Guatemala	(502) 2333-6961 / 2333-6962 / 2333-6963	www.econoenergy.com.gt	info@econoenergy.com.gt

Tabla E-3

Listado de grandes usuarios registrados, Guatemala, 2011.
Fuente: Administrador del Mercado Mayorista (AMM), Comisión Nacional de energía Eléctrica (CNEE).

No.	Nombre
1	BANCO DE OCCIDENTE, S. A.
2	COMPAÑÍA DE DESARROLLO BANANERO DE GUATEMALA, S. A. (BANDEGUA)
3	CEMENTOS PROGRESO S. A.
4	CODACA GUATEMALA, S. A. (MOTORES HINO)
5	COMPAÑÍA AGRÍCOLA DIVERSIFICADA S. A. (COAGRO)
6	COMPAÑÍA BANANERA GUATEMALTECA INDEPENDIENTE S. A. (COBIGUA)
7	COMPAÑÍA INDUSTRIAL CORRUGADORA GUATEMALTECA S. A.
8	EMERGÍA GUATEMALA S. A.
9	ENVASES INDUSTRIALES DE CENTROAMÉRICA S. A.
10	INDUSTRIAS DEL ATLÁNTICO, S. A.
11	INSTITUTO DE RECREACIÓN DE LOS TRABAJADORES DE LA EMPRESA PRIVADA DE GUATEMALA (IRTRA)
12	PICHILINGO RESORT & MARINA S. A.
13	EMPRESA PORTUARIA NACIONAL SANTO TOMÁS DE CASTILLA
14	PROCESADORA UNITAB S. A.
15	PROMOCIONES TURÍSTICAS NACIONALES S. A.
16	PRODUCTOS DE LA TIERRA S. A. (PROTISA)
17	STANDARD FRUIT DE GUATEMALA S. A.
18	VALORES TURÍSTICOS S. A.
19	CERVECERÍA CENTRO AMERICANA, S. A.

Apéndice F. Política Energética de Guatemala 2013-2027: fundamentos jurídicos⁹⁹

Según el artículo 34 de la Ley del Organismo Ejecutivo, le corresponde al MEM la formulación de leyes y políticas relacionadas al tema de la energía.

La llamada “Política Energética 2013-2027”, elaborada por el MEM, se basa en las siguientes leyes y decretos:

- Ley de Hidrocarburos (Decreto 109-86).
- Ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89).
- Ley General de Electricidad (Decreto 93-96) y su reglamento.
- Ley de Comercialización de Hidrocarburos (Decreto 109-97) y su reglamento.
- Ley de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural (Decreto 11-2002).
- Código Municipal (Decreto 12-2002).
- Ley General de Descentralización (Decreto 14-2002).
- Ley del Fondo de Desarrollo Económico de la Nación (Decreto 71-2008).

Reglamento de Estudios de Impacto Ambiental

Ejes de la Política Energética 2013-2027:

1. Seguridad del abastecimiento de electricidad a precios competitivos.
2. Seguridad del abastecimiento de combustibles a precios competitivos.
3. Exploración y explotación de las reservas petroleras con miras al autoabastecimiento nacional.
4. Ahorro y uso eficiente de la energía.
5. Reducción del uso de leña en el país.

Internacionalmente, Guatemala es signataria de los siguientes acuerdos:

- Protocolo de Kioto.
- Pacto Mundial de las Naciones Unidas.
- Objetivos de Desarrollo del Milenio.
- Declaración de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible.
- Declaración de Río +20.
- Iniciativa para la Transparencia de Industrias Extractivas (EITI).

Regionalmente, los principales convenios son:

- Tratado Marco de Mercado Eléctrico Regional.
- Unión Aduanera Centroamericana.

⁹⁹ En Guatemala, por norma eléctrica, el factor de potencia se debe mantener en 0.95.

Apéndice G. Mapas de potencial solar y eólico de Guatemala

Figura G-1

Mapa de potencial solar de Guatemala elaborado por NREL (National Renewable Energy Laboratory) de Estados Unidos.

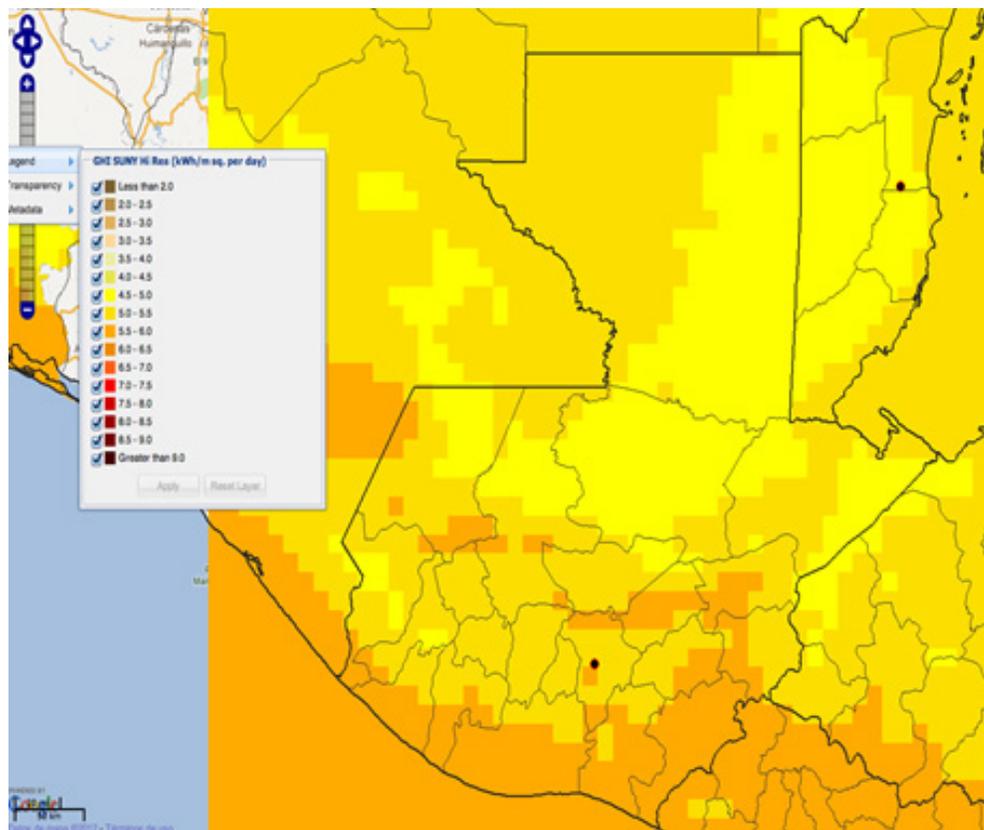
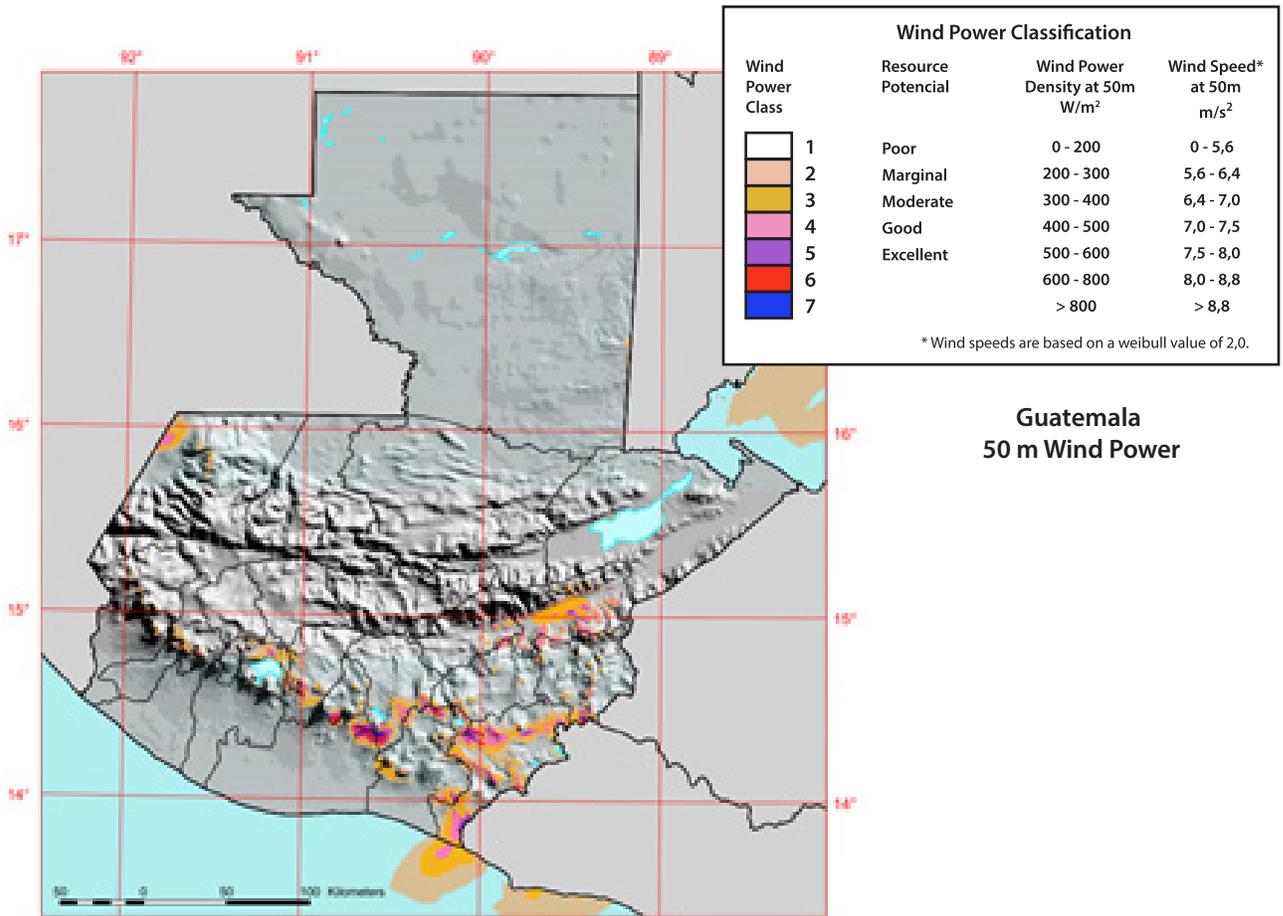


Figura G-2

Mapa de potencial eólico de Guatemala elaborado por NREL (National Renewable Energy Laboratory) de Estados Unidos.



Apéndice H: Listas de indicadores

Tabla H-1

Indicadores de energía.

Indicador	Unidad de medida	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Fuente
Cobertura eléctrica	número de usuarios	727 819	789 576	864 211	1 033 684	1 236 391	1 478 849	1 617 365	1 768 854	1 892 334	1 954 444	2 130 107	2 209 326	2 305 338	2 561 713	2 720 497	2 828 926	2 701 230	Olade
Índice de cobertura eléctrica	%	45.07	46.24	47.86	52.37	57.3	62.7	65.59	68.61	70.43	70.29	73.98	74.07	74.55	79.86	81.72	81.82	84.1	Olade
Consumo de leña	KBEP											28 298.33	31 132.50	31 576.43	32 995.58	34 414.72	37 253.01	37 253.01	MEM
Consumo de electricidad	KBEP											4 792.34	5 008.20	5 347.71	5 338.98	5 569.64	5 648.48	5 711.89	MEM
Consumo GLP	KBEP											1 808.30	1 865.57	1 900.95	1 952.31	1 810.21	1 882.68	2 017.14	MEM
Consumo Gasolinas	KBEP											6 264.59	6 524.97	6 851.62	6 693.46	7 418.54	7 291.93	7 098.49	MEM
Consumo Kerosene y Turbo	KBEP											582.47	577.76	278.14	238.14	219.56	576.47	133.47	MEM
Diesel Oil	KBEP											8 647.32	8 803.66	9 360.61	8 181.02	9 293.37	9 341.47	6 906.30	MEM
Fuel Oil	KBEP											1 069.50	1 142.92	1 781.28	1 150.58	460.57	790.26	4 388.21	MEM
Petcoke	KBEP											943.56	1 021.85	1 039.63	1 074.38	1 088.95	965.93	1 077.14	MEM
No energético	KBEP											402.74	381.00	417.09	273.69	454.13	255.55	274.17	MEM
Consumo propio	KBEP											348.04	353.22	361.03	326.57	387.60	407.55	456.33	MEM
Consumo por transporte	KBEP											14 441.53	14 855.15	15 337.02	14 095.08	15 791.15	15 843.25	13 137.52	MEM
Consumo industrial	KBEP											4 849.14	5 023.21	5 891.23	5 134.73	4 662.52	4 938.83	8 485.81	MEM
Consumo Residencial	KBEP											28 984.32	31 978.12	32 482.84	35 051.83	36 338.69	39 368.12	39 276.15	MEM
Consumo por comercios y servicios	KBEP											2 890.08	3 282.26	3 329.67	2 282.55	2 348.88	2 457.07	2 449.90	MEM
Producción energía primaria	KBEP											41 374.66	43 558.04	46 158.97	47 159.98	49 546.10	54 264.72	58 400.14	MEM
Importación energía primaria	KBEP											2 988.52	3 229.26	2 342.39	2 404.24	1 741.78	2 878.72	2 878.72	MEM
Exportación energía primaria	KBEP											5 934.02	5 577.87	4 749.37	4 736.21	4 200.92	3 692.95	3 692.95	MEM
Importación energía secundaria	KBEP											23 653.58	25 152.21	27 972.47	24 539.49	28 458.58	24 812.37	24 812.37	MEM
Exportación energía secundaria	KBEP											302.57	302.57	1 026.90	1 237.03	1 302.33	1 499.96	1 499.96	MEM

Este libro fue impreso en los talleres gráficos
de Serviprensa, S. A., en abril de 2015.
La edición consta de 850 ejemplares en
papel couché 80 gramos.

