



PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

(ENERGÍA) – (ECONOMÍA DE LA ENERGÍA)

CAMBIO TECNOLÓGICO, FORMAS ORGANIZACIONALES Y PREOCUPACIONES
HUMANAS EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA AL 2050

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ADRIANA MARÍA RAMÍREZ CAMPEROS

TUTOR PRINCIPAL
DR. VÍCTOR RODRÍGUEZ PADILLA, FACULTAD DE INGENIERÍA

COMITÉ TUTOR
DR. MARIANO BAUER EPRUSSI, FACULTAD DE CIENCIAS
DR. FABIO MANZINI POLI, INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES
DR. JOSÉ MIGUEL GONZÁLEZ SANTALÓ, INST. DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS
DRA. CECILIA MARTÍN DEL CAMPO MÁRQUEZ, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. AGOSTO 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. MARIANO BAUER EPRUSSI

Secretario: Dr. VÍCTOR RODRÍGUEZ PADILLA

Vocal: Dr. JOSÉ MIGUEL GONZÁLEZ SANTALÓ

1 er. Suplente: Dra. CECILIA MARTÍN DEL CAMPO

2 d o. Suplente: Dr. FABIO MANZINI POLI

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO: MÉXICO D.F.

TUTOR DE TESIS:

DR. VÍCTOR RODRÍGUEZ PADILLA

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)y al Instituto de Investigaciones Eléctrica (IIE).

Al profesor, M. I. Nefalí Flores por sus asesorías y apoyo de referencias en libros, artículos a través de su trayectoria profesional y académica en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos UAEM-Cuernavaca, Morelos.

Al M. I. Jacinto Viqueira por su amable disponibilidad y apoyo durante todo el proceso de elaboración de este trabajo de investigación.

Al comité Doctoral por su apoyo y al tutor Dr. Víctor Rodríguez por haberme dado el tema de tesis con base en el Campo del Conocimiento de la Economía de la Energía, especialmente en la línea de investigación “Política Energética” y por todas sus aportaciones.

DEDICATORIA

A Dios, la Santísima Virgen María, Beata María Inés Teresa del Santísimo Sacramento y a su Santidad Juan Pablo II, por la oportunidad de existir y realizar este trabajo de investigación; por enviarme las luces del Espíritu Santo y tener la Fe, la Esperanza y la fuerza necesaria para caminar sin desfallecer. “El mundo es un mar y todos navegamos en él, hay brumas y tempestades, lo único que nos salva es la protección de Dios y de María”.

A mis padres con todo mi amor: Mercedes Camperos y Ernesto Ramírez (q.e.p.d.), por su apoyo, valores y buenos ejemplos que me inculcaron desde la niñez, los cuales han sido la base fundamental para alcanzar este logro. Sé que desde el cielo, mi padre se siente orgulloso y feliz aunque ya no esté presente.

A mis hijos con todo mi amor y cariño: Sergio A, Fernando J y Manuel E, quienes con la nobleza de su corazón y sacrificio de estar lejos, me han apoyado para realizar mis estudios. Hoy por hoy están orgullosos de mí. Sé que el ejemplo del esfuerzo y dedicación por el estudio les servirá para que sean personas de bien; igualmente para mi querido Sergito.

A mis hermanas, sobrinos, primas y tías con mucho cariño por sus constantes oraciones, que me han ayudado a tener la luz de esperanza y a confiar siempre en la voluntad de Dios.

A las Madres del Convento de las Clarisas, por sus oraciones diarias y la adoración al Santísimo Sacramento, en la cual siempre estaba presente esta necesidad y a las señoras del grupo de oración “Nuestra Señora del Rosario”, quienes me han brindado su amistad sincera en México y día a día ofrecen el santo rosario por las necesidades del mundo, especialmente por la justicia y la paz.

RESUMEN

La investigación tiene por objetivo el estudio de la industria eléctrica desde una perspectiva de largo plazo, a partir de tres variables: 1) Cambio Tecnológico; 2) Formas Organizacionales; 3) Preocupaciones Humanas. El análisis comprende cinco periodos. 1) Fin de la Primera Guerra Mundial” (1900-1918); 2) Periodo entre Guerras (1919-1945); 3) Los Gloriosos 30’s (1946-1972); 4) Crisis Energética (1973-1985); 5) Globalización (1986-2009). Asimismo, conocer el pasado, presente y potenciales cambios futuros que transformarán la industria eléctrica al 2050.

El capítulo uno estudia la evolución de la industria eléctrica desde el contexto del cambio tecnológico. Comprende aspectos relevantes como las aportaciones de científicos pioneros en investigar acerca de la electricidad e innovaciones tecnológicas y los avances en el proceso de generación, transmisión, distribución y comercialización. El segundo capítulo estudia las formas de organización industrial, desde el modelo de monopolio natural establecido a nivel mundial en 1930, hasta el modelo de comprador único, que se dio inicialmente en Estados Unidos en 1978 y se extendió a otros países. Además, los modelos de competencia mayorista y minorista, los cuales se adoptaron inicialmente en países desarrollados tales como Australia en 1990, Gran Bretaña en 1993 y California, en Estados Unidos, en 1996. También se estudian algunas experiencias internacionales en reestructuración, privatización y liberalización. El capítulo tres estudia la evolución de las preocupaciones humanas, es decir, cómo éstas han condicionado el desarrollo de la industria eléctrica. Igualmente, incluye eventos inesperados. El capítulo cuatro aplica la teoría conceptual Perspectiva Multinivel (PML) mediante el caso de referencia (1970-2009) para analizar la relación entre el cambio tecnológico, formas organizacionales y preocupaciones humanas en la industria eléctrica y las causas y efectos que dieron origen a la transición de dicha industria. Finalmente, el capítulo cinco estudia la industria eléctrica mexicana, antes y después de la reforma de 1992. Asimismo, se estudia la tendencia potencial en un horizonte de largo plazo.

Los resultados obtenidos muestran que la variable cambio tecnológico será crucial en el desarrollo de la industria eléctrica, sin embargo, su evolución dependerá del entorno económico y político, mismos que serán determinantes en el rumbo del modelo energético, en un mundo caracterizado por la globalización. En relación con las formas de organización industrial, la directriz es hacia la multiplicidad de modelos de organización industrial; cada país adoptará el modelo de acuerdo con las sus necesidades, condiciones, desafíos y recursos. En cuanto, a las preocupaciones humanas se considera que los aspectos medio ambientales relacionados con el cambio climático e incremento de emisiones de gases efecto invernadero, serán un tema importante y estarán presentes en las agendas nacionales e internacionales, en las cuales participan diferentes grupos de interés en la toma de decisiones, aunque no es la única preocupación que marcará la pauta; las preocupaciones institucionales, económicas, políticas, sociales también serán trascendentales en las próximas décadas.

En el caso particular de la industria eléctrica Mexicana, en el contexto tecnológico, su evolución se basa en los escenarios INERCIAL y ENE, propuestos por la Secretaría de Energía en el periodo 2012 – 2026. Estos escenarios muestran que la tendencia en la mezcla de tecnologías será liderada por las centrales ciclo combinado aproximadamente en un 50%, el porcentaje restante considera carboeléctricas, las fuentes de energía renovable y la energía nuclear, principalmente.

Para el periodo 2027 – 2050, el Instituto de Investigaciones Eléctricas – IIE desarrolló dos escenarios: renovables y nuclear con base en las proyecciones de la Secretaría de Energía y en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética (LAERFTE). Con el de renovables, se alcanzan las metas de generación con fuentes fósiles y una reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Para el nuclear, las plantas nucleoeeléctricas representan una opción interesante para el cumplimiento de la LAERFTE.

En cuanto al marco regulatorio y normativo éste debe ser actualizado para dar certidumbre a los distintos actores. La industria eléctrica deberá respetar los acuerdos, leyes y tratados, nacionales e internacionales con base en los lineamientos de la política energética que el país establezca.

ABSTRACT

The research aims to study the electrical industry from a long term perspective, based on three variables: 1) Technological Change, 2) Organizational Models 3) Human Concerns. The analysis includes five periods. 1) End of the First World War "(1900-1918), 2) Period between Wars (1919-1945), 3) Glorious 30's (1946-1972), 4) Energy Crisis (1973-1985), 5) Globalization (1986-2009). Also, to the past, present and potential future changes that will transform the electricity industry in 2050

Chapter one examines the evolution of the electricity industry from the context of technological change. Included relevant aspects such as contributions of pioneering researchers about electricity and technological innovations, so in advances in the process of generation, transmission, distribution and retailing. Second chapter examines the models of industrial organization, from the natural monopoly model established worldwide in 1930, to the single buyer model, which initially adopted in the United States in 1978 and spread to other countries. In addition, models of wholesale and retail competition, which was initially adopted in developed countries such as Australia in 1990, Gran Britain in 1993 and the United States (in California), in 1996. It also discusses some international experiences in restructuring, liberalization and privatization. Chapter three studies the evolution of human concerns, that is, how these concerns have conditioned the development of the electricity industry. Also includes unexpected events. Chapter four applies the conceptual theory Multilevel Perspective (PML) by the reference case (1970-2009) to analyze the relationship between technological change, organizational forms and human concerns in the electricity industry and the causes and effects that led to the transition. Finally, chapter five examines the Mexican electricity industry before and after the 1992 reform. It also examines the trend in long-term horizon.

Results show that the variable technological change will be crucial in the development of the electricity industry; however, its evolution will depend on economic and political landscape, which will be decisive in the direction of the energy model, in a world characterized by globalization. In the case of the industrial organization model, the guideline is to the multiplicity of industrial organization models; each country will adopt the model according to their needs, conditions, challenges and resources. With respect to human concerns, it is considered that the environmental aspects related to climate change and increased greenhouse gas emissions, will be an important issue and will be present in the national and international agendas, in which different stakeholders involved in decision-making participate; but this will not be the only concern that indicate the route; institutional, economic, political and social concerns, also will be critical in the next decades.

In the particular case of the Mexican electricity industry in the technological context, evolution is based on the following scenarios called: *INERCIAL* and *ENE*, both proposed by the Ministry of Energy for the period 2012-2026. These scenarios show that the trend in the mix technologies will be led by combined cycle plants (about 50%); the remaining percentage considers coal plants, renewable energy sources and nuclear energy, mainly.

For the period 2027 - 2050, the Electric Research Institute - IIE developed two scenarios called: nuclear and renewable based on projections of the Ministry of Energy and the Use of Renewable Energy and Financing for Energy Transition Law. With renewables, targets are met with fossil generation and a reduction of the greenhouse gas emissions is reached. For nuclear scenario, nuclear power plants represent an interesting option for compliance with the law.

Regulatory and legal framework must be updated to give assurance to the various stakeholders. Finally, the electricity industry must respect the agreements, laws and treaties, nationals and internationals, based on guidelines establish in the energy policy of each country.

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS	vi
UNIDADES	vii
Tabla de unidades	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1.....	CAMBIO TECNOLÓGICO
.....	10
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	11
1.1.1 La tecnología en las civilizaciones	12
1.1.2. Avances científicos en electricidad y magnetismo	13
1.1.3. Eventos Históricos Importantes.....	25
1.2. EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA	26
1.2.1. Evolución en el proceso de generación eléctrica	26
1.2.2. Evolución en la transmisión y la distribución de energía eléctrica	48
1.2.3. Evolución en la comercialización de energía eléctrica.....	53
1.3. HORIZONTE TECNOLÓGICO ESPERADO EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS	56
1.3.1. Avances en las tecnologías de generación eléctrica	56
1.3.2. Avances en tecnologías de transmisión.....	61
1.3.3. Avance tecnológico en la comercialización.....	63
Capítulo 2.....	FORMAS ORGANIZACIONALES
.....	74
2.1. ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA	75
2.1.1. La cadena productiva en la industria eléctrica	80
2.1.2. Características de la industria eléctrica.....	80
2.1.3. Elementos de la teoría económica	82
2.1.4. Sistemas de coordinación de las actividades económicas	87
2.1.5. Modelos básicos en la industria eléctrica	90
2.1.6. La regulación en la industria eléctrica	96
2.1.7. El servicio público de energía eléctrica	99
2.2. REFORMAS EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA	102
2.2.1. Experiencias internacionales.....	103
2.2.2. Problemas en el proceso de implementación de reformas.....	121
2.3. TENDENCIA EN LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS	127
Capítulo 3.....	PREOCUPACIONES HUMANAS
.....	134
3.1. Preocupaciones humanas que han condicionado la industria eléctrica en el mundo	135
3.1.1. Primera etapa "Fin de la primera guerra mundial" (1882-1918).....	137
3.1.2. Segunda etapa "Periodo entre Guerras" (1919-1945)	140
3.1.3. Tercera etapa "los gloriosos 30´s (1946-1972)	143
3.1.4. Cuarta etapa "crisis energética" (1973-1985)	147
3.1.5. Quinta etapa "Globalización" (1986-2009)	153
3.2. Preocupaciones humanas que condicionarán a la industria eléctrica en un horizonte de largo plazo (2050)	164
Capítulo 4.....	ANÁLISIS MULTINIVEL (MLP)
.....	176
4.1. MARCO CONCEPTUAL DE LA TEORÍA PERSPECTIVA MULTINIVEL	177
4.2. La dinámica de la transición en la industria eléctrica: Caso de referencia (1970-2009).....	179
4.2.1. Discusión multinivel	186
Capítulo 5.....	Estudio de la Industria Eléctrica Mexicana (1970-2009)
.....	190
5.1. <i>Condiciones de la Industria Eléctrica antes de la reforma (1970-1992)</i>	191
5.2. Condiciones de la industria eléctrica después de la reforma (1993-2009)	197
5.3. Horizonte esperado en la Industria eléctrica mexicana en las próximas décadas.....	208

5.3.1. Escenarios de Planeación propuestos por la Secretaria de Energía (2012-2026)	209
5.4. Tendencia en el Marco Institucional y Regulatorio	217
5.5. Las preocupaciones humanas en un horizonte de largo plazo	220
CONCLUSIONES	224
Anexo A - Fuentes primarias de energía	228
Anexo B- Glosario	240

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 Fases de un sistema eléctrico.	27
Figura 1.2 Proceso de transformación de un combustible a energía eléctrica.	29
Figura 1.3 Uso Masivo de las diversas Fuentes de Energía.	45
Figura 1.4 Ciclo de vida de tecnologías de generación eléctrica.	47
Figura 1.5 Consumo final de electricidad a nivel mundial, año 2009.	56
Figura 1.6 Consumo de Combustibles y Fuentes de energía para la generación eléctrica mundial (2008-2035)	59
Figura 1.7 Generación eléctrica mundial, escenarios (2007-2050): Base 2050, BLUE Map.	60
Figura 1.8 Consumo de Energía por Sector (escenarios de referencia, ACT y BLUE Tep/año).	67
Figura 2.1 Estructura básica de un sistema eléctrico.	80
Figura 2.2 Modelo de Monopolio Integración Vertical.....	92
Figura 2.3 Modelo de comprador único	93
Figura 2.4 Modelo: competencia mayorista.	95
Figura 2.5 Modelo: competencia minorista.	96
Figura 3.1 Generación neta de electricidad en Estados Unidos (1973-1985).	151
Figura 3.2 Empleo en el Sector Eléctrico en Estados Unidos.	158
Figura 3.3 Variación porcentual anual del empleo en el Sector Eléctrico en Estados Unidos (1970-1972).	159
Figura 3.4 Incremento de la temperatura Global.	166
Figura 3.5 Población a Nivel Mundial (1950-2050).	167
Figura 3.6 Relación consumo de energía/población mundial.	167
Figura 3.7 Tasa de crecimiento económico mundial en %.	168
Figura 3.8 Evolución del PIB mundial (millones de Euros).	169
Figura 3.9 Intensidad energética por región.	170
Figura 3.10 Precio Sport promedio anual para petróleo crudo Brent en los tres casos	171
Figura 4.1 Sistema socio-técnico en la industria eléctrica.	180
Figura 5.1 Generación eléctrica bruta en México desde 1990 a 2009 (GWh).....	199
Figura 5.2 Participación de las distintas modalidades en la producción total de energía eléctrica en México de 2002 a 2009 (%).	200
Figura 5.3 Evolución de la generación eléctrica en México con base en las seis modalidades aprobadas por la Ley de 1992 desde 2002 a 2009 (GWh).....	203
Figura 5.4 Participación % de tecnologías de generación en la capacidad total del servicio público.	211
Figura 5.5 Participación de tecnologías de generación en la capacidad total del servicio público % (Escenario Inercial).	212
Figura 5.6 Participación de la capacidad por tipo en 2026 para el Sistema Eléctrico.....	213
Figura 5.7 Evolución de la capacidad 2013 – 2050 (GW).	214
Figura 5.8 Evolución de la capacidad 2012 – 2050.	216
Figura A.1 Evolución de energía primaria (1850-2000).	237

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1 Avances en electricidad y tecnología (a. C- XVIII).	16
Tabla 1.2 Avances en electricidad y tecnología siglo XIX-XXI.	24
Tabla 1.3 Eventos históricos importantes de 1929 a 2011.	26

Tabla 1.4 Tecnologías limpias en etapa desarrollo y maduras.	48
Tabla 1.5 Evolución de voltajes de transmisión en CA.	52
Tabla 1.6 Tasa de crecimiento del Consumo Mundial de Energía (% /año).	67
Tabla 2.1 Eventos importantes en la industria eléctrica en Estados Unidos.	79
Tabla 2.2 Características básicas de los mecanismos de coordinación.	88
Tabla 2.3 Sistemas individuales y combinados para la coordinación de actividades económicas.	89
Tabla 2.4 Experiencias internacionales en reformas en la industria eléctrica.	120
Tabla 3.1 Preocupaciones humanas que han afectado la industria eléctrica.	164
Tabla 4.1 Clasificación de actuales y nuevas tecnologías que pueden contribuir hacia la descarbonización.	185
Tabla 4.2 Principales eventos en el desarrollo de la industria eléctrica en Estados Unidos (macro, meso y micro nivel).	187
Tabla 5.1 Eventos antes de la reforma a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica 1992	195
Tabla 5.2 Evolución de la capacidad instalada (MW) y generación bruta (GWh) en el sector eléctrico Mexicano (1990-2010).	198
Tabla 5.3 Eventos posteriores al cambio estructural en 1992.	205

UNIDADES

Tabla de unidades

GWh	Gigawatt-hora
GW	Gigawatt
MWh	Megawatt-hora
MW	Megawatt
kWh	Kilowatt-hora
kW	Kilowatt
Hz	Hertz
Kv	Kilo Volts
Km	Kilómetros

PRÓLOGO

Desde mediados de la década de los 80's, la industria eléctrica en el mundo ha tenido cambios profundos en su estructura y propiedad. Dicha industria ha sido estructuralmente separada en los segmentos de la generación, transmisión, distribución y comercialización. Los segmentos de la transmisión y la distribución conservan las características de monopolio natural y los competitivos, la generación y la comercialización han sido progresivamente expuestos a la competencia. En el esquema de mercado, el consumidor puede seleccionar el proveedor del servicio. Se considera que el principal objetivo de las reformas ha sido alcanzar los beneficios de la competencia en el mercado. No obstante, éstos han sido diferentes de acuerdo al grado de desarrollo de las naciones. En países desarrollados, el principal objetivo ha sido alcanzar la eficiencia económica y crear competencia entre empresas eléctricas privadas o en conjunto con empresas verticalmente integradas ya existentes y maduras. En países en vías de desarrollo, el objetivo fundamental ha sido incorporar recursos privados, para financiar la expansión de los sistemas eléctricos y liberar recursos fiscales para su aplicación en otros proyectos.

La industria eléctrica ha tenido cambios significativos en las últimas décadas. El progreso tecnológico y la liberalización económica pueden considerarse como los cambios cruciales. En cuanto a la tecnología se puede mencionar el desarrollo de la turbina de gas ciclo combinado, la cual se caracteriza por menor tiempo de construcción, beneficios ambientales, entre otras ventajas. Paralelamente, el avance en tecnologías de información hizo posible el desarrollo de sofisticados sistemas de medición, despacho de electricidad, supervisión y control a distancia de los flujos eléctricos. Sumado, las preocupaciones humanas que han influido en el desarrollo de la industria; asimismo han evolucionado y motivado a los gobiernos a reflexionar acerca de ellas y tomarlas en cuenta en las decisiones de política. Éstas se refieren a los diversos factores exógenos, tales como ambientales, políticos y económicos.

La industria eléctrica ha sido considerada por los gobiernos como un sector industrial líder a lo largo de su historia, debido a su importancia estratégica para el desarrollo

económico y social. En este contexto, es crucial la realización de la presente tesis de investigación desde la perspectiva del cambio tecnológico, formas organizacionales y preocupaciones humanas. En la literatura no se encuentra un estudio especializado igual al tema seleccionado, por tal razón el Dr. Víctor Rodríguez director de tesis, consideró importante desarrollar esta investigación, con el propósito de hacer una contribución al estado del arte de la industria eléctrica y cuya aportación sea de utilidad.

INTRODUCCIÓN

El interés que nos lleva a realizar la presente investigación gira entorno a conocer cuál ha sido la evolución de la industria eléctrica, desde la perspectiva del cambio tecnológico, las formas de organización industrial y las preocupaciones humanas. El cambio tecnológico se define como la continua innovación y difusión de tecnologías, que han surgido paralelamente al desarrollo de la industria eléctrica, tales como el motor eléctrico, motor hidráulico, la disminución en la escala óptima de generación eléctrica desde 1,000 MW a 500 MW y los avances en informática y comunicaciones. Las formas de organización se refieren a los modelos básicos relacionados con la estructura industrial, que han sido adoptados a nivel mundial, desde el modelo de monopolio público o privado establecido en la década de los 30's, hasta los modelos de mercado adoptados a mediados de los 80's. Las preocupaciones humanas son aquellos factores del entorno tales como políticos, económicos y medio ambientales, los cuales no dependen de la voluntad de los actores y han ido condicionando el desarrollo de la industria eléctrica; a través de normas más severas, acuerdos y compromisos. Asimismo, dada la gran relevancia de preocupaciones han sido consideradas en la agenda de política por los gobiernos. Otro motivo de la investigación es saber hacia dónde se dirigen los nuevos conceptos, los posibles derroteros que puedan transformar la industria, conocer cuáles son las causas y efectos que originaron la transición de la industria eléctrica e identificar cuál será la tendencia en las próximas décadas.

Partimos desde el inicio de la industria eléctrica con la inauguración de la primera central eléctrica en Nueva York por Tomas Edison en 1882, hasta las grandes innovaciones tecnológicas que han surgido en los siglos XX y XXI. La segunda variable crucial en el estudio es la forma de organización industrial y las reformas hacia la reestructuración, liberalización y privatización de la industria eléctrica y las experiencias internacionales en dicho proceso. Finalmente, la variable relacionada con las preocupaciones humanas, significativas para la toma de decisiones de los hacedores de política.

En los inicios de 1910 la industria eléctrica en Estados Unidos se caracterizó por la integración de compañías privadas de servicios públicos, crecimiento y consolidación de los sistemas eléctricos. En la década de los 30's el desarrollo de la industria eléctrica, se afectó por la crisis económica llamada la gran depresión (1929-1932). Tal crisis causó principalmente preocupaciones políticas y macroeconómicas. Además, llevó a replantear el rol del Estado en la economía de una nación. A partir de entonces el presidente Roosevelt implementó una reglamentación más estricta en la industria eléctrica y creó la ley para Empresas de Servicios Públicos (*Public Utility Holding Company Act* PUHCA-1935).

Después de la segunda guerra mundial, se presentó un periodo de crecimiento económico sin precedentes, el cual favoreció el desarrollo de los sistemas eléctricos. La demanda en Estados Unidos creció alrededor del 7% por año beneficiando al sector industrial y residencial. Durante el periodo 1945-1970 el eslogan fue “vivir mejor eléctricamente”. Varios factores contribuyeron al progreso de la industria eléctrica, tales como los bajos precios de los combustibles, los avances tecnológicos que facilitaron la disminución en el tamaño eficiente de capacidad en las centrales eléctricas y se completaron las redes de transmisión y distribución. La industria eléctrica se basó en el modelo de control central, planificación de las inversiones, economías de escala y desarrollo óptimo de redes; es decir se caracterizó por un modelo de organización industrial llamado monopolio público o privado regulado. Fue el paradigma dominante durante cuarenta años.

En la década de los 70's, una serie de eventos influyeron en el cambio estructural de la industria eléctrica. En países desarrollados el factor político, incentivó la búsqueda de la eficiencia económica y la creación de un mercado competitivo; en países en vías de desarrollo los cambios se dieron a través de nuevas inversiones para cumplir con la planeación del sector de acuerdo con el crecimiento de la demanda y liberar recursos fiscales para beneficio de otros proyectos sociales. El factor económico influyó en el aumento del tamaño relevante de los mercados energéticos; el factor técnico contribuyó al despliegue de nuevas tecnologías. Otros factores

macroeconómicos, que han tenido incidencia en los cambios estructurales han sido la crisis energética de los 70's; los apagones en Nueva York en 1965 y en el 2003. Estos factores en conjunto han condicionado el desarrollo de la industria eléctrica.

El cambio estructural más importante en la industria eléctrica en Estados Unidos, fue la competencia en generación eléctrica a través de la promulgación de la ley de Políticas Reguladoras de Empresas de Servicios Públicos (PURPA-1978). El objetivo fundamental de dicha ley fue promover el uso de las fuentes renovables de energía y fomentar una mayor eficiencia. La ley PURPA se extendió a otros países. Además, impulsó la competencia en el segmento de la generación, apoyando los proyectos de cogeneración y ofreció facilidades para la integración de pequeños productores que utilizaran fuentes renovables de energía. De esta manera surgen los Productores Independientes de Energía (PIE), con la finalidad de participar en el segmento de la generación y la venta en bloque de electricidad a una compañía, o clientes industriales u otros usuarios bajo condiciones específicas.

A mediados de los 80's la industria eléctrica empezó a enfrentar serios problemas, debido al crecimiento de la demanda, esto requería un aumento en la capacidad de generación, lo cual hizo indispensable la búsqueda de nuevas inversiones. A partir de 1987 la autoridad regulatoria federal legalizó y fomentó el ingreso de productores independientes de energía y los exentó de la regulación tradicional, para crear un ambiente competitivo y poder beneficiarse de los contratos a largo plazo con empresas eléctricas.

En la década de los 90's, las tendencias recientes en el mercado de generación de electricidad dieron como resultado un mayor interés en la sustitución de controles regulatorios tradicionales por la competencia. El congreso de los Estados Unidos adoptó las reformas mediante la promulgación de la ley de Política Energética (EPact-1992) para promover la competencia en generación de electricidad. La nueva legislación autorizó a los reguladores federales abrir las líneas de transmisión a otros generadores de potencia eléctrica. La ley EPact cambió la regulación federal en la

industria de las empresas eléctricas para facilitar el desarrollo de un mercado competitivo, al permitir la venta al mayoreo de energía eléctrica. La creación de la ley EPact forma parte del proceso de globalización y de la implementación de políticas neoliberales que surgieron en los 80's, las cuales promovieron una menor intervención del Estado en la economía y mayor participación de políticas a favor del libre mercado. Las políticas neoliberales criticaron los monopolios eléctricos, argumentando que el procedimiento para fijar las tarifas no proporcionaba estímulos para aumentar la eficiencia y podía conducir a una sobre inversión. Esta crítica afirmaba que a pesar que los sistemas de distribución y la red de transmisión de alta tensión tienen características de monopolio natural, es posible introducir la competencia en los segmentos de generación y comercialización. Algunos países pioneros en reformas fueron Chile en 1978, el Reino Unido inicio en 1983 y finalizó con la competencia en el suministro en 1988, Estados Unidos (California) 1996, entre otros países.

México, no ha sido la excepción ante los efectos mundiales de la globalización y cambios estructurales. En 1992 el ejecutivo federal por decretó promulgó la reforma a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica LSPEE, en función del concepto de servicio público. El marco regulatorio y normativo fue modificado para permitir la inversión privada nacional y extranjera en los segmentos de la generación y la transmisión principalmente; con base en seis nuevas modalidades que no constituyen servicio público, establecidas en el reglamento de dicha ley. Son las siguientes: 1) Autoabastecimiento, 2) Cogeneración, 3) Pequeña Producción; 4) Producción Independiente, 5) Exportación e 6) Importación. El Estado mantiene la responsabilidad de prestar el servicio público de energía eléctrica a nivel nacional.

La reforma buscó implementar las políticas y directrices fijadas para los servicios de energía eléctrica, incentivando la eficiencia en las dependencias de gobierno. Se apoyaron los programas de expansión y operación, se contó con el apoyo de la Secretaria de Energía y de cuatros instancias nacionales que incluyen la Comisión Reguladora de Energía, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, la

Comisión Nacional de Hidrocarburos y la Comisión Nacional para la Seguridad Nuclear. Además, la Comisión Federal de Electricidad, compañía de propiedad del Estado. En el 2009 el ejecutivo federal decretó la extinción del organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro.

Se consideran los resultados de la reforma un progreso parcial, los cuales se constatan con la participación desigual de las modalidades, principalmente. México, no avanzó hacia una reforma radical debido a aspectos de Soberanía Nacional, el Estado conserva el monopolio y es el actor dominante en el sector de acuerdo con los artículos 27 y 28 de la Constitución Política y las leyes secundarias.

Una de las principales contribuciones de la presente investigación es aplicar una nueva metodología conceptual llamada teoría de la transición o Perspectiva Multinivel (PML) la cual facilita el estudio de las variables seleccionadas en la investigación. Es así como se plantea alcanzar el objetivo. El análisis se basa en documentos sobre la historia de la industria eléctrica y entrevistas con analistas de gran trayectoria profesional, adscritos a la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente el profesor emérito Jacinto Viqueira. Las fuentes de datos primarios para el proceso de búsqueda de información son: documentos ejecutivos, publicados por la Agencia Internacional de Energía, libros, revistas académicas en una amplia variedad de disciplinas, tales como energía, economía, sociología y tecnología. Además, búsqueda de información sobre temas relacionados con la industria eléctrica, tales como la aplicación de los modelos básicos de organización industrial, las causas y los efectos de las reformas en algunos países seleccionados, los efectos de la crisis energética de los 70's; los avances tecnológicos en el proceso de la generación, transmisión, distribución, medición y control. También se considera información obtenida en congresos, seminarios y talleres.

La teoría PML ha sido desarrollada por el investigador Holandés Frank Geles y colegas; comprende tres niveles jerárquicos llamados: macro nivel, meso nivel y micro nivel 1) el macro nivel forma el entorno socio- técnico. En el caso de la

industria eléctrica, un ejemplo es las grandes tendencias macroeconómicas; 2) el segundo nivel llamado meso-nivel, también llamado régimen socio-técnico, está integrado por tres aspectos: a) los grupos sociales, b) elementos tangibles necesarios para cumplir una función de la sociedad, c) las reglas formales, cognitivas y normativas que dirigen y orientan las actividades de los actores; 3) el micro nivel también llamado nicho tecnológico. Es el lugar donde emergen las innovaciones tecnológicas. [6]. Es importante mencionar que no es preciso presentar un análisis exhaustivo de la industria eléctrica, por lo tanto se presentarán los aspectos más relevantes en cada nivel (macro, meso, micro) por periodo de estudio.

La aplicación de la teoría conceptual permitirá conocer las causas y efectos que originaron la transición en la industria eléctrica a nivel mundial. En retrospectiva se puede observar la transición en el sistema de iluminación, desde un sistema basado en lámparas de arco hasta un "sistema moderno" de electricidad dado por Edison en 1882. Otra es el cambio de corriente directa propuesta por Edison a la corriente alterna por Westinghouse. En estos ejemplos, se puede observar que a través de décadas se han presentado cambios cruciales que han beneficiado el desarrollo de la industria eléctrica, los cuales han sido el comienzo de una transición. Desde el punto de vista de sistemas de innovación, la transición se define como un cambio radical de un sistema socio técnico a otro. Se entiende como un sistema socio-técnico aquel sistema en el que se interrelacionan elementos sociales y técnicos para cumplir una función social, por ejemplo la electricidad [1]. En el contexto de la investigación la transición se define como los cambios que ha enfrentado la industria eléctrica, ocasionados por diversos factores durante varias décadas, clasificados dentro del contexto del macro, meso y micro nivel. Algunos estudios históricos de transición son: la transición del transporte basado en carruajes halados por caballos al transporte basado en automóvil; la transición del barco de vela al barco de vapor; también en el Reino Unido se realizó un estudio para conocer la transición en el sistema energético [2,5-6].

En la actualidad la industria eléctrica enfrenta diversos desafíos relacionados con la seguridad de los combustibles y los problemas medio ambientales esencialmente. Para enfrentar dichos desafíos y resolver los problemas de la sociedad, se requiere hacer cambios en el sistema, tales como tecnológicos, institucionales y regulatorios, estructura del mercado, políticas e infraestructura. Ésta es la base de la teoría de la transición.

La aplicación de la teoría multinivel facilitará identificar las principales causas y efectos de la transición de la industria eléctrica; además conocer la situación pasada y actual, las cuales servirán de soporte para analizar la proyección de la industria eléctrica en las próximas décadas. El objetivo principal de la investigación es conocer cuál será la tendencia de la industria eléctrica en el largo plazo; desde la perspectiva del cambio tecnológico, las formas organizaciones y las preocupaciones humanas.

Los objetivos específicos son: 1) analizar la relación existente entre las tres variables seleccionadas 2) Identificar las causas y efectos que han originado la transición en la industria eléctrica 3) a partir de las lecciones aprendidas del análisis del caso de estudio general, analizar cuál será la tendencia en la industria eléctrica mexicana.

La investigación se basa en los siguientes supuestos: 1) La tecnología seguirá siendo crucial en las próximas décadas, sin embargo su avance dependerá de condiciones macroeconómicas y políticas mundiales y de los desafíos que enfrente el país; 2) las continuas innovaciones en informática y comunicaciones facilitarán el desarrollo de la red inteligente y el concepto de red se mantendrá en las próximas décadas; 3) no existe un modelo único de organización industrial, ni existe conceso sobre cuál presenta mayores ventajas, por lo tanto en el largo plazo existirán multiplicidad de modelos de organización industrial y cada país adoptará un modelo de acuerdo a sus condiciones, recursos y retos; 4) la preocupación por los problemas medio ambientales no será la fundamental preocupación de los gobiernos y hacedores de política; las institucionales, sociales, políticas y económicas, tendrán

igualmente el mismo nivel de importancia y serán trascendentales en las decisiones de política.

Para responder a las preguntas planteadas la tesis sigue una metodología coherente, con base en una amplia investigación bibliográfica. Está estructurada en cinco capítulos y se divide en dos partes: la primera parte es de tipo descriptiva y la segunda demostrativa.

El capítulo 1 trata sobre la importancia del cambio tecnológico en el desarrollo de la industria eléctrica. Se estudia desde los primeros aportes en electricidad por científicos: Tales de Mileto y Faraday, entre otros; hasta los avances más importantes en el proceso de generación, transmisión, distribución y venta. Además, conocido el contexto histórico y la actualidad se presenta la tendencia tecnológica esperada al 2050.

El capítulo 2 estudia los modelos de organización industrial que han sido adoptados a nivel mundial. Se explican los antecedentes que dieron origen al modelo de monopolio público o privado regulado y las características de la industria eléctrica: economías de escala, planeación de las inversiones y control central. Se estudian los cuatro modelos básicos: a) modelo de monopolio o control central; b) comprador único; c) modelo de competencia mayorista; d) modelo de competencia minorista o acceso abierto no discriminatorio a las redes de transmisión y distribución para generadores y consumidores. También, se analizan las principales experiencias internacionales en reformas: reestructuración, liberalización, privatización y finalmente se presenta la tendencia en el modelo de organización esperado al 2050.

En el capítulo 3 se estudian las preocupaciones humanas, es decir cómo éstas han ido afectando el desarrollo de la industria eléctrica y cómo dicha industria se ha ido adaptando. Además, su incidencia en la toma de decisiones de política. Se presentan las potenciales preocupaciones humanas que deberían ser tomadas en cuenta por los diferentes actores, asimismo aquellas que podrían afectar el desarrollo de la industria eléctrica en las próximas décadas.

En el capítulo 4 se realiza un análisis de acuerdo con la teoría de la transición Perspectiva Multinivel aplicada a la industria eléctrica, con base en la relación entre cambio tecnológico, formas organizacionales y preocupaciones humanas en el periodo (1970-2009).

El capítulo 5 presenta el caso de estudio en la industria eléctrica mexicana, con base en el análisis del caso de referencia (capítulo 4). Se aplica la teoría de la transición para conocer los principales factores presentados en el macro, meso y micro nivel. El estudio se divide en dos periodos: (1970-1992) y (1993-2009). Finalmente, se presenta el horizonte esperado de la industria eléctrica en las próximas décadas.

Capítulo 1 CAMBIO TECNOLÓGICO

CAPÍTULO 1

El presente capítulo tiene como objetivo establecer de manera general el marco conceptual, que describe cómo ha influido la tecnología en la evolución de la industria eléctrica. La pregunta que se pretende contestar es ¿Cuál será la perspectiva tecnológica que transformará la industria eléctrica al 2050?

Para conocer lo anterior, el capítulo se divide en tres partes. La primera expone el contexto histórico sobre la electricidad, magnetismo y la evolución de la industria eléctrica desde su descubrimiento por Edison hasta la actualidad. La segunda estudia la evolución tecnológica en el proceso de generación, transmisión, distribución y comercialización. Finalmente, se presenta la tendencia tecnológica esperada de la industria eléctrica al 2050.

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Una de las fundamentales invenciones del hombre primitivo fue el descubrimiento del fuego y de herramientas necesarias para su subsistencia. Las herramientas de piedra fueron las primeras manifestaciones de la tecnología humana, en el periodo llamado paleolítico. El uso del fuego, fue el medio de iluminación utilizado por el hombre primitivo, posteriormente facilitó la utilización de los metales tales como el cobre, el bronce y el hierro. A través de la historia, la leña ha sido la principal fuente de energía y durante la evolución histórica del hombre, se han ampliado los requerimientos energéticos y con ello el número de fuentes, tecnologías y usos [7-8].

En la edad de piedra el hombre primitivo se caracterizó por buscar los medios de subsistencia, mediante la recolección y la caza. Las tecnologías en ese entonces estaban asociadas a los medios para producir los alimentos y prepararlos. En ésta época, el hombre hizo uso de herramientas de piedra, flechas, arcos y del vestido. Estas fueron las primeras manifestaciones de la tecnología en ese periodo. La edad de bronce o edad de los metales, se caracterizó por cambios radicales en la

tecnología, los cuales llevaron al hombre primitivo al desarrollo de la agricultura, la domesticación de animales y los asentamientos permanentes.

1.1.1 La tecnología en las civilizaciones

La historia de la civilización inició con el uso de herramientas y energía, por lo tanto su desarrollo ha estado ligado a ésta última. Desde la existencia del hombre, éste ha consumido energía y en la medida en que la tecnología ha evolucionado su consumo, o los requerimientos energéticos se han incrementado.

A través de la historia de las civilizaciones, la gran mayoría de seres humanos contaban solamente con la energía que le brindaba los músculos de sus piernas para moverse de un lugar a otro y las fuentes renovables de energía. El hombre primitivo utilizó las corrientes de agua para desplazarse en embarcaciones a cortas distancias, la leña para cocer los alimentos, la fuerza de los animales para la siembra, el cultivo y el transporte. Igualmente, de la energía del viento para moler granos como para otros menesteres [8]. La tecnología primitiva como el molino utilizó la rueda hidráulica, ésta se fue perfeccionando a través del tiempo. También, éste fue utilizado para la impulsión de sierras mecánicas, la extracción de materiales de las minas y bombeo de agua. Una de las invenciones más destacadas de los molinos de viento fue la veleta de cola y su diseño consistía en una rueda con aspas montada en ángulo recto, con relación a las aspas principales situadas detrás del molino. Los molinos de viento y la rueda hidráulica fueron las únicas máquinas motrices utilizadas en la antigüedad [9].

En el pasado las civilizaciones que dominaban la metalurgia o la navegación de vela tenían ventajas sobre los que no disponían de recursos y tecnologías correspondientes. La leña, los molinos de viento y su aprovechamiento por medio de la vela fueron esenciales e incluso la agricultura y las industrias tenían ventajas cuando se disponía de los energéticos adecuados [33].

La civilización no es un proceso terminado, es constante y evolutivo en el tiempo e implica el uso de la energía, perfeccionamiento de leyes, hábitos, cultura, conocimiento, tecnología, formas de subsistencia, recursos naturales, entre otros factores. Las civilizaciones preindustriales¹, tuvieron grandes desarrollos tecnológicos. Así por ejemplo, la cultura egipcia se caracterizó por el desarrollo de la tecnología marítima mediterránea en barcos; la cultura griega se caracterizó por la capacidad de combinar la investigación científica con el desarrollo de nuevas tecnologías especialmente la arquitectura y fue la primera cultura en inventar los molinos de viento y molinos hidráulicos [9].

Desde la perspectiva histórica, las civilizaciones se han caracterizado por rupturas², las cuales han ocasionado cambios muy profundos en un periodo relativamente corto en comparación con el periodo anterior [10]. Además, las civilizaciones se han caracterizado por la cultura, los medios de subsistencia, de transporte y comunicación y el desenvolvimiento en una dinámica social y cultural favorable [8]. Las rupturas han marcado grandes cambios, las cuales no han sido independientes de la energía. Así por ejemplo, el cambio de la edad de piedra a la edad de bronce, el cambio de una economía basada en la recolección, la caza y la pesca a una economía basada en la agricultura y la ganadería. Otro ejemplo de ruptura es el cambio del sistema de transporte, desde los carruajes a un sistema de transporte basado en automóviles [6]. La ruptura está asociada a los cambios tecnológicos, de acuerdo con la evolución de las civilizaciones y la satisfacción de necesidades.

1.1.2. Avances científicos en electricidad y magnetismo

Durante los siglos XV y XVI periodo llamado la edad del renacimiento se sientan las bases del pensamiento moderno. El desarrollo del humanismo hace que el hombre sea el centro del universo. Los descubrimientos más importantes se produjeron en la ciencia y en arte. La edad contemporánea, siglo XVIII y principios del XIX, se

¹ Las civilizaciones preindustriales se desarrollaron en los siglos anteriores a la revolución industrial. Las cuales se caracterizaron por la recolección, la caza y el uso de la madera para la cocción de los alimentos y el fuego como principal medio energético.

² De acuerdo con Paul Bairoch (1997), define la "ruptura" como un fenómeno que provoca cambios muy profundos en un lapso de tiempo relativamente corto, con relación a la fase anterior.

caracterizó por la revolución industrial, la cual originó una ruptura desde una economía basada en el trabajo manual hasta una economía dominada por la industria y la manufactura. Dentro de las innovaciones tecnológicas más importantes están: la máquina a vapor y la máquina para hilar llamada *Spinning jenny*. El auge de estas máquinas favoreció el desarrollo de la industria textil, minera y el transporte, con el nacimiento del ferrocarril. La revolución industrial causó la revolución energética y la utilización a gran escala de combustibles fósiles especialmente el carbón [7].

El desarrollo de los conocimientos científicos en electricidad y magnetismo, fueron mucho más lentos, comparados con otras ramas de la ciencia, como la mecánica. En el siglo XIX, empezaron los descubrimientos fundamentales y se desarrollaron las primeras aplicaciones industriales, las cuales han contribuido a mejorar la forma de vida moderna.

Periodo antes de Cristo

En el año 585 a. C. el filósofo griego Tales de Mileto, expone las propiedades de atracción del ámbar (electrón en griego) y de la magnetita. Tales encontró que cuando flotaba una barra de ámbar (el término electricidad proviene de la palabra electrón que en griego significa ámbar), una fuerza estática atraía el polvo y otras partículas hacia ella. Este efecto se conoce hoy como fuerza electrostática. Asimismo, Tales observó que la magnetita podía comunicar su propiedad al hierro, que a su vez se convertía en un imán [11].

Periodo edad media siglo XV

Roger Bacon mencionó las propiedades del ámbar y la magnetita. En el año 1269, el filósofo e ingeniero francés Pierre Perégrin describió las propiedades de una bola de magnetita sobre la que con la ayuda de una aguja imantada, localizó zonas opuestas de atracción concentrada o sea, polos. Construyó brújulas de pivote y flotantes [11].

A comienzo del siglo XVII, Jerome Cardon, dio una explicación sobre la diferencia de la tracción del ámbar y la magnetita.

Periodo edad moderna (Siglo XVI -XVII)

En el año 1600 el físico y médico inglés William Gilbert, médico privado de la reina Isabel, inició un estudio experimental de los fenómenos magnéticos. Fue pionero en utilizar los términos atracción eléctrica, fuerza eléctrica y polo magnético. Publicó en latín el libro “De Magnete”, sobre el magnetismo y las propiedades de atracción del ámbar, e ideó el primer electroscopio [7,11].

En el año 1672 Otto Von Guericke, físico alemán construyó la primera máquina electrostática que producía una carga eléctrica por fricción de una bola de azufre giratoria y realizó experimentos con la carga eléctrica. La máquina consistía en una esfera de azufre con una manija en la que la carga era inducida al pasar la mano sobre la esfera [7].

En el año 1673 François de Cisternay du Fay, de origen francés, propuso la existencia de dos tipos de carga eléctrica positiva y negativa. La propuesta también fue dada por Benjamín Franklin. Observó que las cargas del mismo tipo se rechazaban, mientras que las contrarias se atraían.

En el año 1698 Thomas Savery inventó la primera máquina a vapor con el único propósito de extraer agua afuera de las minas de carbón. En su época constituyó un gran avance en la industria minera y la primera utilización industrial del carbón para realizar trabajo mecánico [11].

Todos los inventos anteriores mostraban los avances en las ciencias físicas y en las matemáticas y al mismo tiempo facilitaban las actividades del hombre. La Tabla 1.1 resume las primeras innovaciones en electricidad y tecnología desde el periodo a.C. hasta el periodo que comprende el siglo XVIII.

Época	Inventor	Aporte
a.C	Tales de Mileto 624-543 a.C.	Efecto ámbar (electrón)
Edad media	Roger Bacon	Propiedades magnetita y ámbar.
Siglo XVII		
1672	Otto Von Guericke	Máquina electrostática
1698	Thomas Savery	Máquina a vapor para extraer agua en las minas de carbón
Siglo XVIII		
1707	Francis Hawkebee	Máquina eléctrica de fricción
1712	Thomas Newcomen	Máquina a vapor para bombeo de agua
1745	Van Musshenbrock y Cuneos	Botella de Leyden
1746	Benjamín Franklin	Experimentó con la botella de Lyede
1785	Charles Coulomb	Balanza de torsión
1796	Alejandro Volta	Inventó la pila de Galvani

Tabla 1.1 Avances en electricidad y tecnología (a. C- XVIII).

Fuente: Elaboración propia.

Periodo siglo XVIII

La revolución científica del siglo XVIII, benefició los avances en algunas ciencias tales como astronomía, mecánica, óptica y geometría; las cuales ya lejos de considerarse ciencias de la antigüedad fueron transformadas en prototipos modernos, cuantitativos e instrumentos físicos. Otras ciencias como la química, cambiaron un conjunto de conceptos por otros. La neumática fue creada o modificada en la revolución científica [12].

En el año 1707 Francis Hawkebee construyó en Inglaterra, una máquina eléctrica de fricción y realizó varios experimentos.

En el año 1730 Stephen Gray en Inglaterra, descubrió la conducción de electricidad enviando una carga a través de un tubo de vidrio electrizado a una bola de metal mediante una cuerda de lino [13].

En el año 1745, en Holanda el profesor Van Musshenbrock y su alumno Cuneos, de la Universidad de Leyden, inventaron la Botella de Leyden, capaz de acumular una

carga eléctrica en una esfera o en un tubo de vidrio. Se desarrollaron los primeros condensadores por E. G. Von Kleist y Van Musschenbrock de la Universidad de Leyden [7].

En el año 1746 en Filadelfia, Estados Unidos, Benjamín Franklin experimentó con la botella de Leyden y propuso la teoría de un solo fluido eléctrico. De acuerdo con la teoría un exceso de fluido produce una carga positiva y una deficiencia de fluido produce una carga negativa. Además, formuló el principio de conservación de la carga eléctrica. Entre sus estudios está la obra científica: "Experimentos y Observaciones sobre Electricidad" [7].

En el año 1776 el químico Joseph Priestley, probó que la fuerza que se ejercía entre las cargas eléctricas variaba de forma inversamente proporcional a la distancia que las separaba y que la carga eléctrica se distribuía uniformemente en la superficie de una esfera hueca, mientras que en el interior de la misma no había carga [7].

En el año 1785 el físico francés Charles Coulomb, inventó la balanza de torsión y determinó que las cargas eléctricas, que pueden considerarse en puntos geométricos, actúan entre si con una fuerza que es directamente proporcional a su magnitud e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. Publicó un tratado en el que se describía por primera vez cuantitativamente las fuerzas eléctricas, formulando las leyes de atracción y repulsión de cargas eléctricas estáticas. En su honor a dichas leyes se les llama Ley de Coulomb [11].

En 1796 en Italia, Alejandro Volta, investigó sobre las experiencias de Galvani con las ancas de rana, desarrolló la pila que lleva su nombre, consistía en una batería de discos de dos metales disímiles separados por telas humedecidas, se disponía por primera vez de una corriente eléctrica continua, iniciando las aplicaciones prácticas de la electricidad. La pila Galvani, fue perfeccionada por Humphrey Davy en Inglaterra, quien construyó una batería formada por unas doscientas placas de zinc y de cobre [11].

Periodo edad contemporánea siglo XIX- XXI

- *Siglo XIX*

Uno de los eventos más importantes desde finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX fue el advenimiento la Revolución Industrial y el desarrollo de la máquina a vapor. Estos eventos marcan la pauta para el comienzo de una nueva etapa en el pensamiento económico, surge la utilización de la máquina a vapor ocasionando un incremento en el uso de combustibles fósiles. También, empieza el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, tales como la construcción de la primera locomotora por Richard Trevithick en 1804 y la inauguración del primer barco a vapor en 1807 por Robert Fulton. Los nuevos inventos requirieron de máquinas más efectivas y recursos energéticos, incrementándose el uso del carbón, debido al desarrollo industrial [8-11].

En 1820, el holandés Christian Oersted, establece por primera vez la relación entre electricidad y magnetismo [7]. En el mismo año, Ampere presentó el primer análisis cuantitativo del fenómeno observado por Oersted y descubrió que dos corrientes que circulan en la misma dirección en dos conductores paralelos producen una fuerza de atracción y sí circulan en sentido contrario, producen una fuerza de repulsión; además, una corriente que circule en una bobina produce un campo magnético, por ejemplo el imán [7].

En el año 1826 el científico físico alemán Georg Simon de Ohm hizo un aporte a la teoría de la electricidad formulando la Ley Ohm; la cual consistía en que en un circuito la corriente es directamente proporcional a la tensión o voltaje e inversamente proporcional a la resistencia del conductor [7].

En el año 1831 Michael Faraday, demostró la posibilidad de producir el movimiento de rotación continua por electromagnetismo y descubrió el fenómeno de la inducción electromagnética, que dio lugar al invento del transformador y al generador eléctrico. Las investigaciones de Faraday culminaron con tres experimentos, que demostraron los principales aspectos del electromagnetismo [7,11].

Es de anotar, que inicialmente el desarrollo de los sistemas eléctricos se basó en las aplicaciones del electromagnetismo. A medida que los voltajes utilizados se fueron elevando, los fenómenos electrostáticos relacionados con el campo existente en el espacio entre dos conductores que están a diferente potencial fueron cobrando mayor importancia.

En el año 1832, Hipólito Pixii, fabricante de aparatos de física en París, presentó un generador eléctrico, movido a mano que tenía bobinas fijas y un imán permanente en forma de herradura, que giraba en torno de ellas y estaba equipado de un conmutador para proporcionar corriente continua.

En el año 1834 en Estados Unidos, se desarrolló el primer motor industrial eléctrico por T. Davenport.

En 1839 Jacobi inventó un motor eléctrico, el cual consistía en electroimanes montados sobre un disco móvil que se atraían y se repelían con otros electroimanes fijos [7].

En el año 1840, Faraday dio una explicación científica de la pila, quien sostuvo que la fuente de electricidad residía de acción química entre el zinc, el cobre y el electrolito.

En el año 1843 en Inglaterra, James Prescott Joule descubrió que el calentamiento producido por una corriente en un conductor es proporcional al cuadrado de la corriente, a la resistencia del conductor y al tiempo.

En el año 1851 Samuel Finley Breese Morse inventó el telégrafo; fue pionero en tecnología de información. La comunicación entre Inglaterra y Europa se hizo por medio de cables submarinos. En el año 1855 J. C Maxwell publicó su teoría de las ondas electromagnéticas y 33 años después H. R. Hertz (1857-1894), llevó a cabo la experimentación y demostración de telecomunicación inalámbrica por ondas eléctricas [7].

En el año 1860 James Prescott Joule fundó el valor numérico para la equivalencia mecánica de calor. La unidad de energía es el joule, la cual lleva su nombre. Asimismo, Jean Joseph Etienne Lenoir creó el primer motor de combustión interna quemando gas dentro de un cilindro.

En el año 1864 el físico escocés James Clerk Maxwell unificó las leyes de la electricidad y el magnetismo.

En el año 1867 George Leclanché fue premiado en la exposición universal de Paris, por inventar la primera pila eléctrica, que fue utilizada por los telégrafos belgas y por los ferrocarriles holandeses.

En 1870 Sembré Gramme presentó un generador formado por un inducido consistente en un anillo de hierro dulce, sobre el que se había enrollado un conductor de cobre aislado, que giraba entre los polos de un imán permanente estacionario.

En el año 1873, en una exposición de electricidad en Viena, el ingeniero Fontaine se dio cuenta de que la dinamo de Gramme era una máquina reversible que podía funcionar con motor eléctrico.

Alexander Graham Bell patentó el teléfono en 1876, revolucionando el mundo de las comunicaciones. En el mismo año, Jablochoff de Francia mejoró la iluminación de arco. La iluminación de arco fue presentada en una exposición en Filadelfia [8].

En el año 1878, Edison creó la Compañía Eléctrica: *The Edison Electric Light Company*. En 1879, inventó la bombilla, primera lámpara incandescente con filamento de carbón [13]. El invento permitió revolucionar todo un comportamiento y las formas de hacer las cosas en una sociedad, ganándole horas de actividad a la oscuridad de la noche e incrementándose la demanda de electricidad para la industria y el transporte. Los aportes de Edison en electricidad facilitaron el desarrollo de numerosas tecnologías, en las que la energía eléctrica juega un papel importante.

En 1879, se inauguró la primera central en San Francisco, usando iluminación de arco [14].

A partir del lunes 4 de septiembre del año 1882, Edison inauguró la primera central de generación eléctrica en Nueva York. Paralelamente, inició el desarrollo de la industria eléctrica moderna; igualmente en otros países del mundo. Aunque ya existían algunos sistemas de alumbrado que utilizaban lámparas de arco eléctrico; Edison se planteó el proyecto de diseñar un sistema que fuera superior al existente en seguridad, comodidad y precio. Sin embargo, el sistema fue similar al sistema anterior, una central para la producción de electricidad y una red de distribución para hacer llegar la energía eléctrica [14].

En el año 1883, Gaulard y Gibbs desarrollaron el transformador industrial, con base en el descubrimiento de Faraday. El invento del transformador hizo posible la elevación eficiente y económica de la tensión utilizando corriente alterna.

En el año 1883 Nikola Tesla, inventó los sistemas polifásicos. En 1886 desarrolló un sistema polifásico de inducción, facilitando las aplicaciones de corriente alterna. En 1887 patentó en Estados Unidos, un sistema de transmisión de energía eléctrica trifásico. En el año 1893 consiguió transmitir energía electromagnética sin cables construyendo el primer radio transmisor. Asimismo, hizo una exposición pública en Chicago de la corriente alterna, demostrando su superioridad a la corriente directa o continua propuesta por Edison. En el año 1981 Tesla inventó la bobina que lleva su nombre.

En 1884 Parsons patentó la máquina a vapor y puso en funcionamiento el primer turbogenerador, que giró a una velocidad de 1,800 revoluciones por minuto. En 1892, construyó la primera turbina con condensador [13].

En el año 1888 Nikola Tesla inventó un motor de inducción y un sistema de corriente alterna polifásico (USA).

En 1891, George Westinghouse, logró transmitir electricidad a través de corriente alterna, a 3.3 kV por 13 millas a Oregon [15]. En el año 1896, inauguró el proyecto hidroeléctrico las Caídas del Niágara³, en el que logró demostrar la superioridad de la transmisión de corriente alterna sobre corriente continua. La central hidroeléctrica del Niágara transmitió cantidades masivas de electricidad a Búfalo, Nueva York, a más de 20 millas de distancia.

- *Siglo XX y XXI*

En el año 1907, Guillermo Marconi desarrolló comercialmente la radio.

En el año 1900, entró en servicio la línea de transmisión de 60 kV entre la planta hidroeléctrica de Necaxa y la ciudad de México, con una longitud de 154 km; en aquel momento fue la línea de transmisión más elevada del mundo. En 1903, se diseñó en Francia la primera turbina de gas exitosa [8].

En el año 1906, los estadounidenses Just y Haran construyeron una lámpara eléctrica en la que se reemplazaba el filamento por wolframio.

En el año 1907 J Spangler inventó la aspiradora eléctrica. En el mismo año, A. Fisher inventó la lavadora eléctrica [11].

En el año 1909 se inauguró la primera planta de bombeo para almacenamiento, 1500 kV, Shlaffhausen en Suiza [11].

En 1910 lámparas de Neón; en 1911 se inventó el primer aire acondicionado por W Carrier en Estados Unidos. En 1913 A. Goss inventó el primer refrigerador eléctrico. En 1920 se inauguró en Estados Unidos la central para quemar carbón pulverizado. En 1922 centrales eléctricas de 175 MW. En 1923 V. Zworykin inventó el primer televisor. En el año 1930; transmisión de 240 kV. F Whittle en el Reino Unido patentó un motor aéreo [15].

³ DOE/IEA (2000).

A partir de la década de los 40's, se empezaron a desarrollar sistemas de transmisión con corriente continua a alta tensión. La primera instalación industrial de este tipo entró en servicio en Suecia en 1954, transmitiendo 20,000 kV a una distancia de 97 Km. a través de un cable submarino a una tensión de 100 kV, se utilizaron equipos rectificadores e inversiones en alta tensión, constituidos por válvulas de arco de mercurio con rejilla [8].

En 1942, fue operado el primer reactor nuclear E. Fermi's en los laboratorios de Chicago en Estados Unidos. En 1947 se inventó el transistor y la más alta temperatura de vapor alcanzó 1000 Fahrenheit [8,15].

En 1953, se inauguró la primera línea de transmisión de 345 kV. En 1957 inició la operación de la central nuclear Shippingport. En 1962 empezó la primera central nuclear en Canadá Rolphton. En 1967 comenzó la operación del primer reactor nuclear comercial CANadian Deuterium Uranium CANDU. En 1974, un número de plantas nucleares en operación y construcción alcanzaron su nivel más alto [15].

En 1993 empezó la producción comercial de turbina de viento de velocidad variable en Estados Unidos [15].

Otras innovaciones importantes son: el transistor, la computadora, PC, FACTS y red inteligente RI [16-18].

La Tabla 1.2 muestra las innovaciones más importantes en electricidad y tecnología; siglos XIX- XX y XXI.

Año	Inventor	Aporte
Siglo XIX		
1802	Trevithick	Primera locomotora
1820	Christian Oersted	Relación entre electricidad y magnetismo.
1831	Michael Faraday	Teoría de la inducción electromagnética
1832	Piseri	Generador manual.
1834	Davemport	Primer motor eléctrico
1839	Jacobi	Motor eléctrico alimentado por una batería
1849	Francis	Desarrollo de la turbina hidráulica moderna
1851	Samuel Finley Breese Morse	Inventó el telégrafo

Año	Inventor	Aporte
Siglo XIX		
1861	Jedlic-Siemens	Generador eléctrico
1879	Thomas Alba Edison	Inventó la bombilla incandescente.
1882	T. Alba Edison	Primer sistema eléctrico en Nueva York.
1883	Nikola Tesla	Inventó los sistemas polifásicos
1886	Otto	Motor Otto a gasolina
1896	George Westinghouse	Demostró la superioridad AC sobre la DC.
Siglos: XX y XXI		
1900		Entró la línea de transmisión de alto voltaje 60 kv.
1907	J Spangler	Inventó la aspiradora eléctrica
1909		Primera planta de bombeo para almacenamiento
1911	W Carrier (USA).	Primer aire acondicionado
1920		Invencción del motor diesel
1942	Enrico Fermi	primer reactor nuclear E. Fermi (USA)
1957		Energía Nuclear comercial Shippingport
1951-1958	Eckert Mauchly	Computadoras de primera generación
1960	J.C.R. Licklider	Internet
1959-1964		Computadoras segunda generación (transistor compatibilidad limitada)
1964-1971		Computadoras tercera generación (circuitos integrados, multiprogramación y minicomputadora.
1965	Richard Feynman	Nanotecnología
1970		Electrónica de potencia sistemas flexibles
1991	William Shockley	Transistor
1992	Electric Power Research Institute (EPRI)	Controladores a base de electrónica de potencia (FACTS)
1971a la fecha		Computadoras cuarta generación (microprocesador y chips de memoria).
2009-2012	Southern California-Edison	Circuito AVANTI (Demostrar tecnologías avanzadas en circuitos de distribución, instalación de medidores inteligentes, infraestructura para recargar vehículos eléctricos).
Actual investigación		Red Inteligente RI basada en tecnologías de información (sensores y sistemas de medición avanzada, redes de comunicación y procesamiento de datos, sistemas de control).

Tabla 1.2 Avances en electricidad y tecnología siglo XIX-XXI.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.3. Eventos Históricos Importantes

La Gran Depresión en Estados Unidos (1929-1932).

En 1945 se empleó la bomba atómica y se estableció la Ley de Energía Atómica en 1946.

Un evento importante es el accidente de la central nuclear en la isla de tres millas en Pennsylvania (USA) en 1979.

Otro es un apagón en el noroeste de Estados Unidos en 1965.

La década de los 70's se caracterizó por el impacto de los choques petroleros (1973-1979) en la economía energética mundial.

En 1986 fue la explosión de la central nucleoelectrica de Chernóbil en Ucrania (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas - URSS).

En el año 1988 científicos de la NASA, encabezados por J. Hansen presentaron al Congreso de Estados Unidos, la importancia de tomar en cuenta los efectos de las emisiones de gases efecto invernadero.

En el año 1978 se creó la Public Utility Regulatory Act (PURPA) en Estados Unidos, la cual dio inicio a un cambio de paradigma institucional y regulatorio.

En el año 2000, se presentó un desabastecimiento eléctrico en el Estado de California, debido a los efectos negativos de la reforma eléctrica, la cual puso en duda los procesos de desregulación de los mercados eléctricos en varios países del mundo.

Un apagón en Estados Unidos en el 2003, debido a una falla en una línea en Ohio; el apagón interrumpió el suministro eléctrico, a nueve Estados y una provincia de Canadá. En el 2011, tsunami en Japón afectó la central nuclear de Fukushima. La Tabla 1.3 muestra los eventos más importantes que han incidido en el desarrollo de la industria eléctrica en el mundo.

Año	Eventos
1929-1932	“La Gran Depresión”
1945	Segunda Guerra Mundial(Bomba atómica)
1965	Apagón en el noroeste de Estados Unidos
1973	Embargo petrolero, guerra Irán e Irak.
1979	Accidente nuclear en la Isla Tres Millas Pennsylvania
	Segundo choque petrolero
1986	Explosión central en Chernóbil en Ucrania
2000	Crisis eléctrica en el Estado de California
2003	Apagón en Nueva York.
2011	Tsunami en Japón afectó la central nuclear de Fukushima.

Tabla 1.3 Eventos históricos importantes de 1929 a 2011.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

1.2.1. Evolución en el proceso de generación eléctrica

Un sistema eléctrico de potencia puede definirse por el conjunto de cargas electrostáticas de magnitud constante o variable a través de un medio apropiado para su uso al otro extremo, produciendo luz o calor [19]. Los elementos interconectados que llevan la energía desde su producción en las centrales eléctricas, hasta los centros de consumo. Los principales elementos son: las plantas generadoras, subestaciones de potencia, líneas de transmisión, subestaciones de distribución, redes de distribución y los centros de consumo.

Con base en lo anterior, del lado del suministro existen cuatro actividades en las que se divide un sistema eléctrico: generación, transmisión, distribución y comercialización. La Figura 1.1. muestra el esquema de las diferentes fases de un sistema eléctrico.

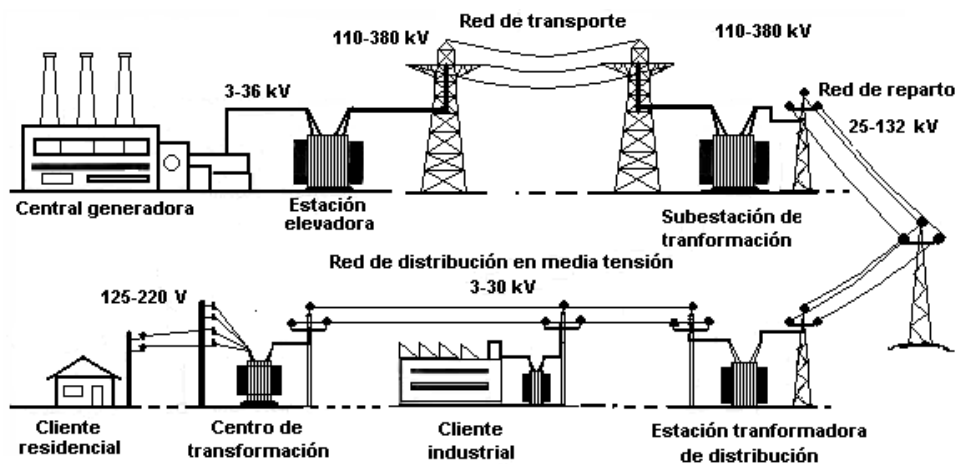


Figura 1.1 Fases de un sistema eléctrico.

Fuente: (CFE, 2009).

Evolución de las Fuentes de Generación Eléctrica

El proceso de generación consiste en la producción de electricidad en centrales, mediante el uso de energéticos naturales o de alguna transformación de éstos para la producción de electricidad a alto voltaje. La producción de electricidad se realiza a través de la combinación de procesos mecánicos y térmicos. Entre los procesos térmicos están: las centrales termo solares, geotérmicas, térmicas de carbón, petróleo o biomasa, termonucleares y los ciclos combinados de gas. Procesos mecánicos: los molinos de energía eólica y las centrales hidráulicas o el efecto fotoeléctrico mediante el cual una célula, las llamadas fotovoltaicas, de un material semiconductor, generalmente silicio, convierte la luz solar en electricidad.

Entre las fuentes de energía no renovables se encuentran los combustibles fósiles: carbón, gas natural y derivados del petróleo tales como combustóleo, gas licuado, y diesel (Para mayor detalle, ver el anexo A). Las principales fuentes renovables de energía son: la solar, el viento, las mareas, la geotermia, la hidráulica y la energía contenida en los desechos orgánicos.

La energía eléctrica suministrada por un sistema eléctrico procede principalmente de alguna de las siguientes fuentes [7]:

- Aprovechamiento de las caídas de agua
- Combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón)
- Fisión nuclear
- Otras fuentes que han tenido una utilización limitada son la energía geotérmica y la producida por las olas y mareas
- En forma intermitente la fuerza del viento y la energía solar

En la producción de electricidad, el agua juega un papel importante ya que se utiliza para mover las turbinas hidráulicas en las centrales hidroeléctricas y como vapor para mover las turbinas de vapor en las centrales termoeléctricas, carboeléctricas, nucleoeeléctricas y geotermoeléctricas. El agua también se utiliza para condensar el vapor una vez que se ha expandido en las turbinas de vapor.

En una central termoeléctrica la energía química del combustible se transforma en energía calorífica para producir vapor, éste se conduce a la turbina donde su energía cinética se convierte en energía mecánica, que a su vez se convierte en energía eléctrica. Las partes principales son: generador de vapor o caldera, que tiene por objetivo calentar el agua, vaporizarla y recalentar el vapor; turbina de vapor, donde la energía almacenada en el vapor a presión y temperaturas altas se transforma en energía mecánica; generador de corriente alterna o alternador, que convierte la energía mecánica que le proporciona la turbina de vapor en energía eléctrica. La Figura 1.2 muestra el proceso de transformación de un combustible en energía eléctrica [20].

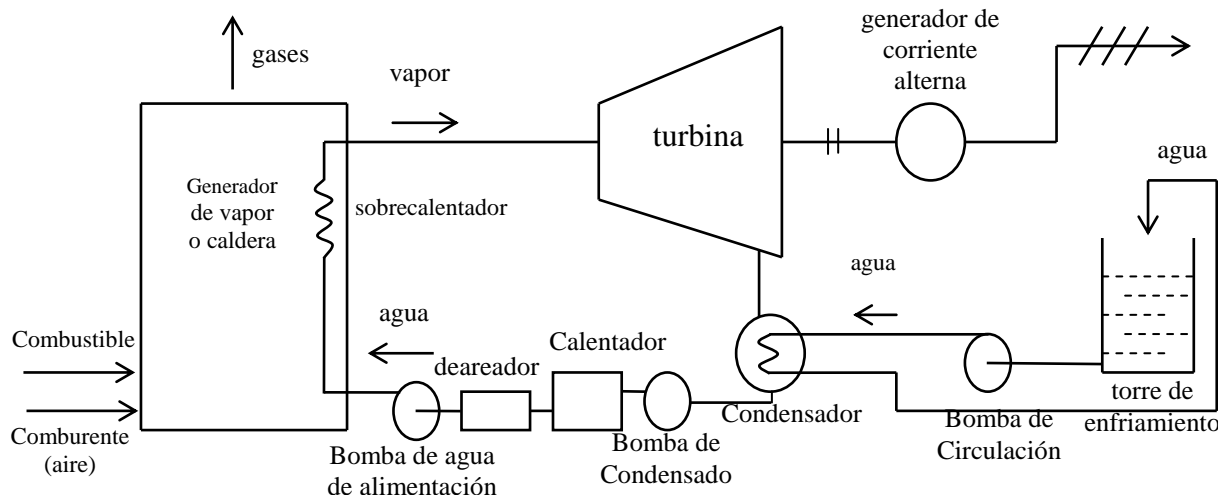


Figura 1.2 Proceso de transformación de un combustible a energía eléctrica.

Fuente: (CFE, 2009).

Las distintas tecnologías tienen diferentes estructuras de costos. Los componentes principales del costo de generación de electricidad son el precio de los combustibles en el lugar de consumo, los costos de capital y los costos de mantenimiento y operación. Los costos dependen también del desempeño de la tecnología de generación (factor de capacidad, eficiencia térmica y vida útil)⁴.

Avances en Tecnologías basadas en Combustibles Fósiles

En la actualidad existe una diversidad de tecnologías para generar electricidad con combustibles fósiles, las cuales se mencionan a continuación.

- ***Combustión del Carbón Pulverizado***

La tecnología combustión de carbón pulverizado es actualmente una tecnología dominante para generar electricidad a partir del carbón. A nivel mundial cuenta con más del 97% de la capacidad instalada con dicha tecnología. El promedio global de eficiencia en centrales es del orden del 34%, la cual se ha mantenido desde la

⁴ El factor de capacidad es la utilización de capacidad. La eficiencia térmica es la capacidad para generar electricidad por unidad de combustible. La vida útil es la vida programada de una central.

década pasada; países como China e India han aumentado la capacidad instalada de las centrales con dicha tecnología. Algunos países tienen como estrategia de política, cerrar las centrales menos eficientes. La tecnología ha sido desarrollada para reducir las emisiones de partículas (PM), dióxido de Carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x). En la práctica, los niveles de reducción de emisiones logradas, dependen de los requisitos de legislación nacional o regulaciones locales, más no de la capacidad de tecnologías modernas de control de contaminación [25].

- *Combustión del Carbón en Lecho Fluidizado*

La tecnología combustión del carbón en lecho fluidizado, ofrece una alternativa a la tecnología combustión de carbón pulverizado, para generar electricidad a partir del carbón. Actualmente, es empleada en casos particulares donde la flexibilidad del combustible es requerida. La tecnología se utiliza en centrales que utilizan carbón de baja calidad, biomasa y desechos en general. A nivel mundial hay cientos de centrales que operan con esta tecnología [25].

- *Ciclo Combinado Gas Natural*

Desde las dos últimas décadas la tecnología ciclo combinado gas natural, ha sido optada para generar electricidad en países de la OCDE⁵ y algunos que no pertenecen a la OCDE; dadas las ventajas que presenta: altas eficiencias, bajos costos de capital, menores tiempos de construcción y bajas emisiones de CO₂; potencialmente ofrece mayores ventajas que las centrales que utilizan carbón. La disponibilidad y los costos relativos del carbón y del gas natural han determinado en gran parte la elección de la tecnología. [25].

- *Gasificación Integrada Ciclo Combinado*

Las centrales con tecnología gasificación integrada ciclo combinado, representan emisiones intrínsecamente más bajas en algunos contaminantes, comparadas con las centrales ciclo combinado. La electricidad es producida por el ciclo combinado de

⁵ Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.

turbinas de gas y vapor. Los futuros diseños ofrecen una eficiencia potencial de más del 50%. Esta tecnología se ha desarrollado en países tales como China, Estados Unidos, Japón y Europa. Sin embargo, aún hace falta eliminar algunas barreras técnicas antes de que sea ampliamente desarrollada [25].

Avance tecnológico en el proceso de separación y confinamiento de CO₂

La separación y almacenamiento geológico de CO₂ es una tecnología que integra tres procesos: 1) la separación de CO₂; 2) el transporte y 3) el confinamiento geológico. Cada uno de los procesos es técnicamente viable y ha sido demostrado individualmente con relación a la generación eléctrica [25].

Para agilizar la evolución de dicha tecnología en la generación eléctrica, los gobiernos de la OCDE deberán aumentar la financiación para proyectos de demostración de la separación y confinamiento de CO₂⁶. Además, los mecanismos deberán ser establecidos para estimular la comercialización más allá del 2020; mediante acuerdos, estímulos a la reducción de gases efecto invernadero, reembolsos u otros mecanismos de financiamiento. También deberá ser rápidamente desarrollada en países en vías de desarrollo.

- *Separación de CO₂*

Actualmente existentes tres métodos para separar el CO₂: 1) pre combustión; 2) oxí-combustión y 3) post-combustión. El primero se realiza antes de la combustión, tras la gasificación previa. La oxícombustión consiste en quemar el carbón en presencia de oxígeno puro en lugar de aire, durante la combustión; en cuyo caso los gases resultantes contienen un 95% de CO₂. El siguiente proceso es la post-combustión. Actualmente, los tres métodos de separación del CO₂, tienen una penalidad significativa a la energía a la central base. Se espera que esta penalidad a la energía pueda ser reducida a través de investigación y desarrollo y la experiencia de la operación de centrales en escala [25].

⁶ Separación y confinamiento de CO₂ (CCS, por sus siglas en inglés).

- *Confinamiento de CO₂*

Se entiende como confinamiento de CO₂, la inyección de CO₂ en formaciones geológicas, tales como las formaciones salinas, depósitos de petróleo y gas, los cuales proporcionan la oportunidad de confinar grandes cantidades de CO₂. Se han realizado varios proyectos con esta técnica, principalmente en Estados Unidos y Canadá. En su gran mayoría dichos proyectos utilizan CO₂ para la recuperación en aumento del petróleo, otros buscan establecer un almacenamiento a largo plazo. Existe la necesidad urgente de avanzar hacia el conocimiento global de oportunidades de confinamiento. Aunque los avances en yacimientos agotados de petróleo y gas ofrecen oportunidades de bajo costo; las formaciones salinas profundas representan la opción más viable en el largo plazo. Algunas regiones han planeado adecuadamente el potencial de almacenamiento de CO₂ de estas formaciones. También, se deberá desarrollar los métodos internacionales comunes para la selección del sitio de almacenamiento de CO₂, la comprobación y evaluación del riesgo [25].

Avances en tecnologías basadas en fuentes renovables de energía

Desde el inicio de las civilizaciones las principales fuentes de energía utilizadas por el hombre fueron las renovables. Tales como las corrientes de agua para desplazarse a grandes distancias, el viento para la molienda de granos y la leña para la cocción e iluminación. La energía hidráulica no solamente se utilizó en los molinos de granos, además en serrerías, batanes, molinos de martinetes para la forja de los metales, molinos para triturar mineral y otros usos más. Igualmente, la energía del sol. Hoy en día, estas fuentes son llamadas fuentes renovables de energía y pueden generar electricidad con muy bajas emisiones de CO₂ en el ciclo de vida. La disponibilidad local de dichas fuentes puede ayudar a disminuir la dependencia energética e incrementar la seguridad energética de los países.

Las fuentes renovables hidroelectricidad, geotermia y biomasa han permanecido durante décadas y fueron inicialmente construidas en localidades con abundantes recursos. En la actualidad, las tecnologías del viento y solar se han desarrollado

rápidamente. La tecnología geotérmica y oceánica se encuentra en estado de demostración y requieren a futuro de investigación, demostración y desarrollo. A continuación se mencionan.

- *Energía Solar*

El primer motor impulsado por energía solar fue desarrollado por el francés Mouchout, en el año 1860. El motor consistía en un vaso encerrado en una caldera de hierro con reflectores que concentran la radiación solar para hervir el agua y operar una pequeña máquina de vapor. William Adams, mejoró la máquina solar por reflectores de radiación solar con 72 espejos a una caldera de cobre elevada sobre una torre y fue posible producir tres veces más energía que la máquina solar de Mouchout. Otras modificaciones fueron realizadas por Charles Tellier, John Ericsson, Henry E. Willsie [8].

En el año 1907, Maier de Salen y Remshardt de Stuttgart obtuvieron una patente para un dispositivo que usaba directamente la radiación solar para la generación de vapor. En el año 1912 Shuman utilizó esta tecnología para construir una central de colectores cilíndrico parabólicos de 45 kW de seguimiento del sol en Meadi, Egipto [8].

La utilización de la energía solar puede utilizarse de forma directa, a través de un proceso termodinámico o por conversión fotovoltaica en electricidad; o en forma indirecta mediante el aprovechamiento de la energía del viento y de las olas, del gradiente térmico de los mares tropicales y de la biomasa. La energía hidroeléctrica es una forma indirecta de aprovechamiento de la energía solar [7]. Los principales sistemas para la utilización de la energía solar son: conversión foto-térmica y conversión foto-voltáica.

En la conversión foto-térmica para obtener temperaturas suficientemente altas del fluido que se utiliza en una planta termoeléctrica se utilizan colectores solares de concentración de los cuales existen tres tipos [26]:

- De cilindro parabólico: consiste en una superficie reflejante de sección parabólica, que concentra la radiación solar en un tubo colocado a lo largo de la línea focal, por el que circula un fluido que extrae el calor producido por la radiación solar concentrada. Puede obtenerse temperaturas hasta 400 °C.
- De paraboloide: consiste en un espejo cuya superficie es un paraboloide de revolución que concentra los rayos solares en un receptor colocado en el foco del paraboloide, el cual absorbe la radiación solar concentrada convirtiéndola en calor que es extraído por un fluido. Pueden obtenerse temperaturas hasta 1,500 °C.
- De torre central: consiste en un conjunto de espejos, los cuales se orientan siguiendo la posición del sol y reflejan la radiación solar para concentrarla en un receptor montado en una torre central, la energía térmica producida en el receptor se transfiere a un fluido. Pueden alcanzar temperaturas de más 500°C.

En la conversión fotovoltaica se utilizan celdas construidas por la combinación de semiconductores y la incidencia de la luz produce la emisión de electrones que causan una diferencia de potencial del orden de 0.5 voltios, si los dos lados de la celda fotovoltaica se concentran a través de un circuito externo, circulará por éste una corriente continua, directamente proporcional a la cantidad de luz incidente y al área de la celda. La eficiencia de conversión de energía solar en energía eléctrica es del orden del 10% a 15%, sin embargo con celdas y disposiciones especiales se han alcanzado eficiencias del 30%.

Las celdas fotovoltaicas se han utilizado para producir electricidad en localidades remotas, en donde no llegan los sistemas de distribución de energía. Sin embargo, actualmente se promueve en varios países la conexión a la red eléctrica de grandes

paneles de celdas, colocadas en los techos de los edificios, que es necesario convertir la corriente que produce las celdas en corriente alterna [34].

Las tendencias tecnológicas en los dispositivos que se alimentan de radiación solar son las siguientes [27]:

Solar térmica: en baja temperatura especialmente la integración arquitectónica y la hibridación con otras formas energéticas, las procedentes de cogeneraciones. En alta temperatura, desarrollo de dispositivos que funcionen a la máxima temperatura compatible con los materiales para la aplicación en turbinas de gas y en motores Stirling; química solar para la obtención de materiales de acumulación de energía y nuevos combustibles. En un futuro no muy lejano, puede surgir la utilización de la nanotecnología para nuevas superficies absorbentes y refractantes.

Fotovoltaica: Las dos líneas básicas tradicionales de concentración y de película delgada probablemente seguirán siendo las más importantes.

- *Energía Eólica*

Los molinos de viento es una de las fuentes de energía mecánica más antiguas. Se caracterizaron por ser toscos aparatos de madera y pocos generaban más de 10 (CV). En la década de los 50's en Estados Unidos, había alrededor de unos 300,000 molinos de viento para bombeo. También, se construyó un generador de viento de 1,250 kW en Grandpa's Nov, Vermont y en Gran Bretaña otro de 100 kW en Costa de Hill en las Islas Orcadas [8].

La navegación a vela constituye la aplicación más antigua de la energía eólica. Desde mediados del tercer milenio había embarcaciones de vela que atravesaban el mediterráneo oriental; a partir de entonces se desarrolló y perfeccionó a tal grado que hasta el siglo XIX fue el procedimiento universal para el transporte marítimo de carga y de pasajeros [13].

El desarrollo tecnológico y comercial de la energía eólica se ha dado en relación con el tamaño promedio de la turbina. A mediados de los años 70's, el diámetro de la turbina fue de 10 metros, actualmente es de 126 con variados MW de capacidad instalada. Las turbinas modernas han sido diseñadas para una vida útil de 20 años. En el pasado, los avances se enfocaron en la ampliación en el tamaño de la turbina; en la inclinación de la variable rotor, los conductores directos, los sistemas de conversión variable-velocidad, energía electrónica, mejores materiales y entre el peso de los materiales y la capacidad de generación.

En la actualidad la energía del viento, se considera el segundo gran contribuidor de electricidad renovable después de la hidroelectricidad. Las turbinas de viento pueden alcanzar grandes economías de escala. Además, tales turbinas generan electricidad a partir de las velocidades del viento que van desde 15 km/h a 90 km/h. La producción de energía eólica varía a medida que el viento sube y baja. La innovación tecnológica debe seguir mejorando en materiales más resistentes, la captación de energía por el rotor, sobre todo a bajas velocidades, en terrenos complejos y condiciones turbulentas, para aumentar el tiempo en alta mar de las centrales en operación, reducir los requerimientos de operación y mantenimiento, extender la duración de la vida útil de la turbina y reducir los costos de los componentes. También, se requiere investigación, desarrollo y demostración para mejorar la tecnología de transmisión y diseño y avances en las redes inteligentes que mejoren la flexibilidad general de los sistemas de alimentación y permitir el funcionamiento con una proporción de la energía eólica [25].

A finales del 2007 la capacidad instalada a nivel mundial fue del orden de 93, 916 MW. Alemania ocupa el primer lugar con una capacidad instalada de 22,289 MW; le sigue Estados Unidos con 16,189 MW; España con 15,145 MW; India con 7,845 MW, China con 5,903 MW y Dinamarca con 3,139 MW [22].

- *Energía Oceánica*

Desde la antigüedad la energía de los océanos ha sido aprovechada. Existieron los molinos de mareas en las costas atlánticas de Francia y España. Los océanos de la que intercambian con su entorno en diversas formas. Asimismo, representan una importante forma de control, tanto de la temperatura como del CO₂ del que son un importante sumidero. Actualmente esta tecnología se encuentra en estado de desarrollo, comparada con otras tecnologías renovables. La energía oceánica puede dividirse en las siguientes categorías: aumento de la marea y caída, olas, corrientes marinas, gradiente térmico y gradiente salino [25].

Marea: Se entiende por marea el movimiento periódico alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, que es producido por las acciones gravitatorias del sol y de la luna; asimismo influye el movimiento de rotación de la tierra. El sistema consiste en retener el agua en el momento de la marea alta y liberarla, obligándola a pasar por las turbinas durante la bajamar. Cuando la marea sube el nivel del mar es superior al del agua del interior, abriendo las compuertas para que el agua pase de un lado a otro del dique y el movimiento hace que se muevan las turbinas que accionan unos generadores de corriente eléctrica. Cuando la marea es baja, el nivel del mar es inferior al del río, por lo que el movimiento del agua es en sentido contrario y se aprovecha para producir electricidad. Esta tecnología se conoce desde la antigüedad, la cual fue aplicada para mover los primitivos molinos de marea egipcio [8]. Se considera que en algunas regiones costeras, las mareas pueden alcanzar amplitudes de más de 8 metros, debido a la configuración de las costas. Asimismo, mediante la construcción de diques puede almacenarse agua durante la marea alta y aprovechar la diferencia de nivel que se crea al bajar la marea para generar energía mecánica y eléctrica utilizando la tecnología de las plantas hidroeléctricas. Actualmente, existe una pequeña planta experimental en el mar Kislaya en Rusia.

Olas: las olas que se producen en el mar son inducidas por los vientos, de las que aprovechan parte de su energía. Las olas no son constantes, ya que el viento no lo es y resulta complicado determinar la energía que transportan. La búsqueda de nuevas fuentes de energía, está propiciando que países avanzados estén invirtiendo en el estudio de nuevos sistemas para captar la energía de olas. Países tales como Gran Bretaña, Estados Unidos, Japón, Suecia, Finlandia y Holanda, están realizando proyectos en investigación, desarrollo y los expertos recomiendan a países costeros la posibilidad de desarrollar proyectos en ese campo; así como el caso de España, que está estudiando la posibilidad de su aprovechamiento en las islas Canarias [27].

Corrientes Marinas: la tecnología de la energía de corrientes marinas para generación eléctrica, aún no es una tecnología madura, se encuentra en la etapa inicial de desarrollo.

Gradiente Térmico: la diferencia de temperatura entre las capas superficiales y las zonas profundas del agua de los océanos, también son susceptibles de aprovechamiento energético. Aún no hay tecnologías concretas que hagan económicamente viable el proceso.

Gradiente Salino: donde el agua dulce se mezcla con la salada es el gradiente de salinidad. La energía asociada, con la resultante de gradiente de salinidad se puede aprovechar, utilizando una presión retardada inversa del proceso de osmosis y asociadas con tecnologías de conversión. El primer prototipo de planta fue comisionada en octubre de 2009.

La tecnología oceánica necesita superar algunas barreras técnicas. En el desarrollo de proyectos politos, se requiere considerar aspectos específicos de las tecnologías y tener una gran escala con el fin de soportar las condiciones de alta mar. Tales proyectos son costosos, al mismo tiempo conllevan un alto riesgo y requieren soporte del gobierno. Si los proyectos piloto son exitosos, la confianza en los inversionistas crece y es más fácil la financiación comercial [25].

- *Energía Geotérmica*

La energía geotérmica es calor extraído desde la tierra. La generación de electricidad a partir de esta fuente utiliza principalmente calor a alta temperatura, por ejemplo en regiones tectónicamente activas cerca de las zonas de ruptura y zonas calientes. En países como Indonesia, Filipinas, Japón, Nueva Zelanda, América Central y la costa oeste de Estados Unidos y las zonas de ruptura de Islandia y África Oriental. La penetración instalaciones de energía geotérmica a gran escala es limitada [25].

Actualmente los avances tecnológicos, especialmente para las centrales binarias han dado lugar a la producción de electricidad mediante sistemas geotérmicos mejorados en cualquier lugar del mundo. Pero, las preocupaciones ambientales incluidas las referentes a la inducida sismicidad, hundimiento del suelo y el uso del agua, han condicionado la difusión de los sistemas geotérmicos ampliamente. Algunos avances que se esperan, están relacionados en mejores métodos para obtener más estimaciones precisas del potencial del recurso antes de perforar, mejores métodos de perforación y equipos, alta temperatura más confiable y bombas de presión de fondo de pozo, herramientas de registro, mejores métodos para la creación de reservorios profundos caliente y un mejor control o la mitigación de la sismicidad inducida [25].

La roca seca caliente (*Hot Dry Rock*, HDR) es una tecnología para recuperar calor desde la superficie de la roca para generar electricidad. Un tipo de sistema de producción de energía geotérmica, la cual utiliza las altas temperaturas que pueden encontrarse en las rocas a unos pocos kilómetros bajo tierra. Esto se hace por bombeo de agua de alta presión hacia abajo de un pozo en la zona de calor. El agua viaja a través de las fracturas de la roca, capturando el calor de la roca, hasta que el calor es forzado a salir de un segundo pozo como agua muy caliente. La energía térmica se convierte en electricidad mediante una turbina de vapor o en un sistema binario de central de energía. Toda el agua enfriada se inyecta en el terreno para que nuevamente se caliente. Dicha tecnología ha sido demostrada en sitios

experimentales en los Estados Unidos, Europa y Japón. Por ejemplo el experimento en Fenton Hill, Nuevo México, en 1995 [28].

- *Energía Hidráulica*

Es el aprovechamiento de la energía potencial gravitatoria y cinética del agua (energía hidráulica) que se transforma en energía mecánica. Dicha energía ha sido importante para el desarrollo de las actividades del hombre a través de la historia; así por ejemplo los molinos de agua para moler granos, serrerías y herrerías.

Con el auge de la industria eléctrica en el siglo XIX, se empezaron a desarrollar diversos proyectos hidroeléctricos en el mundo. Entre ellos la Central de Niágara en Estados Unidos. Inicialmente pareció que los grandes ríos del mundo ofrecían oportunidades casi limitadas, para la generación de energía eléctrica, pero en la práctica los requisitos que debían cumplir limitaban el número de instalaciones apropiadas. En la primera mitad del siglo XX se terminaron importantes proyectos hidroeléctricos a nivel mundial, pero su contribución no pudo seguir el ritmo de crecimiento de la industria eléctrica. En el año 1925 el 40% de la electricidad se generó a través de centrales hidroeléctricas, en el año 1970 disminuyó en un 25% [8]. Actualmente la hidroelectricidad representa el 20% de la generación eléctrica a nivel mundial.

El aprovechamiento de la energía potencial del agua para generar electricidad, involucra la realización de obras tanto civiles, hidráulicas y electromecánicas. Siendo el agua un recurso renovable ha ganado una gran aceptación en el mundo para la generación de electricidad, debido a su disponibilidad, a que no contamina y a que produce trabajo a temperatura ambiente.

El uso de las centrales hidroeléctricas por lo general está restringido por la disponibilidad de los recursos hidrológicos de un país. Las partes principales de una central hidroeléctrica son: presa o embalse superior, tubería de conducción, pozo de oscilación, vaso regulador, turbinas hidráulicas, canal de desfogue y generador de corriente alterna o alternador.

A nivel mundial se estima que la energía hidroeléctrica ya ha llegado a su madurez tecnológica y ha alcanzado la mayoría de su potencial en muchos países desarrollados [7]. La participación de hidroelectricidad en generación eléctrica es alta en Latinoamérica y Canadá. China, países de la OCDE y Latinoamérica cuentan con el 80% de la producción hidroeléctrica en el mundo. Se considera que las hidroeléctricas pequeñas tienen un gran potencial en África, Asia y Sur América [25].

Las grandes instalaciones de energía hidráulica pueden ser más controvertidas. A menudo se altera la disponibilidad de agua río abajo, puede causar el traslado de poblaciones y tienen un impacto significativo sobre los ecosistemas existentes. El desarrollo de proyectos hidroeléctricos a gran escala puede ser limitado por las preocupaciones sociales y medio ambientales. Los esfuerzos en investigación se dirigen hacia mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. La renovación instalaciones existentes con las modernas turbinas a menudo ofrece una forma relativamente barata para aumentar la capacidad hidráulica.

- *Bioenergía*

Las tecnologías para los propósitos de generación de electricidad son: la combustión, la co-combustión, gasificación y la digestión anaeróbica. La biomasa es una opción interesante para la producción de electricidad en algunas partes del mundo donde el suministro de residuos de la agricultura o la industria de productos forestales son abundantes. Pero el rápido desarrollo de tecnologías de segunda generación, tales como los biocombustibles líquidos para el transporte puede crear competencia con las materias primas, es decir crear una competencia entre los dos usos (combustibles para el transporte y los alimentos) [25].

La co-combustión de biomasa con carbón es cada vez más utilizada, porque ofrece beneficios de emisiones de contaminantes y CO₂, sin requerir modificaciones a las centrales de carbón existentes y solamente con una pequeña reducción en la eficiencia de la central. La co-combustión, también puede agregar valor económico a

los residuos agrícolas o forestales que de otra manera a menudo son eliminados a través de la quema. En países en vías de desarrollo puede utilizarse co-combustión como opción de bajo costo para reducir emisiones.

La digestión anaeróbica es otra manera de convertir los residuos orgánicos en biogás especialmente metano. El gas se puede utilizar para mover un motor y producir electricidad. Esta tecnología es útil, especialmente en países en vías de desarrollo para la electrificación rural en pequeña escala.

Los avances se dirigen hacia la confiabilidad, la viabilidad económica y la eficiencia en los sistemas de gasificación. Otros objetivos incluyen mejorar la eficiencia, incrementar la producción para alimentos y la optimización de la cadena logística y la producción [25].

Avances en las tecnologías basadas en energía nuclear

Las centrales nucleoelectricas operan con el mismo principio que las centrales termoeléctricas convencionales: se utiliza calor para producir vapor. En dichas centrales, la energía calorífica se obtiene de la fisión del uranio enriquecido. La utilización de la energía nuclear a escala industrial, está basada en el proceso de la fisión nuclear. La energía de las fisiones que ocurren en el interior del reactor nuclear hace que se caliente el agua en la vasija, la cual se convierte en vapor para mover una turbina e impulsar el generador donde se produce la energía eléctrica.

A nivel mundial se han construido diferentes tipos de reactores (caracterizados por el combustible, moderador y refrigerante empleados) para la producción de energía eléctrica. Por ejemplo, en Estados Unidos, con pocas excepciones, los reactores para la producción de energía emplean como combustible nuclear óxido de uranio isotópicamente enriquecido, con un 3% de uranio 235. Como moderador y refrigerante se emplea agua normal muy purificada. Un reactor de este tipo se denomina reactor de agua ligera (LWR). En el reactor de agua a presión (PWR), una versión del sistema LWR, el refrigerante es agua a una presión de unas 150

atmósferas. El reactor de agua en ebullición (BWR) es otro tipo de reactor de agua ligera, el agua de refrigeración se mantiene a una presión algo menor, por lo que hierve dentro del núcleo. El vapor producido en la vasija presurizada del reactor se dirige directamente a las turbinas, se condensa y se bombea de vuelta al reactor. Aunque el vapor es radiactivo, no existe un intercambiador de calor entre el reactor y la turbina, con el fin de aumentar la eficiencia. Igual que en el PWR, el agua de enfriamiento del condensador procede de una fuente independiente, como un lago o un río. La central nuclear de Laguna Verde Veracruz es del tipo de reactor de agua en ebullición (BWR) con dos unidades de 675 MW cada una.

De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía Atómica, a nivel mundial se encuentran en operación 437 con una capacidad total de 371 GW. El suministro de energía nuclear representa el 17.9% de la electricidad mundial. La expansión actual y las tendencias se centran en Asia. Asimismo, China proyecta incrementar la capacidad en el 2020 en 40 GW, comparado con 8.4 GW actual. El primer ministro de la India Manmohan Singh, en la apertura de una conferencia en Nueva Delhi, expuso que la India podría tener una capacidad instalada de 470 GW en el 2050 [29].

- *Fisión nuclear*

La energía nuclear de fisión se obtiene mediante la fisión o ruptura de un núcleo pesado que contiene un gran número de protones y neutrones como el uranio 235. La fisión se produce por el impacto de un neutrón sobre el núcleo, lo que va acompañado por una producción de energía en forma de calor, causada por la pérdida de masa en la producción de productos de fisión. Simultáneamente se produce la liberación de dos o más neutrones, que se mueven a alta velocidad. Estos neutrones pueden provocar a su vez la fisión de otros núcleos de uranio 235, manteniéndose una reacción en cadena. La primera demostración de fisión controlada fue lograda por el físico Enrico Fermi en 1940, el cual dio apertura a las aplicaciones industriales de la energía nuclear [11]. Inicialmente, se desarrollaron los reactores CANadian Deuterium Uranium CANDU (reactores de agua pesada presurizada) y reactores enfriadores por gas. A partir de entonces, se han

desarrollado varios tipos de reactores de fisión. El mecanismo básico es similar a todos los reactores. Entre los principales reactores en operación están los LWR ya mencionados. Otros proyectos que consideran esta tecnología se mencionan a continuación.

Proyecto INPRO (Innovación en Reactores Nucleares y Ciclo del Combustible). Es un proyecto internacional de la Agencia Internacional de Energía en innovación en reactores nucleares y ciclo del combustible. INPRO fue establecido en el 2001, ha aumentado a 31 miembros, los cuales representan el 75% del PIB mundial y el 65% de la población en el mundo. En el 2009, las actividades INPRO se consolidaron en 5 áreas importantes: estimación de los sistemas energéticos nucleares (NESA) usando la metodología INPRO, visión global; escenarios y trayectorias al desarrollo sustentable nuclear; innovación en tecnología nuclear; innovación en acuerdos institucionales y diálogo en el fórum sobre innovación nuclear [25].

Proyecto GNEP (Asociación Mundial de Energía Nuclear) el proyecto está integrado por 19 países; los cuales manifiestan la necesidad de ampliar la energía nuclear en todo el mundo. El objetivo es acelerar el desarrollo y el despliegue de tecnologías avanzadas en el ciclo del combustible; para fomentar el desarrollo, proteger el medio ambiente y reducir el riesgo de proliferación nuclear.

- *Fusión Nuclear*

Consiste en la fusión de núcleos ligeros para formar núcleos más pesados. La reacción de fusión, que se produce naturalmente del sol y se utiliza en la bomba del hidrógeno, requiere de temperaturas muy elevadas, de millones de grados. La reacción más utilizada en los trabajos experimentales es la del deuterio y el tritio, que son isótopos del hidrógeno. Los primeros resultados de fusión controlada, sostenida durante fracciones de segundo, se obtuvieron en 1994 en laboratorios de Europa occidental y de Estados Unidos, usando confinamiento magnético. Los pronósticos

indican que podría tenerse en operación una planta de demostración en la primera mitad del siglo XXI.

Los esfuerzos internacionales para lograr la fusión como una fuente de energía ha tenido un fuerte compromiso por parte de 7 países integrantes (China, La Unión Europea, India, Japón, La República de Corea, Federación Rusa y Estados Unidos); éstos países integran el proyecto Reactor Termonuclear Experimental Internacional⁷ (ITER). El objetivo del proyecto, es demostrar la factibilidad científica y tecnológica de la fusión nuclear. Es un acuerdo de aplicación conjunta, el cual fue firmado en una reunión ministerial en Paris en noviembre del 2006. El acuerdo fue ratificado posteriormente por todos los gobiernos respectivos. Entró en vigor el 27 de octubre de 2007, ITER se constituyó como una entidad jurídica. La Agencia Internacional de Energía Atómica y la organización ITER, iniciaron una cooperación internacional en cambios de personal, conferencias y publicaciones en componentes de fusión e instalaciones [25]. La Figura 1.3 muestra el inicio del uso masivo de los energéticos, donde el uso de la energía solar y del hidrógeno de uso comercial se asocia con una fecha estimada.

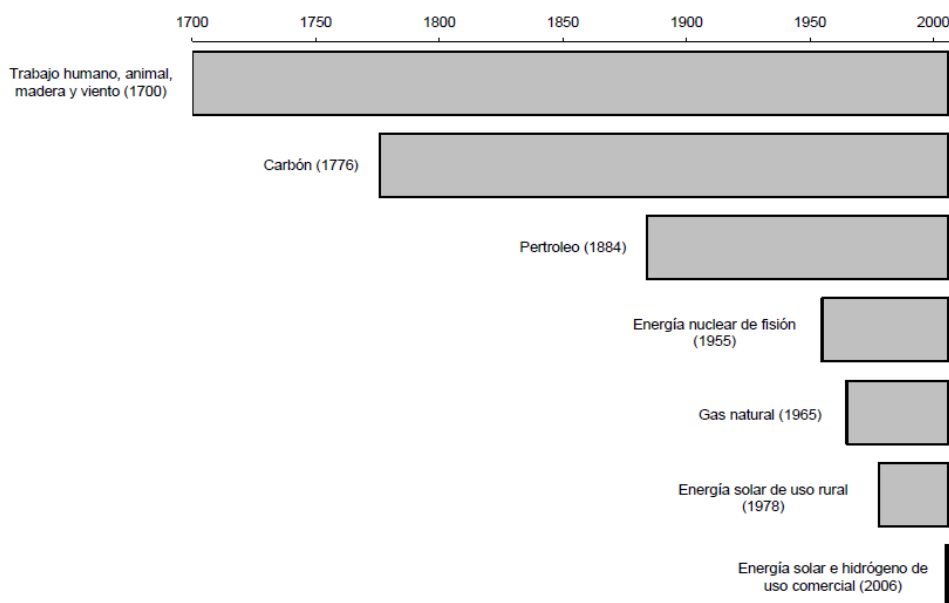


Figura 1.3 Uso Masivo de las diversas Fuentes de Energía.

Fuente:(Estrada et al., 1998)

⁷ The International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER, por sus siglas en inglés).

Ciclo de vida de las tecnologías de generación eléctrica

El ciclo de vida de la tecnología de generación eléctrica puede ser definido como las diferentes etapas en que se encuentra la tecnología, desde la etapa de incubación o desarrollo de proyecto piloto, penetración en el mercado, crecimiento hasta la etapa de madurez de la tecnología; a continuación se definen [30].

1. Etapa Investigación y Desarrollo (I&D): es la etapa inicial, mediante la puesta en marcha de estudios pilotos sobre las potenciales tecnologías de generación eléctrica, las cuales requieren el apoyo de diversos actores involucrados (Estado, centros de investigación, universidades, industria, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, sociedad, productores independientes, entre otros actores). En esta etapa se realiza investigación de mercado sobre las tecnologías, competencia, mercado, regulación, usos, otros. En esta etapa se encuentran la tecnología de captura y almacenamiento de CO₂ y la Roca Seca.

2. Etapa de penetración en el mercado: inicia cuando la tecnología ha superado la etapa de investigación y desarrollo, está lista para penetrar por primera vez en el mercado y competir con las tecnologías existentes. En esta etapa el costo de la tecnología es alto y se requiere de grandes inversiones y un marco regulatorio y normativo acorde.

3. Etapa de crecimiento o de desarrollo del potencial: en esta etapa la tecnología de generación eléctrica ya ha superado las etapas anteriores investigación y desarrollo y penetración en el mercado. Además, la tecnología compite con las tecnologías existentes; los costos se reducen debido a las economías de escala y buscan satisfacer los requerimientos del mercado y la aceptación de la sociedad. Por ejemplo algunas turbinas de viento, caldera de biomasa, biocombustibles.

4. Etapa de madurez: la tecnología está plenamente aceptada en el mercado, los costos de adquisición son bajos, los beneficios decrecen, el periodo de madurez dura más tiempo comparado con las etapas anteriores y se presentan fuertes desafíos

para la industria eléctrica. También, se debe buscar el mejor aprovechamiento de las tecnologías existentes e impulsar la realización del potencial restante. Algunas tecnologías son: carbón, gran hidráulica, reactores de fisión. La Figura 1.4 muestra el ciclo de vida de las diferentes tecnologías. Por ejemplo, en etapa de investigación se encuentra la tecnología energía de olas; en etapa de penetración en el mercado se encuentra la solar térmica; en etapa de crecimiento la energía eólica y en etapa de madurez la hidráulica y la nuclear.

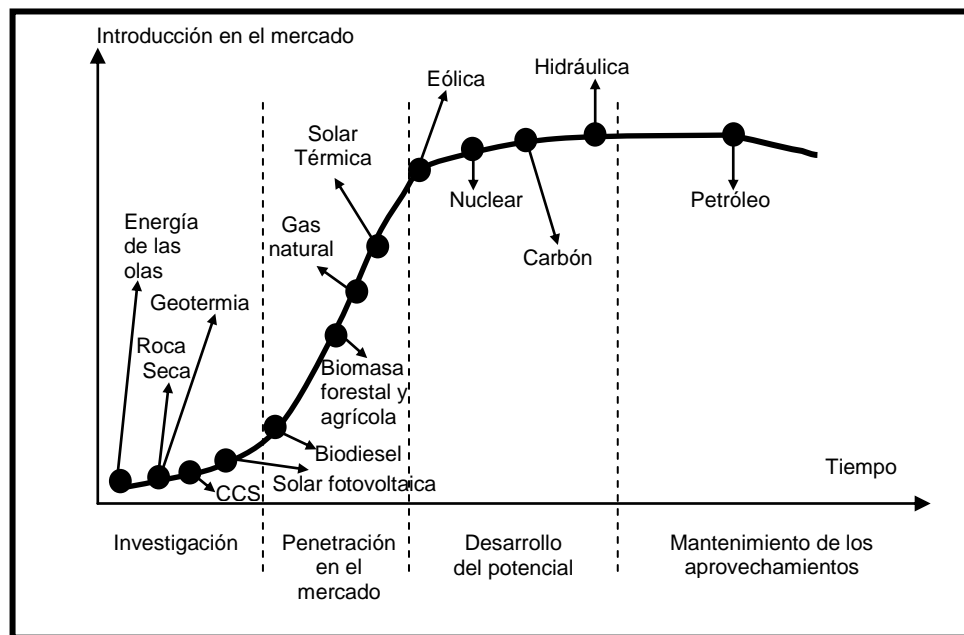


Figura 1.4 Ciclo de vida de tecnologías de generación eléctrica.

Fuente: Grahit (2005); González et al., (2013); Adame (2013).

Las nuevas tecnologías en desarrollo en el sector eléctrico mundial son importantes impulsoras del cambio, que no solo generan beneficios económicos, sino también los relacionados con la estabilidad política y económica, la calidad del medio ambiente y el bienestar humano. La Tabla 1.4 muestra ejemplos de algunas tecnologías limpias en su etapa de desarrollo y maduras.

TECNOLOGÍAS EN DESARROLLO	TECNOLOGÍAS MADURAS
Captura y almacenamiento de carbono	Hidráulica
Eólica costa fuera	Biomasa
Energía solar a concentración	Eólica terrestre
Gasificación integrada ciclo combinado	Solar fotovoltaica
Redes inteligentes	Geotermia
Biocombustibles	Nuclear

Tabla 1.4 Tecnologías limpias en etapa desarrollo y maduras.

Fuente: (Adame, 2013).

1.2.2. Evolución en la transmisión y la distribución de energía eléctrica

La red eléctrica de transmisión puede definirse como el transporte de electricidad a grandes distancias, a través de un conjunto de líneas que permiten la circulación a alto voltaje, desde la central generadora hasta las redes locales. Las líneas de transmisión de alto voltaje hacen posible la transportación económica de la electricidad a largas distancias, el desarrollo de grandes redes interconectadas y la explotación de los recursos de generación a nivel nacional o regional. La transmisión no sólo es transporte, sino que comprende la administración de generadores dispersos en la red, para mantener los voltajes, las frecuencias adecuadas y para impedir fallas en el sistema. La transmisión es un monopolio natural porque para introducir competencia, sería necesario duplicar la red existente (los costos de transmisión serían mayores al duplicar las redes de corriente alterna de alto voltaje) [19].

La red eléctrica de distribución se define como el transporte de la electricidad a través de líneas y subestaciones con tensiones menores, desde las subestaciones transformadoras hasta las acometidas de las instalaciones individuales de los usuarios. Un sistema de distribución es el conjunto de instalaciones desde 120 volts hasta tensiones de 34.5 kV, encargada de entregar energía a los usuarios [19]. La red de distribución se considera un monopolio natural, dadas sus características técnicas y económicas. Uno de los principales problemas de la transmisión es la

pérdida de energía. Para reducir las pérdidas hay que emplear corriente alterna un buen conductor y aumentar la tensión.

La estructura de la industria eléctrica a finales del siglo XIX, fue similar a la estructura del gas, una central para la producción de energía y la red de distribución para hacer llegar la energía hasta las lámparas. En el año 1908 se construyó una línea de transmisión para el Estado de California de 110,000 (V) de 250 Km de longitud. En el año 1930 ya se habían alcanzado los 230,000 (V). En el año 1952 se construyó en Suecia una línea de 960 Km, que operaba 400,000 (V), en el año 1961 Rusia operaba una línea de 500,000 (V) [15].

Existen dos tipos de sistemas eléctricos que se pueden definir como: 1) sistemas de corriente directa o continua, 2) sistemas de corriente alterna. En un sistema de corriente continua la magnitud del voltaje se mantiene constante en el tiempo, caso contrario al de la corriente alterna, donde la magnitud de diferencia del potencial oscila en el dominio del tiempo.

- *Sistemas de Corriente Continua (CC)*

Inicialmente, el suministro de energía eléctrica se hizo mediante corriente continua o corriente directa a baja tensión, utilizando el generador de corriente continua, dinamo desarrollado por Siemens en 1886 y perfeccionado por Gramme en 1870. Los primeros sistemas de corriente continua, eran de dos conductores y funcionaban a un voltaje constante, con las cargas conectadas en paralelo. Una desventaja de los sistemas de corriente continua a baja tensión, es que limitaba por razones económicas la distancia a la que podría transmitir energía eléctrica con una regulación de voltaje aceptable. Además, el problema de los sistemas de corriente continua es que no existe una tecnología sencilla y económica para elevar la tensión [7].

En los sistemas de corriente continua la distancia a la que se puede transmitir la energía eléctrica con regulación de voltaje y pérdidas aceptables, está limitada por el

costo de los conductores del sistema de distribución. El peso de los conductores es inversamente proporcional al cuadrado del voltaje de transmisión para una regulación de voltaje y unas pérdidas por efecto *Joule* dadas, que conviene aumentar el voltaje de transmisión; pero en los sistemas de corriente continua no puede lograrse de manera sencilla y económica [7].

En 1886 se observaron limitaciones aparentes de la corriente directa: a) altas pérdidas y caída de voltaje; b) se estableció la necesidad de una transformación en el voltaje y c) Se desarrollaron los transformadores y la distribución en C.A. para alimentar 150 lámparas, esto lo logró William Stanley de Westinghouse[40].

- *Sistemas de Corriente Alterna (CA)*

En el año 1883 Gaulard y Gibbs inventaron el transformador industrial, basado en la inducción electromagnética propuesta por Faraday, la cual hizo posible la elevación eficiente y económica del voltaje, utilizando corriente alterna. Los primeros sistemas de corriente alterna fueron monofásicos. En 1886, en Estados Unidos se puso en servicio un sistema de corriente alterna monofásica, que usaba transformadores con tensión primaria de 500 V y tensión secundaria de 100 V. En 1883 Tesla inventó los sistemas polifásicos, en 1886 desarrolló un motor polifásico de inducción, lo que contribuyó a incrementar las aplicaciones de corriente alterna y en 1887 patentó en Estados Unidos un sistema de transmisión de energía eléctrica trifásico.

En el año 1886, se construyó en Italia el primer sistema de transmisión de corriente alterna conocido como la central Cerchi Tivoli-Roma. Una de las características de la corriente alterna es que permite bajar o elevar el voltaje por medio de transformadores. La primera central de corriente alterna en América fue construida por William Stanley de Westinghouse en Gran Barrington en el año 1886. El demostró como la energía eléctrica podría ser generada a bajo voltaje, transformada a alto voltaje, transmitida a alto voltaje y re-transformada a bajo voltaje. Sin estos medios de adaptación del voltaje de acuerdo a los diversos requisitos de mantenerlo

sustancialmente constante e independientemente de la carga, el progreso en la transmisión y distribución no hubiese sido posible. En 1954, se desarrolló el primer Sistema de Transmisión de Alto Voltaje en Corriente Continua (HVDC, por sus siglas en inglés) entre Suecia y la isla de Gotland por medio de cable [31].

Nikola Tesla desarrolló los sistemas polifásicos y patentó generadores, motores, transformadores y líneas de transmisión, en 1888. Dichas patentes las compró Westinghouse. En 1889 se desarrolla el primer sistema de transmisión en CA en Estados Unidos, entre las cataratas de Willamette y Portland, este sistema fue monofásico a 4000 V con una longitud de 21 km. En 1893: primera línea de transmisión trifásica de 2300 V, 12 km en el estado de California [7].

Una pregunta importante que surgió a inicios del siglo XIX, fue sobre qué corriente utilizar para el suministro de electricidad: ¿Corriente continua o corriente alterna? Edison, apoyó la corriente continua. En el año 1890 la corriente continua se utilizó para cargar las baterías de los vehículos eléctricos los cuales aparecieron en esa década. Los sistemas de corriente alterna desplazaron a los de corriente continua, después de unos años de competencia, que dio origen a una guerra entre las dos corrientes. La primera ejecución en la silla eléctrica en Nueva York, se realizó utilizando corriente alterna. La historia de tradición penal también es historia de tecnología eléctrica [32].

Los sistemas de corriente alterna inicialmente, utilizaron frecuencias bajas, de 25 Hz, para disminuir las reactancias inductivas de las líneas y por razones de diseño de los motores de tracción. Poco después, se impusieron frecuencias más elevadas de 50 Hz y 60 Hz debido a que la frecuencia mayor permite utilizar circuitos magnéticos de menor sección, que da como resultado aparatos de menores tamaños y más baratos. Actualmente, dos tercios partes del mundo incluyendo los países de Europa parte de Asia y África utilizan frecuencias de 50 Hz; Estados Unidos y México utilizan frecuencias de 60 Hz [34]. Asimismo, los voltajes que se han normalizado en varias empresas eléctricas a nivel mundial son: 115 Kv, 138 Kv, 161 Kv, 230 Kv, 345 Kv,

400 Kv, 500 Kv, 765 Kv y 1100 Kv. La Tabla 1.5 muestra la evolución de los primeros voltajes de corriente alterna desde 1922 a la actualidad.

Año	Voltajes de Transmisión (Kv)
1922	165
1923	220
1935	287
1953	330
1965	500
1966	735
1969	765
1990 - actualidad	1100

Tabla 1.5 Evolución de voltajes de transmisión en CA.
Fuente (Enríquez, 2012).

Características técnicas de los sistemas eléctricos de Corriente Alterna

La producción y suministro de energía eléctrica tienen características propias que la diferencian de otros servicios públicos; debe concebirse y operarse como un conjunto donde todos los elementos y funciones deben estar estrechamente relacionados. Son las siguientes [34-35]:

- La energía eléctrica producida en CA no puede almacenarse económicamente en cantidades significativas, por lo que la potencia eléctrica generada debe ser igual a la potencia demandada por los consumidores más las pérdidas del sistema. La demanda está modulada por las actividades diarias, semanales, anuales y los cambios estacionales.
- La energía eléctrica debe suministrarse con una calidad adecuada de manera que los aparatos eléctricos funcionen. La calidad del servicio se define por: a) continuidad del servicio, b) regulación del voltaje dentro de los límites aceptados y c) control de la frecuencia eléctrica en su valor nominal.

- En los sistemas eléctricos de corriente alterna todos los generadores deben funcionar en sincronismo.
- La regulación del voltaje da lugar a un control descentralizado, actuando por señales locales de voltaje y corriente.

Para mejorar la continuidad del servicio y el funcionamiento de los sistemas eléctricos, se ha recurrido a la interconexión de plantas generadoras, mediante la extensión del sistema de transmisión y la formación de una red eléctrica de alta tensión. En los sistemas de corriente alterna todos los generadores deben funcionar en sincronismo. Además, los aparatos conectados a los sistemas eléctricos están diseñados para operar a un valor determinado de voltaje, una variación del 5% en los puntos de utilización se considera adecuada [34-35].

- La coordinación entre la generación y la transmisión es vital para asegurar la integridad y la estabilidad del flujo de potencia y la frecuencia y el voltaje de la red del suministro.

Los sistemas eléctricos de CA es principalmente usada en las empresas eléctricas en el mundo pero presentan las siguientes limitaciones: Pérdidas de potencia reactiva; estabilidad angular; capacidad de conducción de corriente; Efecto Ferranti; un control no suave de flujo de potencia; estabilidad dinámica; estabilidad en estado permanente; y resonancia sub-síncrona [40].

1.2.3. Evolución en la comercialización de energía eléctrica

La comercialización puede definirse como la adquisición de energía para su venta a los clientes finales (residencial, comercial y público, transporte, agropecuario e industrial) e incluye todo lo que implique una relación con los clientes finales, tales como la medición, la lectura de los contadores, la facturación de la energía consumida, cobro, mercadotecnia, la intermediación entre los clientes y la empresa

distribuidora responsable de la calidad de suministro. La comercialización no se considera monopolio natural ni hay ganancias significativas al integrarla con otras funciones. Tampoco hay razones económicas para que no pueda separarse de la distribución; la competencia puede darse en el precio de venta o en el servicio al cliente. Los comercializadores compran energía en el mercado mayorista o mediante contratos bilaterales con empresas generadoras y la venden al por menor a los consumidores finales utilizando las redes de distribución de baja tensión.

Como se mencionó anteriormente la electricidad tiene características técnicas que la diferencian de otras formas de energía, no se puede almacenar en cantidades significativas y es un insumo esencial. También, la oferta se tiene que ajustar a la demanda en tiempo real y es fundamental no solamente para el funcionamiento de la economía, sino para el bienestar de la sociedad. Una pregunta para reflexionar es ¿Cómo podría ser el mundo actual sin electricidad?

En la actualidad las sociedades industrializadas demandan y utilizan grandes cantidades de energía, destinadas a hacer funcionar las máquinas, transportar mercancías y personas, producir luz, calor o refrigeración. Todo el sistema de vida está basado en la disposición de abundante energía a bajo costo. El consumo principalmente en los sectores (industrial, residencial y transporte) se ha incrementado; paralelamente a los cambios de hábitos de vida, usos, formas de organización de la sociedad, cambio tecnológico, desarrollo económico y demográfico. Por ejemplo, el uso de la computadora se ha convertido en parte integrante de la vida cotidiana, estilos de vida y patrones de la actividad social y económica. A través de la historia se puede observar que la demanda de energía ha ido en aumento, desde el desarrollo de las primeras civilizaciones que se dedicaban a la caza y recolección, hasta los habitantes con un alto consumo energético per cápita de los países desarrollados, tales como Estados Unidos.

La globalización, es un factor que ha influido en el incremento en el consumo de energía y ha generado cambios en la estructura de la industria, procesos más

intensivos en energía, tales como la fabricación pesada (acero-cemento) en industrias en economías emergentes; por ejemplo China.

Tradicionalmente el consumo energético, se ha dividido en diferentes sectores de consumo. Los principales son: industrial, agrícola, comercial y servicios, residencial y transporte [37].

Sector industrial: corresponde al consumo de energía, de los procesos productivos del sector industrial. Dicho sector ha sido demandante mayoritario de energía a través del tiempo. Especialmente en países que producen acero y cemento y que requieren grandes demandas de energía para la fabricación, tanto por el volumen de estos materiales como por el consumo específico de los procesos correspondientes.

Sector agrícola: se refiere a la energía consumida para desempeñar todas las actividades relacionadas directamente con la agricultura y ganadería. Ejemplo, el consumo de electricidad para bombeo de agua.

Sector comercio: Incluye la energía consumida por establecimientos comerciales incluye restaurantes, teatros, hoteles y cines.

Sector servicios: es el servicio de energía para el alumbrado público y bombeo de agua.

Sector residencial: la electricidad y combustibles que se utilizan diariamente en el hogar. La principal demanda de electricidad es para la cocción de alimentos, calentamiento de agua, calefacción, iluminación y planchado.

Sector transporte: se refiere a la energía consumida en los servicios de transporte para el movimiento de personas y cargas.

El consumo mundial de electricidad en el año 2009 por sectores de uso final, muestra que el sector industrial es el más significativo del orden de 40%, seguido del sector residencial que representa el 28% y el sector servicios con el 23% respectivamente, (ver la Figura 1.5).

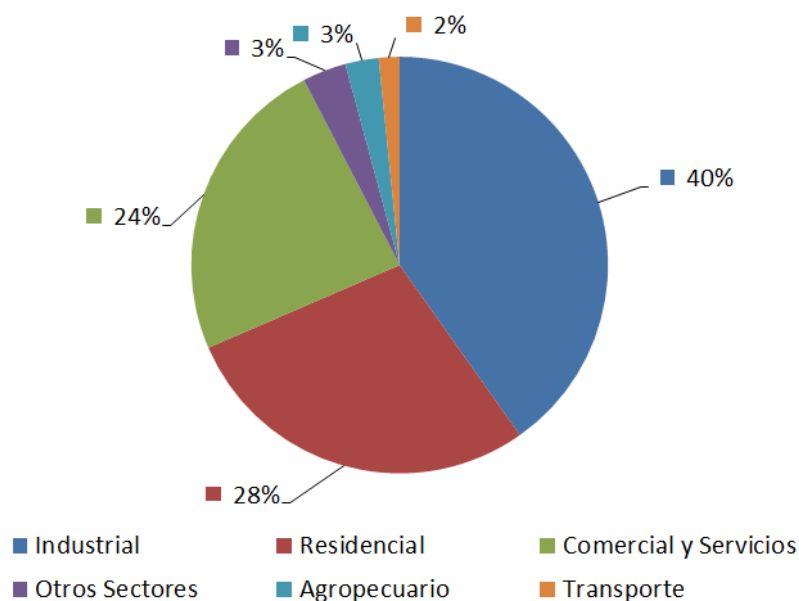


Figura 1.5 Consumo final de electricidad a nivel mundial, año 2009.
 Fuente: *International Energy Outlook 2011, Energy Information Administration, U.S.*

1.3. HORIZONTE TECNOLÓGICO ESPERADO EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS

Una vez analizados los avances tecnológicos más importantes en la industria eléctrica, en el proceso de la generación, transmisión, distribución y comercialización; se presenta en los siguientes incisos los principales cambios tecnológicos esperados en el largo plazo.

1.3.1. Avances en las tecnologías de generación eléctrica

Además, de los avances en fuentes y tecnologías para la generación eléctrica, mencionados en los incisos anteriores, las tecnologías que seguirán e impulsarán a las empresas eléctricas en las próximas décadas serán las siguientes [40]:

- Generación transformación integrada (*Power Former*). Algunos beneficios de esta tecnología son: Contribuyen al medio ambiente, menores costos de inversión y de obra civil, pérdidas menores y menor mantenimiento.

- Generación distribuida: (eólica, celdas de combustible, biomasa). La generación distribuida incluye la aplicación de pequeñas generaciones en el rango de 15 a 10,000 kW. Además, todo uso de pequeños generadores eléctricos, ya sea que estén localizados en la red eléctrica en sitio de un usuario de la compañía suministradora, o bien, en un sitio aislado que no está conectado a la red eléctrica. Contiene la generación de tipo convencional (diesel, turbinas de combustión, turbinas de gas, turbina de ciclo combinado, hidroeléctrica de pequeñas caídas o bien, renovables, como el viento, la solar fotovoltaica o la mini hidroeléctrica).

Las tecnologías usadas en la generación distribuida usan diseños y materiales de alta tecnología de manera que minimizan los mantenimientos e incluyen control computarizado que reduce la mano de obra de operación. Las ventajas de esta tecnología además de la eficiencia evitan los costos y pérdidas en la transmisión.

- Generación dispersa: (capacidades entre 10 y 25 kW) es considerada como un subconjunto de la generación distribuida y se refiere a la generación que está localizada en las instalaciones del usuario o fuera de la red eléctrica de la compañía suministradora. Por ejemplo, paneles fotovoltaicos integrados a edificios urbanos y generación centralizada cercana al punto de consumo.
- Además, se espera mayor eficiencia en las plantas ciclo combinado.

Tendencia en la utilización de combustibles y otras fuentes primarias

Actualmente los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) proporcionan aproximadamente el 82% de la energía requerida en el mundo. El carbón es el combustible de mayor uso para la generación de electricidad. Esto se debe principalmente a su amplia disponibilidad y estabilidad en los precios, así como a su alto poder calorífico. Sin embargo, se estima que su participación pasará de 39.1% en 2008 a un 34.1% en 2035. En Estados Unidos el carbón se mantendrá como la principal fuente de generación de electricidad en los próximos años, principalmente por la operación de carboeléctricas existentes y la adición de nuevas centrales. En los países europeos miembros de la OCDE, se espera que el consumo de carbón

disminuya en el año 2035, aun con la actual construcción de nuevas carboeléctricas. En los países no miembros de la OCDE, especialmente las economías asiáticas, se espera un incremento en el consumo de carbón durante los próximos años. Varios países del Medio Oriente han expresado interés en incrementar el número de centrales carboeléctricas.

La participación del uso del gas natural para la generación eléctrica se ha incrementado a nivel mundial. El aumento en su consumo es importante en los países no miembros de la OCDE, Se estima que la generación mundial de energía eléctrica a partir del gas natural crecerá 2.6% anual de 2008 a 2035. Al final del periodo se prevé una participación en la generación total cerca de 22%.

Respecto a los petrolíferos durante el periodo 2008-2035, se espera que la generación de electricidad a nivel mundial disminuya a una tasa anual de 0.9%. Este comportamiento se debe a la utilización de otros combustibles como el gas natural y las fuentes renovables, el aumento en los precios de los petrolíferos en el mediano plazo y las implicaciones asociadas a su uso como las emisiones de gases efecto invernadero. Se espera que al 2035 su participación sea mínima del orden del 2%.

Se considera que el uso de la energía nuclear para la generación de electricidad aumente en los próximos años, con el objetivo de garantizar la seguridad energética, reducir los riesgos asociados a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases efecto invernadero. La perspectiva es que la energía nuclear crezca 1.1% anual de 2008 a 2035, impulsada principalmente por los países emergentes, tales como los BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica).

En cuanto a la participación de las fuentes renovables de energía (eólica, solar, geotermia, hidroeléctrica, solar) se espera que en el periodo 2008-2035, el uso de dichas fuentes tengan un mayor crecimiento, especialmente en los países emergentes como China, India, Brasil y Rusia. En los países avanzados habrá un

incremento más moderado. La participación mundial será del orden de 29%. La Figura 1.6 muestra el consumo de combustibles y las fuentes de energía para la generación de eléctrica mundial en el periodo 2008-2035.

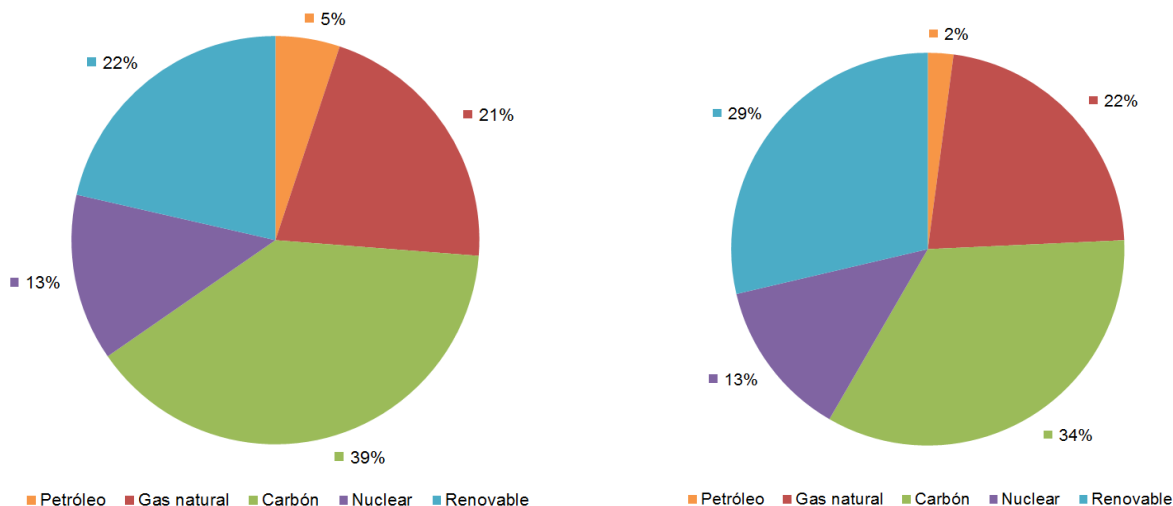


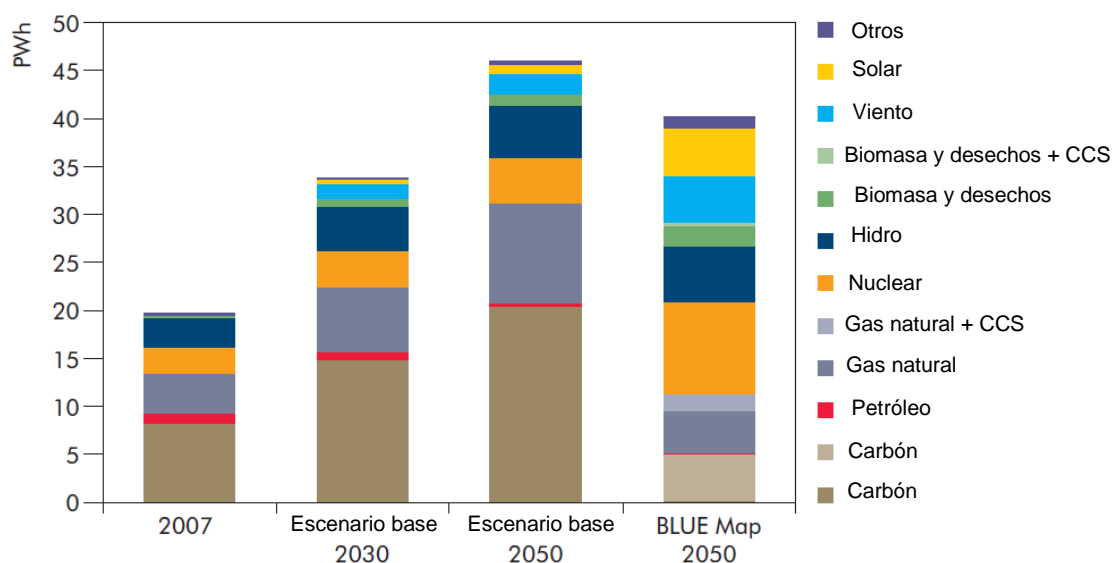
Figura 1.6 Consumo de Combustibles y Fuentes de energía para la generación eléctrica mundial (2008-2035)

Fuente: International Energy Outlook 2011, Energy Information Administration, U.S.

Escenarios de tecnologías para la generación eléctrica al 2050

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía las tecnologías pueden y deben desempeñar un papel fundamental en la transformación del sector energía al año 2050. La generación eléctrica, a partir de combustibles fósiles ha sido el proceso más representativo y se estima que en el presente siglo seguirán siendo dominantes; sino no se hace un cambio de paradigma energético. Propone dos escenarios. En el primer escenario, llamado de referencia los combustibles fósiles (carbón, gas natural) aumentan en la producción de electricidad poco a poco hasta alcanzar casi el 70%. La energía nuclear e hidráulica disminuye la participación; en cambio la energía eólica y solar aumenta. Este escenario refleja un doble incremento en las emisiones de CO₂ respecto al 2007. El segundo, llamado escenario BLUE Map tiene como objetivo reducir las emisiones de CO₂ y la intensidad de carbono se reduce cerca del 90%. La energía renovable representa casi un 50% del total de la generación y la participación nuclear es importante. También, se implementarán las tecnologías

complementarias para reducir las emisiones de CO₂ (CCS, por sus siglas en inglés) [25]. La Figura 1.7 muestra la generación eléctrica mundial por fuente de energía primaria y por escenario. Escenario (2007-2050), escenario base 2050 y escenario BLUE Map 2050 (Incentivos para reducir emisiones de CO₂).



Nota: otros incluye la generación de electricidad a partir de tecnologías geotérmica y oceánica.

Figura 1.7 Generación eléctrica mundial, escenarios (2007-2050): Base 2050, BLUE Map.
Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2010.

En el escenario base (2007-2050) la generación eléctrica global se incrementará en 134%. Los combustibles fósiles mantendrán alta su participación en la mezcla de generación eléctrica y representan las dos terceras partes del total. En el 2050 la generación eléctrica con carbón se incrementará en 149% comparado con el 44% en el 2007. La generación con gas natural proyecta un incremento del 23%; mientras que la generación con petróleo es excluida casi totalmente. La energía nuclear decrece 10%, la hidroeléctrica un 12% y la energía eólica aumenta un 5% respecto al total de la generación. En este escenario las emisiones de CO₂ aumentan casi el doble, como resultado de la continua dependencia de los combustibles fósiles.

En el escenario BLUE Map 2050 la demanda de electricidad es 13% más baja comparada con el escenario base, debido a una mayor eficiencia en los sectores de uso final. Además, los incentivos para reducir emisiones de CO₂ cambian

significativamente la mezcla de tecnologías para generación eléctrica, respecto al escenario base. La energía nuclear y las energías renovables son más atractivas comparadas con las tecnologías fósiles. En el 2050 una variedad de energías renovables contribuirán cerca de la mitad del total de la generación y la energía nuclear incrementará la participación en 24%. La generación con carbón se reducirá en 12% y más del 90% de dicha generación se hará con CCS. La generación con gas natural será del 15% y cerca de un tercio con CCS.

1.3.2. Avances en tecnologías de transmisión

Las redes eléctricas del futuro llamadas “Redes Inteligentes” estarán condicionadas al crecimiento y los cambios que se presenten en el sistema eléctrico en las próximas décadas. Además, requerirán de importantes inversiones, desarrollo de conocimiento "*know-how*" y demostrar las mismas características funcionales que tienen en la actualidad. La construcción de la red debe ser acompañada de una adecuada flexibilidad, con el fin de permitir el funcionamiento de la generación centralizada y distribuida, generación variable y no variable y nuevos perfiles de demanda. La red deberá operar de manera óptima, utilizando los activos existentes y nuevos; además será necesario que la red se convierta en una red inteligente. Dicha red ofrece la capacidad de: 1) reducir el pico de la demanda, el sistema permite directamente al consumidor estar informado de los costos y reducir la demanda; 2) equilibrar la confiabilidad de los consumidores y las necesidades de calidad de la energía; 3) fomentar la aplicación proactiva de las oportunidades de eficiencia energética; 4) mejorar la eficiencia operativa global; 5) integrar tecnologías limpias [25].

Las tecnologías que impulsarán la transmisión eléctrica en el largo plazo son las siguientes [40]:

La transmisión en extra alta tensión. Tensiones hasta 1,100 kV con problemas como mayor derecho de vía, alta radiación electromagnética y ruido, pérdidas por corona elevadas. Las cuales tendrán diversos tipos de torres de alta tensión. Incluye las siguientes tecnologías complementarias:

Líneas de transmisión/cables aislados en gas: las pérdidas de transmisión RI^2 se reducen por un factor de cuatro; Bajas pérdidas capacitivas; no hay campos electromagnéticos externos; aún con líneas de gran distancia no se requiere de la corrección del ángulo fase; no es necesario el enfriamiento; tiempos de reparación cortos y envejecimiento retardado.

Alta Tensión en Corriente Directa – Light: la transmisión convencional en C.D. tiene las siguientes características: Se usa principalmente para transmisión a grandes distancias de punto a punto; requiere de canales de comunicación rápidos entre dos estaciones; se requiere de un gran soporte de potencia reactiva en las dos estaciones y usan válvulas de tiristores.

La transmisión en C.D. Light: el primer proyecto comercial de HVDC-LIGHT entre operación en 1999 y fue de 50 MW, 70 kV, 72 km. Las principales características son: controla el voltaje en C.A. rápidamente; es posible conectar cargas pasivas; no hay contribución al corto circuito; no requiere de comunicación rápida entre las dos estaciones convertidoras; presenta la oportunidad de transmitir cualquier cantidad de corriente a grandes distancias vía cable y es económicamente estable en el rango de potencias bajas; tiene menos componentes y es menos compleja por esto; es aplicable a parques eólicos; permite operación asíncrona.

Sistemas flexibles de transmisión en corriente alterna (FACTS): los sistemas (FACTS, por sus siglas en inglés) se designan la aplicación de los dispositivos de electrónica de potencia, para controlar los flujos y otras cantidades en sistemas de potencia. Los beneficios que se obtiene de la tecnología FACTS, son los siguientes:

Aumentan la capacidad de transferencia de potencia en las redes de transmisión; proporcionan un control directo de flujos de potencia en rutas establecidas de transmisión; incrementan la capacidad de carga de las líneas para condiciones estacionales y de corto plazo; aumentan la seguridad del sistema, incrementando el

límite de estabilidad transitoria, limitando las corrientes de corto circuito y sobrecargas; amortiguando las oscilaciones electromecánicas del sistema y de las máquinas; proporcionan conexiones seguras con redes vecinas y Amortiguan la utilización de los menores costos de generación.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, factores tales como el envejecimiento de los equipos, el incremento en el nivel del comercio de la electricidad y la congestión en las redes, plantean un reto acerca de la confiabilidad de los sistemas de transmisión y distribución de electricidad. La confiabilidad es el elemento más importante en la seguridad energética. Muchos sistemas de transmisión y distribución se basan en tecnología de la década de los 50's y requieren de sustanciales mejoras. Además, las pérdidas en transmisión y distribución necesitan más atención en países en vías de desarrollo donde importantes oportunidades existen a reducir esas pérdidas. El promedio de pérdidas de transmisión y distribución varía entre países, representa del 5% al 25% del total de la producción.

1.3.3. Avance tecnológico en la comercialización

En las próximas décadas la tecnología jugará un rol importante en el proceso de la comercialización. Dichos cambios están relacionados con los avances en informática y comunicaciones que facilitarán que día a día sea más óptima la adquisición de energía para la venta a los usuarios finales. El progreso tecnológico ha facilitado la creación de un mercado mayorista de energía, en el cual el consumidor final puede elegir su distribuidor. También, se requerirá un cambio de paradigma energético, es decir, una mayor concientización de la sociedad en general, a través de cambios culturales y que los consumidores adopten hábitos menos derrochadores y empleen dispositivos de consumo más eficientes. En países industrializados caso de Estados Unidos, que tiene un alto PIB/ per-cápita y un índice de desarrollo humano alto, aun cuando tienen sus necesidades energéticas principales cubiertas pasan a altos niveles de derroche, que no puede compararse con aquellos países con un bajo índice de desarrollo, los cuales no pueden disfrutar.

El progreso en las tecnologías de comunicación para la gestión de redes permitirá dar información acerca de los voltajes en tiempo real. Por ejemplo las tecnologías de control que pueden automatizar las respuestas desde el contador del usuario. Los sistemas de información del cliente pueden reunir datos o detalle acerca del uso de la electricidad en el sitio y llevar un seguimiento sobre los adeudos por servicio.

La Agencia Internacional de Energía, estima que en las próximas décadas se espera que los diferentes sectores tengan la siguiente tendencia:

Sector Industrial: la intensidad energética es un factor importante. El continuo mejoramiento en la eficiencia energética ofrece mayores beneficios de alcanzar a un menor costo un ahorro en las emisiones de CO₂ al 2050. En la actualidad el sector industrial representa casi un tercio de la demanda energética mundial y casi un 40% de las emisiones de CO₂ son atribuibles a las actividades industriales. Dichas emisiones dependen de grandes industrias, las cuales utilizan como materias primas productos químicos, hierro, acero, cemento, papel y aluminio. El sector industrial enfrenta grandes retos, especialmente los relacionados con el cambio climático global. Además, la producción industrial ha aumentado en todo el mundo. Se estima que en las próximas décadas, la demanda en materiales industriales en la mayoría de los sectores sea el doble o el triple. Las proyecciones de uso y de las emisiones con base en tecnologías actuales, muestran que sin una acción decisiva esta tendencia continuará. Se requiere de mejoras técnicas, implementación de nuevas tecnologías limpias y que la industria, gobierno trabajen conjuntamente en proyectos de investigación, desarrollo y demostración de nuevas tecnologías prometedoras. Una reducción significativa en las emisiones de CO₂ podría darse si todos los sectores industriales hacen una contribución a través de la implementación de técnicas de eficiencia energética en todos los procesos [25].

Sector agrícola, comercio y servicios: la tendencia es hacia la implementación de dispositivos más eficientes que ayuden a reducir el consumo, mediante estándares

de eficiencia energética en equipos tales como sistemas de refrigeración, bombas hidráulicas, calefacción, sistemas de calentamiento de agua, sistemas de iluminación y equipos industriales.

Sector residencial: la tendencia es hacia la reducción el consumo de electricidad en el punto de uso. Los avances han sido la interconexión de los sistemas aislados entre si y el incremento del número de usuarios. Los nuevos dispositivos ofrecen varias funciones, tales como control de hardware, perfil del consumo y control especializado de carga. Además, pueden ayudar a reducir automáticamente las cargas y modificar el uso de aparatos eléctricos. Los avances en los sistemas de precios, permiten a los grandes consumidores industriales y comerciales modificar las cargas eléctricas en respuesta a los precios de la electricidad en tiempo real, los cuales son utilizados en gran escala en centros comerciales, hoteles y edificios, para la iluminación, calefacción, ventilación, entre otros usos. También, facilitan al usuario obtener información frecuente del precio de la electricidad o alternativamente enviar una señal de control automático desde el oferente de electricidad, cuando el precio alcance un nivel predeterminado. Los sofisticados equipos de medición proporcionan a los usuarios realizar un seguimiento del consumo de electricidad en diferentes niveles de precios [25]. La continua expansión geográfica y la interconexión de sistemas de potencia en el último siglo ha sido motivada por factores técnicos, políticos y sociales.

Desde el punto de vista energético, las construcciones de edificios se consideran sistemas complejos, ya que la implementación de tecnologías generalmente tiene una influencia directa en la demanda de energía. La elección de la mejor tecnología disponible en el momento de la renovación o compra es importante para reducir el consumo energético en los edificios. También, tiene un impacto en los costos y beneficios asociados con el ahorro de energía. La vida útil de los edificios puede durar décadas, por lo tanto se espera que más de la mitad del parque inmobiliario actual, continúe en el 2050. Para mejorar la eficiencia energética en edificios existentes o nuevos, deberán diseñarse políticas acordes que aseguren que las

nuevas estructuras tengan los más altos estándares de eficiencia. Además, promover las tecnologías innovadoras. La implementación de dichas tecnologías depende que se eliminen las barreras técnicas o económicas que impiden la penetración al mercado. Garantizar que estas tecnologías se integren a la red inteligente del futuro facilitará el ahorro de energía y beneficios de seguridad energética.

Las nuevas construcciones de edificios requieren de una red actualizada de suministro de energía y del apoyo de un sistema que contribuya a las bajas emisiones. Por tal razón se necesita de la implementación de tecnología innovadoras, un ambiente político y económico que promueva el desarrollo y un marco regulatorio que ofrezca incentivos para la inversión. La aceptación del público, es un aspecto que necesita ser tratado.

Sector transporte: a nivel mundial, el consumo de energía en el sector transporte y las tendencias en el incremento de las emisiones de CO₂ están fuertemente vinculadas con el aumento de la población y el ingreso. El transporte seguirá dependiendo principalmente del petróleo. La disociación entre el crecimiento del transporte, incremento del ingreso y la disminución de la participación del petróleo, será un proceso lento y difícil. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, para lograr grandes reducciones en las emisiones de gases efecto invernadero al 2050, dependerá de los cambios que ocurran rápidamente en el futuro, en comparación con el pasado. Las nuevas tecnologías incluyen mejoras en el motor de combustión interna, los vehículos híbridos, eléctricos y de pila de combustible.

Según el escenario Blue Map (el más optimista) propuesto por la Agencia Internacional de Energía, la tasa de crecimiento promedio (considerando los diferentes sectores de consumo) en el consumo mundial de energía será de 0.7% por año, tal como se muestra en la Tabla 1.6.

Sector	Base	Escenario ACT Map	Escenario BLUE Map
Industria	1.7	1.5	1.3
Transporte	1.8	1.0	0.5
Construcción	1.3	0.4	0.2
Uso no energético*	1.9	1.9	1.4
Total uso final	1.6	1.0	0.7

*Registra el consumo de energía primaria y secundaria como materia prima.

Tabla 1.6 Tasa de crecimiento del Consumo Mundial de Energía (% /año).

Fuente: (Nezhad, 2009).

La demanda de energía continuará creciendo en todos los sectores, con base en el año de referencia (2005) y el año 2050. La tasa de crecimiento más alta será en el sector transporte, seguido del sector industrial y de la construcción como se muestra en la

Figura 1.8.

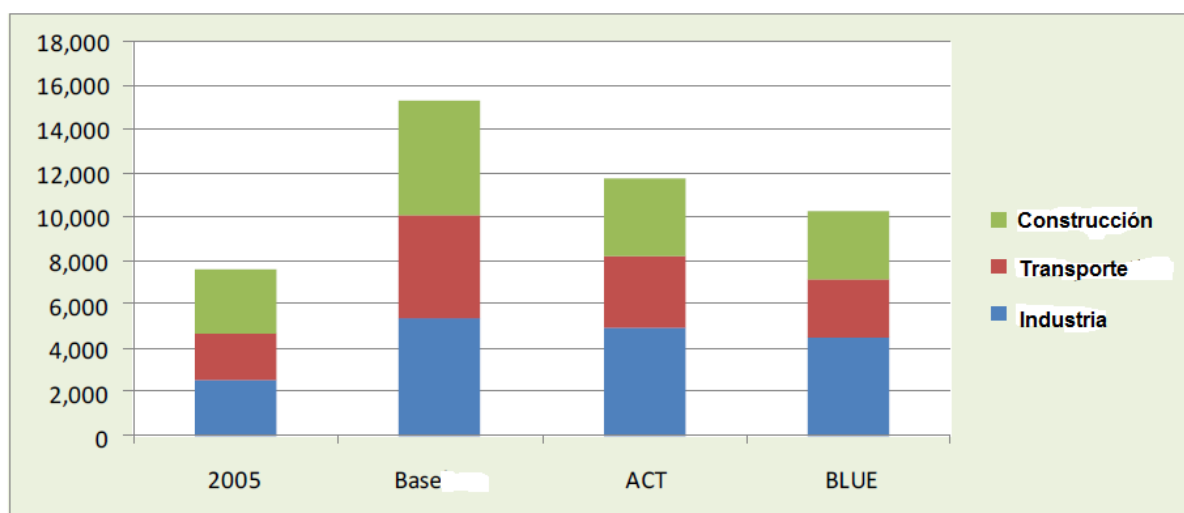


Figura 1.8 Consumo de Energía por Sector (escenarios de referencia, ACT y BLUE Tep/año).

Fuente: (Nezhad, 2009).

Resumen y conclusiones parciales

A través de la historia la tecnología ha jugado un rol importante en el desarrollo de la industria eléctrica, desde los primeros aportes por Tales de Mileto y al conocimiento científico "*Know-how*" por Faraday, Nikola Tesla, entre otros, los cuales contribuyeron al desarrollo del primer sistema eléctrico de potencia por Edison en 1882.

El análisis de la evolución de las diversas fuentes de energía, ha estado relacionada con los cambios tecnológicos. Uno de los principales descubrimientos experimentados por el hombre fue el uso del fuego. En el siglo XIX; el carbón fue el combustible más importante para el desarrollo industrial y la nascente industria eléctrica. A finales del siglo XIX las industrias eléctricas empezaron a desarrollarse; paralelamente surgieron varias aplicaciones eléctricas, tales como el motor eléctrico y el motor hidráulico los cuales contribuyeron a implementar el uso del petróleo e impulsar el desarrollo de plantas hidroeléctricas en las primeras décadas del siglo XX. A mediados de siglo se implementó la energía nuclear comercial. En las siguientes décadas surgieron: el uso del gas natural y las Fuentes Renovables de Energía (FRE) para la generación eléctrica.

El análisis muestra que día a día se hace esencial la implementación de tecnologías limpias de origen fósil para la generación de electricidad, una mejora de la eficiencia basada en el diseño de plantas con mayor rendimiento, asimismo reducir el impacto ambiental. Se incluyen las tecnologías a partir de combustibles fósiles tales como: Combustión del Carbón Pulverizado, Combustión del Carbón en Lecho Fluidizado, Ciclo Combinado Gas Natural y Gasificación Integrada Ciclo Combinado. Además, de las tecnologías en investigación y desarrollo para reducir las emisiones de CO₂, llamadas CCS (por sus siglas en inglés): 1) por el método de separación del CO₂ y por el tipo de confinamiento geológico y la geotermia con Roca Seca. Otras importantes consideradas en el nuevo paradigma energético son las tecnologías a

partir de la energía nuclear y Fuentes Renovables de Energía con cero emisiones respectivamente, tales como (biomasa, geotermia, eólica, solar y oceánica).

El estudio muestra que en las próximas décadas la tecnología será crucial para enfrentar los retos de la industria eléctrica, relacionados con los costos de los combustibles, la dependencia de los fósiles, seguridad energética y problemas medio ambientales. La tendencia en cuanto a los combustibles y fuentes para la generación de electricidad, muestra que el carbón y gas natural serán los más representativos mientras que el petróleo decrecerá significativamente. También predominarán en la mezcla de tecnologías las fuentes de energías limpias, sustentables y económicamente competitivas, Aquellas relacionadas con la energía nuclear: Fusión y fisión la energía nuclear (Reactores de III y IV generación) y las tecnologías a partir de Fuentes Renovables de Energía, como la Generación Distribuida (eólica, celdas de combustible, biomasa), paneles fotovoltaicos, las cuales han sido seleccionadas como fuentes alternativas para mitigar los efectos del cambio climático global y reducción de gases efecto invernadero. Además, predominarán las centrales eléctricas a gran escala más eficientes condicionadas por el medio ambiente.

Los resultados de los escenarios al 2050 propuestos por la Agencia Internacional de Energía, por fuente de energía primaria muestran un cambio en la mezcla de tecnologías respecto al año de referencia 2007. El escenario Base muestra que los combustibles fósiles mantendrán alta su participación (Carbón y gas natural) y el petróleo será excluido casi totalmente. La energía nuclear y la hidroelectricidad decrecerán, mientras que la participación de la energía solar aumentará. El escenario propuesto para reducir las emisiones de CO₂ muestra que la energía nuclear y las Fuentes Renovables de Energía (FRE) serán las más representativas en la mezcla de tecnologías comparadas con las fósiles. Además, decrecerá la demanda de electricidad, debido a la mayor eficiencia en los sectores de uso final.

El estudio muestra que las nuevas tecnologías de transmisión más eficientes que permitirán la reducción de costos en el transporte de electricidad serán las llamadas

“Redes Inteligentes”; se pueden mencionar las siguientes: la Transmisión en alta tensión, líneas de transmisión/cables aislados en gas; transmisión en alta tensión corriente directa “Light” y Sistemas de transmisión flexibles en corriente alterna (FACTS). Asimismo, según las características de tales tecnologías innovadoras de transmisión la integración de sistemas conectados a la red continuarán, por lo tanto el concepto de Red se mantendrá en el largo plazo.

Los avances en el proceso de comercialización facilitará que día a día sea más óptimo el proceso de adquisición de energía para la venta a los usuarios finales. Los operadores de redes de distribución incorporaran y operarán generación distribuida como forma de disminuir las pérdidas de energía por el transporte y distribución de la misma, minimizando las distancias a los usuarios finales. También, será importante la implementación de programas de ahorro de energía, los cuales serán cruciales en los diferentes sectores de consumo. Asimismo, gracias a las continuas innovaciones en Investigación y Desarrollo, el consumidor obtendrá mayores beneficios. El objetivo es tratar de reducir el consumo mediante la implementación de hábitos racionales, mejoras de sistemas de gestión y optimizar el rendimiento de los equipos consumidores. El uso eficiente de la energía supone un ahorro energético, ya que implica una disminución de la energía utilizada para calefacción, iluminación, transporte y otros usos.

Referencias capítulo 1

- [1] Geels F (2005a). Technological transitions and system innovations: a co evolutionary and socio-technical analysis. **Cheltenham: Edward Elgar.**
- [2] Geels F (2005b). Processes and patterns in transitions and system innovations: refining the co-evolutionary multi-level perspective. **Technology Forecasting Social Change**; 72:681–96.
- [3] Kemp, R., Rip, A., Schot, J.(2001). Constructing transition paths through the management of niches. In: Garud, R., Karnoe, P. (Eds.), **Path Dependence and Creation**. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ, pp. 269–299.
- [4] Hoffman P (2005). Innovation and institutional change: the transition to a sustainable electricity system. **PhD Thesis. Twente: University of Twente.**
- [5] Shackley S, Green K (2007). A conceptual framework for exploring transitions to decarbonised energy systems in the United Kingdom. **Energy**, 32: 221-236.

- [6] Geels F (2007). Major system change through stepwise reconfiguration: a multi-level analysis of the transformation of American factory production (1850–1930). **Technology in society**, 28: 445-476.
- [7] Viqueira Jacinto (2007). **Energía e Impacto Ambiental**. México. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 970-32-4286-3, Primera Edición, México; pp: 400.
- [8] Derry T y Williams (1977). **Historia de la tecnología**; vol.1-5 **Siglo XXI EDITORES, México, 378 pp.**
- [9] Foley Gerald, (1981). **La cuestión energética**. Ediciones del Serbal, S.A. Roger de Flor 172. Barcelona. España.
- [10] Romeiro Franco (2006). La energía como fuente de crecimiento y desarrollo en la perspectiva del fin de la era de los combustibles fósiles. **Economía Informa**. Facultad de economía. Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp. 33-47.
- [11] Pykh Malkina (2002). **Sustainable Energy: Resources, Technology and Planning**. Impreso en Gran Bretaña por IBT LTDA; 343 pp.
- [12] Heilbron J, (1979). **Electricity in the 17th & 18 to centuries. A study of early modern physics**. Printed in the United States of America.
- [13] Flores Ángel (2006). **El Cambio tecnológico en los sistemas energéticos**. I Congreso Iberoamericano de Ciencia y Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+1, Palacio de Minería, México, DF.
- [14] Sine Wesley, Robert David (2003). Environmental jolts, institutional change and the creation of entrepreneurial opportunity in the US electric power Industry. **Research Policy**, 32:185-207.
- [15] Energy Information Administration (EIA/DOE). **Historical chronology of energy-related milestones 1800-1994**. Estados Unidos.
- [16] Sarmiento Héctor, Nieva Rolando (2010). Redes Eléctricas Inteligentes. **Conferencia Virtual**, octubre 8.
- [17] Rolf-Grunbaun, Mojtaba Noroozlan, Bjorn Thorvaldsson (1999). FACTS, poderosos sistemas para una transmisión flexible de energía. **ABB Power Systems AB**: 1-14.
- [18] Abdel-Aty Edris (2000). FACTS technology development: An Update. **Power engineering review**; 4-9.
- [19] Becerra José Manuel (2001). La Producción Independiente en la transformación del sector eléctrico mexicano (1992-2000). **Tesis doctoral**, Director (Víctor Rodríguez), Universidad Nacional Autónoma de México.
- [20] Comisión Federal de Electricidad CFE (2010). **Cuarto informe de labores 2009-2010**. Disponible en: www.cfe.gov.mx.
- [21] Steve Parker (1992). **Electricidad**. Madrid, pp.64.
- [22] Secretaria de Energía (SENER), 2008. **Prospectiva del sector eléctrico 2008-2017**. México, DF.
- [23]. Amouroux Jean Marie, 2006. ¿Llegó a su término la edad de oro de las energías fósiles? **Economía Informa**, (30):8-22, México.

- [24] Bouille Daniel H (2008a). **Módulo 4. Abastecimiento y Oferta**. Curso virtual economía de la energía. CEPAL.
- [25] International Energy Agency IEA (2010). **Energy technology perspective, Scenario & strategies to 2050**.
- [26] Viqueira Jacinto (2008). Tecnologías para la reducción de Emisiones de CO₂ en la Producción de Electricidad. **Ingeniería Civil**, No. 464:16-19.
- [27] Ruiz Valeriano (2006). **El reto energético**. Opciones de futuro para la energía. Editorial Almuzara, España; pp. 350.
- [28] Massachusetts Institute of Technology (2006). **The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century**
- [29] International Atomic Energy Agency IAEA (2010). **Nuclear Technology Review**. Viena, Austria; 166.
- [30] Grahit Jordi (2005). Hablemos de energías alternativas. **Automática e instrumentación**. No. 363: 58-62.
- [31] Neil Charles (1942). Entering the seventh decade of electric power. **Edison Electric Institute bulletin**. September, Vol.10 (9): 320-332.
- [32] Morton David (2002). Reviewing the history of electric power and electrification. **Endeavour**. Vol 26(2): 60-63.
- [33] Cipolla C. M., (1961). **Sources d'énergie et Historie de l'humanité**, annales ESC, Mai-Juin pp.520-534.
- [34] Viqueira Jacinto (2003). "La red eléctrica, desarrollo características y funcionamiento". In: **Modelo Británico de la industria eléctrica mexicana**. Siglo XXI editores S. A. de C.V. 1ra. Ed. México, pp. 278.
- [35] Prieto Alberto (2001). **La industria eléctrica del futuro en México. Soluciones a un problema no planteado**. México, 1ra. Edición, Miguel Ángel Purrua, Editor, México; 326pp.
- [36] International Energy Agency IEA (2006). **Energy technologies perspectives: escenarios and strategies to 2050**.
- [37] Secretaria de Energía (2008). **Balance de Energía**. Disponible en: www.sener.gob.mx.
- [38] Huacuz Jorge (1999). Generación eléctrica distribuida con energías renovables. **Boletín IIE**, septiembre-octubre, 216:222.
- [39] Albory Yves (2000). Secuencia y diseño de la Reforma. en: **Seminario Desafíos y opciones para el sector eléctrico Mexicano: Qué podemos aprender de la Experiencia Internacional**. Coordinador (Arturo Reinking). Programa Universitario de Energía, UNAM. pp.372.
- [40] Estrada, C. y Álvarez, G.; "Las energías renovables en el contexto de las energías primarias"; **Memoria Técnica Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía, ATPAE**; México; septiembre 1998; p. 623-628.
- [41] Enríquez Harper Gilberto (2012). **Memoria Técnica de Vigésima-Quinta Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial, IEEE**, Acapulco, México.

[42] International Energy Outlook (2011), **Energy Information Administration**, U.S.

[43] Nezhad Hammeed (2009). **World Energy Scenarios to 2050**:Issues and options.

[44] González S José, López de C Jorge E, Arellano G Víctor (2013). **Mapas de ruta tecnológica – un elemento esencial para la planeación energética**. Congreso Conjunto de Energía, AMEE, WEC, AMGN, AME Acapulco, Guerrero.

[45] Adame Julián (2013).**Nuevos horizontes tecnológicos en el sector eléctrico**. Vigésima sexta Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial RVP-AI/2013.IIE-IEEE.

Capítulo 2 FORMAS ORGANIZACIONALES

CAPÍTULO 2

El capítulo anterior relató el comienzo de las bases científicas que dieron origen a la electricidad y analizó los principales avances tecnológicos que han influido en la evolución de la industria eléctrica.

El capítulo dos estudia las bases conceptuales que han caracterizado a la industria eléctrica. Se incluyen los fundamentos teóricos, que comprende las características de la industria eléctrica y los elementos básicos de la teoría económica. Además, por su importancia y trascendencia se presentan los cuatro modelos básicos de organización industrial: 1) modelo de monopolio público o privado; 2) modelo comprador único; 3) modelo de competencia mayorista; y 4) modelo de competencia minorista. El principal objetivo es conocer cuáles fueron las razones que originaron las reformas en la industria eléctrica; con base en la experiencia a nivel mundial. Asimismo, en el contexto de la investigación se pretende responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es la tendencia en el modelo de organización que adoptará la industria eléctrica al 2050?

Para responder la pregunta anterior, el capítulo se divide en tres partes. La primera presenta la estructura de la industria eléctrica, características, regulación, elementos de la teoría económica, los modelos básicos y la importancia del servicio público de electricidad. La segunda, aborda el tema sobre las reformas y algunas experiencias internacionales. Finalmente, se presenta la tendencia en el modelo de organización industrial esperado al 2050.

2.1. ESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

En esta sección se presentan las bases que dieron origen a la estructura de la industria eléctrica y sus principales características. En el contexto de la investigación, es importante traer a colación los antecedentes de la industria eléctrica en Estados Unidos, ya que fue allí donde empezó el desarrollo de la industria eléctrica.

En la primera década del siglo XX la industria eléctrica en Estados Unidos, se caracterizó por ser de carácter local, privada y con escasa regulación. Se pueden distinguir tres periodos relacionados con la evolución de la industria eléctrica; el primero concierne al origen desde 1882 hasta 1930; es cuando surgen las centrales de generación alrededor de las minas y de las fábricas, las cuales empiezan a suministrar los excedentes de electricidad a los usuarios cercanos a dichas centrales. Es el periodo de los sistemas pequeños y aislados, generalmente en manos del sector privado. El segundo periodo comprende desde 1930 hasta 1960, es cuando empieza la integración de empresas, las cuales presentaban problemas técnicos y administrativos, en la cobertura, tenían diferentes estándares técnicos, lo que imposibilitaba que siguiera creciendo el servicio. Algunos aspectos importantes de este periodo fueron: el aumento de las economías de escala en generación y la concepción del suministro eléctrico como servicio público, que llevaron a considerar la industria eléctrica como un monopolio natural ya fuera de propiedad pública o privada. Además, se promovió la interconexión y se completaron las redes de transmisión y distribución; el Estado se convirtió en el actor más importante en el sector. El tercer periodo, comprende desde finales de 1978 hasta el 2003; es cuando los proponentes del mercado, la teoría neoliberal y los organismos financieros internacionales promueven las reformas y la apertura a la competencia [1].

La industria eléctrica en Estados Unidos comenzó en 1870; paralelamente al rápido desarrollo tecnológico. En 1879 se inauguró el primer generador eléctrico comercial en Estados Unidos, con el servicio de iluminación de arco en San Francisco por la Compañía eléctrica de California. Al mismo tiempo, Edison perfeccionó la bombilla incandescente. En los inicios de 1900, la industria fue esencialmente técnica y manejada sin un modelo industrial estable. En esa época había cerca de 3000 generadores privados y 1000 eran de propiedad y operados por el sector público.

El desarrollo de la industria eléctrica del Estado y la política federal fomentaron un ambiente de competencia, para garantizar la no exclusividad del derecho de

competencia y pasaron la enmienda de la ley para prevenir arreglos o acuerdos en los precios. A pesar de los intentos del gobierno local y federal de mantener la competencia dentro de la industria, las grandes compañías eléctricas absorbieron a los pequeños competidores. En el año 1907 algunos estados, tales como Nueva York, Detroit, Denver fueron dominados por una sola compañía. El mercado se caracterizó por las altas tasas y colusión de precios; esto fue común entre proveedores de electricidad vecinos. Nueva York y Wisconsin fueron los primeros estados en reaccionar ante el incremento de los costos y establecieron la comisión del Estado para regular los precios de la electricidad. En 1920, más estados establecieron la comisión regulatoria [2].

Durante el periodo de 1900 a 1932 el aprovechamiento de las economías de escala fue cada vez mayor; se crearon instituciones para incluir la participación dinámica del gobierno federal en la industria eléctrica de acuerdo a tres principios: 1) la industria eléctrica se considerará un monopolio natural sujeta a la regulación federal; 2) los recursos hidroeléctricos de la nación son propiedad del gobierno federal; 3) los programas de desarrollo económico federal deberán incluir la generación eléctrica. En el año 1932, las empresas municipales contribuyeron solamente con el 5% al total de generación, al mismo tiempo las empresas de propiedad del Estado y federales con el 1%; el 94% restante fue suministrado por empresas privadas multi-servicios. En retrospectiva, se puede observar que en el año 1907, únicamente el 8% de todas las viviendas en Estados Unidos tenían acceso a la electricidad; en el año 1932 el porcentaje se incrementó en un 67%; finalizando el año más del 80% de las viviendas urbanas tenían acceso a la electricidad, mientras que el sector rural representaba únicamente el 11% [3]. Después del año 1935, la industria se caracterizó por una estructura de monopolio regulado con crecimiento sostenido e importantes economías de escala. En el año 1936 durante la administración de Roosevelt se creó la ley de electrificación rural y la electrificación llegó a las zonas rurales.

En el periodo 1940-1965, la industria eléctrica se caracterizó por los bajos precios de los combustibles y el rápido desarrollo tecnológico. Estos factores contribuyeron a los

bajos precios de la electricidad, satisfacción política y popular con la industria eléctrica [2]. Estados Unidos, adoptó un modelo de organización industrial, de monopolios privados regulados por una entidad regulatoria independiente [4].

El periodo 1965-1972 se caracterizó por fallas en las redes eléctricas, incremento en los precios de la electricidad y un gran nivel de escrutinio por parte de académicos y activistas. Se crearon las leyes de política ambiental en 1969 y de aire limpio en 1970. También, el concepto de monopolio y la estructura industrial de monopolio regulado, fue cuestionado por diversos actores entre ellos congresistas, los cuales discutieron acerca de la actual estructura de la industria eléctrica y alternativas a esa estructura. En el año 1973, la industria eléctrica se afectó por la primera crisis del petróleo; el incremento en el costo del combustible se reflejó en el alza en los precios de la electricidad para el usuario industrial y residencial [2].

En 1978, surge una nueva agenda de política energética enfocada en dos temas principales: la necesidad de conservar la energía, plantear estrategias y alternativas de generación eléctrica. En este contexto, el Congreso presentó la ley de Política Nacional para responder a la crisis y creó la Ley de Políticas Reguladoras de Empresas de Servicios Públicos PURPA-1978. La creación de dicha ley facilitó la creación de empresas no eléctricas llamadas "*non-utilities*" e incentivó una competencia limitada en el segmento de la generación. Además, la ley apoyó el desarrollo de un mercado de cogeneración y renovación de potencia, al requerir a las empresas eléctricas la compra de potencia generada por esas centrales, al costo evitado de dichas empresas.

En el año 1996, el Estado de California cambió su modelo de organización industrial para crear un mercado e introducir la competencia, el cual cayó en crisis en el 2000.

En el 2003 ocurrió un apagón debido a la caída del servicio en una central eléctrica del Niágara, que afectó nueve Estados de Estados Unidos y una provincia de Canadá afectó alrededor de 20 millones de personas.

La Tabla 2.1 representa los principales eventos en relación con la industria eléctrica en Estados Unidos (1879- 2007) [2].

Periodo	Características de la industria Eléctrica
1879	Primera estación eléctrica comercial en San Francisco. La primera nación que ofreció un servicio público de electricidad
1882	Apertura de la estación Pearl Street por Thomas Edison. El cual ofreció un servicio de iluminación confiable.
1888	Teoría de Monopolio Natural. Richard T Heli. Define el término en Los Estudios de la Evolución de la Sociedades Industriales.
1891	Corriente alterna. Desarrollado por William Stanley, diseñó una de las primeras prácticas para transferir corriente alterna, eficientemente entre circuitos aislados.
1898-1910	La generación de electricidad es un monopolio natural. Samuel Insull fue un personaje clave en los inicios de la industria. El influenció en la teoría del monopolio natural.
1900-1927	Consolidación de la industria: la industria es dominada por 7 compañías.
1934	El Congreso da la facultad de reglamentar las empresas eléctricas interestatales.
1935-1967	El crecimiento de la demanda, los combustibles baratos y los avances tecnológicos mantuvieron constantes a la baja los precios de la electricidad.
1965	Apagón en 8 Estados en la costa este de EE UU. Las empresas ordenaron interconectar a través de fronteras estatales.
1967-1973	Ley de Política del Medio Ambiente Nacional 1969 y la ley de aire limpio autorizada 1970, para establecer y hacer cumplir los estándares de calidad del aire.
1973-1978	Embargo OPEP (1973), incremento de los precios de la energía y escrutinio en la industria.
1978	La ley PURPA crea un nuevo nicho para el mercado eléctrico al mayoreo.
1978-1992	Era de las oportunidades empresariales- "Nonutilities".
2000	Crisis en el mercado en el Estado de California
2003	Apagón en 9 Estados de Estados Unidos y una provincia de Canadá
2005	Ley de Política Energética promulgada por George Bush
2007	Ley de Independencia y Seguridad Energética que incluye provisiones para la conservación de la energía, estímulos fiscales para las energías renovables.

Tabla 2.1 Eventos importantes en la industria eléctrica en Estados Unidos.

Fuente: (Sine et al, 2003)

2.1.1. La cadena productiva en la industria eléctrica

La cadena productiva en un sistema eléctrico puede dividirse funcionalmente en: la generación que es la producción de electricidad; el despacho del sistema que asegura que la oferta y demanda estén balanceados momento a momento, coordina mantenimientos, determina y ubica la reserva, administra la producción y el transporte de energía eléctrica en el tiempo, bajo un esquema de costo mínimo, estabilidad y máxima seguridad; la transmisión es el transporte de electricidad de alto voltaje que es fundamental para lograr la confiabilidad en el suministro y la operación del sistema como un todo; la distribución es el transporte de electricidad de bajo voltaje y el suministro de electricidad que es la venta de electricidad a los usuarios finales. Incluye la medición, la facturación y la mercadotecnia que puede ser al mayoreo o menudeo [5]. La **Figura 2.1** muestra la estructura básica de un sistema eléctrico.

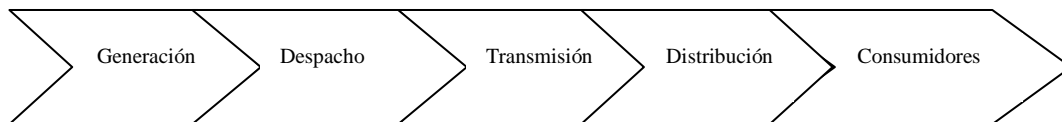


Figura 2.1 Estructura básica de un sistema eléctrico.

Fuente: Cristerna (2002).

2.1.2. Características de la industria eléctrica

La industria eléctrica en su conjunto consta de cuatro actividades secuenciales; es decir, no se puede llevar a cabo una si no se ha realizado la anterior, en otras palabras están integradas verticalmente: generación, transmisión, distribución y comercialización. Como se mencionó en el capítulo uno, los aspectos técnicos son una de las principales razones de la integración vertical de los sistemas eléctricos; ya que la energía eléctrica producida en los sistemas de corriente alterna no pueden almacenarse en cantidades significativas, por lo que la potencia debe ser igual en cada instante a la potencia demandada por los consumidores más las pérdidas del sistema. La energía eléctrica debe suministrarse con una calidad adecuada, todos los sistemas eléctricos deben funcionar en sincronismo; la preservación del equipo y

de las instalaciones en caso de falla, hace necesario disponer de un sistema de protección automático [6].

Además, presenta características propias que la distinguen de otras industrias, son las siguientes [7]:

- Industria de infraestructura, pesada e intensiva en capital, de ahí que los costos fijos son muy altos respecto a los costos variables.
- Industria de red por lo tanto con segmentos de monopolio natural e importantes economías de escala, secuencia y alcance.
- Sus tarifas están reguladas.
- Recupera sus inversiones en el largo plazo.
- Representa importantes costos irrecuperables llamados también “costos hundidos”, son costos que han sido incurridos y que no pueden ser recuperados. En el caso de la industria eléctrica, se relacionan con las grandes inversiones irrecuperables, los cuales pueden desalentar a la firma ya instalada a abandonar la actividad.
- Utiliza bienes públicos⁸ y privados para su producción, conducción y consumo.
- Debe anticipar la oferta a la demanda para evitar el racionamiento y atender una demanda siempre creciente.
- Es una industria técnicamente sofisticada y compleja que requiere personal altamente calificado y especializado.

⁸De acuerdo con (Tietembergh 1992, p.56) un bien público es aquel bien cuyo acceso es abierto a todo la sociedad y su consumo es indivisible y puede ser consumido colectivamente. Además, está a la disposición de todos y en abundancia como el aire, mar, montañas y para conseguirlos no se requiere de ninguna transacción económica. Los bienes públicos también se llaman "bienes no económicos".

- Contaminante que está sujeta a estrictas regulaciones ambientales. Por ejemplo, durante la combustión de combustibles fósiles, se emiten contaminantes CO₂, NO_x SO₂ y partículas PM, por lo tanto las centrales eléctricas deben estar sujetas a la normatividad ambiental.
- Es una industria que los ciudadanos no quieren tener cerca de su casa. Se refiere a la oposición del público. Por ejemplo, la construcción de plantas eólicas, causan oposición del público; ellos opinan que éstas dañan el paisaje y causan contaminación por ruido; por lo tanto deben ubicarse lejos de los centros de población.

2.1.3. Elementos de la teoría económica

La estructura de un sector de la economía, especialmente el de la industria eléctrica presenta variadas y complejas modalidades de coordinación, cuyas características se basan principalmente en siete elementos de la teoría económica. Son los siguientes [9]:

1) Monopolio natural

La industria eléctrica se ha considerado un monopolio natural, el cual ha funcionado con unidades integradas incluyendo la generación, transmisión distribución y comercialización; constituyendo en cada territorio un monopolio natural público o privado. Actualmente sólo se considera un monopolio natural el despacho y la conducción (transporte y distribución). Un monopolio natural es un caso particular de los monopolios; en una industria se presenta cuando debido a las economías de escala, la máxima eficiencia de producción, transporte y distribución se alcanza a través de un único proveedor. Es decir, a medida que aumenta el tamaño de las centrales, la tecnología va dando un menor precio. Además, depende de la planeación y la coordinación (despacho a mínimo costo).

El principal criterio para determinar la existencia de un monopolio natural, es la subaditividad⁹ de costos. Se entiende por subaditividad cuando una sola empresa es capaz de producir la cantidad demandada de un bien o servicio a un costo menor, en comparación con el costo que tendrían si hubiera dos o más empresas. Las economías de escala implican subaditividad de costos para el caso de una empresa monoproducción¹⁰. En este caso concreto las economías de escala son una condición suficiente para la subaditividad. De esta manera, la subaditividad está asociada a las economías de escala, las cuales se presentan cuando la ampliación de la escala de producción permite que ésta crezca más rápido que los insumos. Si se incrementan de manera proporcional todos los insumos, la producción se incrementará mucho más, generando costos medios¹¹ y costos marginales¹² decrecientes. Las industrias que operan con costos fijos muy altos y costos variables muy bajos, producen un costo unitario muy bajo, por lo tanto es más eficiente que una sola empresa atienda el mercado. Entonces, aumentar el número de empresas implicaría duplicar innecesariamente los costos fijos y sería muy costoso para los compradores potenciales e ineficientes para la sociedad debido a las duplicidades [10].

En la teoría económica, una función de costos es subaditiva si el costo de producir un bien o servicio, en una sola empresa es menor, que el costo de producir el mismo bien o servicio en dos a más empresas con la misma tecnología. Las economías de escala en el caso de una empresa monoproducción, introduciendo el concepto de subaditividad de costos es la siguiente: Sean q_1 y q_2 dos niveles diferentes de producción [11].

⁹ Subaditividad significa que cuesta menos producir los distintos niveles del producto en forma conjunta que en forma separada. Esto significa que economías de escala implican subaditividad de costos; sin embargo subaditividad de costos no implica economías de escala.

¹⁰ Empresa monoproducción: son aquellas que solamente producen un bien o servicio.

¹¹ Se entiende por costos medios la suma de costos fijos más los costos variables dividido por la cantidad de energía producida en un periodo.

¹² Se entiende por costo marginal el costo de producir una unidad adicional.

La función de costos $C(q)$ es subaditiva en q si para cualquier q_1 y q_2 sí satisface la siguiente ecuación:

$$C(q_1) + C(q_2) > [C(q_1 + q_2)] \quad (1)$$

2) Los mercados disputables

El concepto básico de la disputabilidad es que un mercado puede ser vulnerable a las fuerzas competitivas aunque este sea un mercado monopolístico u oligopólico. Es decir si las empresas son técnicamente ineficientes o aplican precios excesivos, la entrada de competidores es posible. De esta manera los mercados disputables se caracterizan por la libre entrada y salida, de modo tal que la competencia potencial puede ser suficiente para disciplinar el comportamiento de las firmas monopolísticas u oligopólicas.

Un mercado es disputable si no existen barreras a la entrada de nuevos competidores y si éstos tienen acceso a la misma tecnología que utilizan las empresas ya instaladas; además debe poderse realizar la salida del mercado sin costos importantes, lo que implica que el equipo utilizado es fácilmente vendible o reutilizable en otros negocios, en este caso no hay costos irre recuperables. Dicha teoría se aplicó por primero vez en Estados Unidos a finales de los 70's e inicios de los 80's; la teoría pretende constituirse en una generalización del modelo neoclásico de la competencia perfecta, para el caso de una industria que presente estructuras de monopolio u oligopolio y rendimientos crecientes a escala. Si los mercados de estas industrias fueran perfectamente disputables; a pesar de la presencia de oligopolios y monopolios, estarían dadas las condiciones para que el libre juego de los mecanismos de mercado conduzca a una asignación óptima de los recursos (igual que la competencia perfecta) [10-11].

Los proponentes del modelo del mercado de electricidad, intentan aplicar la teoría de los mercados disputables en la industria eléctrica; los cuales reconocen que los

segmentos de transmisión y distribución tienen características de monopolio natural, pero creen que los segmentos de la generación y comercialización podrían ser mercados disputables.

3) Barreras a la entrada

La importancia de las barreras a la entrada se menciona en la literatura neoclásica de organización industrial. La teoría neoclásica identifica tres tipos de mercado: 1) competencia perfecta; 2) monopolio y 3) oligopolio; los cuales se diferencian por el grado de entrada de nuevos competidores. En la teoría de los mercados disputables el enfoque es diferente, la entrada y salida de competidores es posible sin importar el tipo de mercado [7].

Una barrera a la entrada al mercado es una competencia del costo de producción para un potencial entrante que no debe ser asumida por la parte de las firmas ya establecidas. Además, son factores que producen un aumento en los costos de las nuevas empresas respecto a las establecidas. De este modo, la existencia y el sostenimiento en el largo plazo del monopolio natural, se fundamenta en el poder del mercado que le garantiza ser el único suministrador protegido a través de las barreras de entrada que impiden el acceso a nuevos competidores[12]. Dichas barreras se clasifican en barreras naturales y barreras artificiales [13]:

a) Barreras naturales¹³: son aquellas relacionadas con aspectos técnicos y con ciertas estructuras de costos. Entre ellas están las economías de escala, de secuencia, de alcance y las ventajas geográficas.

Economías de escala: una empresa presenta economías de escala cuando puede duplicar su nivel de producción sin necesitar duplicar su costo.

¹³ Es importante mencionar, que las barreras naturales aparecen en los segmentos de transmisión y distribución, los cuales son considerados un monopolio natural. Sin embargo, en el segmento de la generación eléctrica, los nuevos mecanismos regulatorios y el desarrollo tecnológico especialmente en centrales de ciclo combinado, han superado la barrera artificial en este segmento, mediante la competencia a través de Productores Independientes (PIE).

Economías de secuencia: cuando en los procesos de una cadena productiva la integración vertical de los mismos, dentro de las empresas presentes en la actividad constituye la estructura más eficiente de producción.

Economías de alcance: existen cuando la empresa puede producir cualquier combinación de dos productos, de una forma más económica que dos empresas independientes produciendo cada una un único producto.

b) Barreras artificiales, son las resultantes de estrategias adoptadas por los actores así como las,

*Promovidas por el poder público*¹⁴. Tales como las concesiones y otras barreras institucionales. Son establecidas por el propio poder público a través de mecanismos institucionales. Constituye la base legal para las acciones regulatorias (tarifas, calidad, inversión).

4) Información asimétrica

Es la situación en la cual las partes de una transacción económica tienen diferente información acerca de la misma. El proceso de asignación económica frecuentemente se realiza con información asimétrica. En la industria eléctrica el manejo de los flujos de información es de suma importancia ya que el poder del mercado se basa generalmente en el control de la información más relevante.

5) Definición de objetivos de la actividad económica

Si es de interés público, si es servicio público o si se busca el beneficio individual entre los actores.

¹⁴ Otras posibles barreras a la entrada son las de tipo jurídico. Son normas o leyes que impiden el acceso al sector a otros proveedores. Las licencias o concesiones estatales exclusivas para abastecer un mercado, son argumentos que podrían sustentar la existencia de un monopolio natural, lo cual impide la existencia legal de otras empresas. Las barreras a la entrada de carácter jurídico podrían reforzar las barreras técnicas cuando los argumentos políticos son utilizados por grupos de interés fundamentados en el control de la información tecnológica y de costos.

6) Estructura de propiedad

Influye en el proceso de asignación económica de los recursos y su eficiencia. Se puede distinguir tres tipos de estructura de propiedad: 1) propiedad privada: se caracteriza porque todos los aspectos relacionados con los derechos de propiedad, son manejados por actores privados; 2) propiedad común: la toma de decisiones se realiza mediante un grupo de actores privados (carteles industriales); 3) propiedad estatal, se caracteriza porque la autoridad pública controla la toma de decisiones, lo que implica control político.

7) Condiciones de comercio internacional

El comercio internacional ha promovido la eficiencia en la industria eléctrica. Asimismo, ha sido una amenaza para el comercio nacional de electricidad en la posición de monopolio. El comercio internacional ha permitido aumentar las posibilidades entre generadores, distribuidores y comercializadores individuales. Se pueden identificar tres posibilidades: 1) autarquía, 2) comercio internacional restringido, 3) comercio sin restricciones.

2.1.4. Sistemas de coordinación de las actividades económicas

Para analizar conceptualmente la estructura de la industria eléctrica, es necesario definir los sistemas básicos de coordinación de las actividades económicas. Estos sistemas pueden clasificarse principalmente en: mercado, red y jerarquía; los cuales se diferencian uno a otro en tres aspectos fundamentales: 1) el mecanismo de toma de decisión económica; 2) el mecanismo de asignación; 3) la meta de la actividad económica [9]. La Tabla 2.2 muestra los tres mecanismos de coordinación y sus diferencias en cuanto a la toma de decisión, a los mecanismos de asignación y la meta económica.

Mecanismo de coordinación de las actividades económicas	Toma de decisión	Mecanismos de asignación de recursos	Meta de la actividad económica
Mercado	Individual	Precio de venta	Rentabilidad individual de los actores y la continuidad
Red de actores	Grupo	Acuerdo	Rentabilidad colectiva y continuidad
Jerarquía	Autoridad Pública	Norma oficial	Interés público nacional

Tabla 2.2 Características básicas de los mecanismos de coordinación.

Fuente: Arentsen et al., (1996).

El mercado: en un sistema de mercado la toma de decisión es completamente individualizada. Los diferentes actores motivados por su interés; toman sus propias decisiones respecto al consumo y la producción de bienes y servicios. La fijación de precios se da por efecto de la oferta y la demanda que rige el sistema; los diferentes actores compiten en el mercado para alcanzar sus metas económicas.

Red: se caracteriza porque el proceso de toma de decisión es colectivo o por consenso. Aunque, todos los actores tienen los mismos derechos de propiedad con respecto a determinados bienes económicos, ninguno de ellos es capaz de cambiar o capitalizar sus derechos sin la aprobación de los demás. La planificación por consenso es el principal mecanismo para la asignación de bienes y servicios. La meta económica de grupo puede describirse como una rentabilidad colectiva y continua.

Jerarquía: La toma de decisión se basa en la presencia de la autoridad pública, la cual obliga a los actores a operar el sistema de acuerdo a ciertas directrices. El mecanismo de asignación de recursos es mediante una norma oficial. La meta económica no es la individual o colectiva; sino es el interés público.

Desde el punto de vista teórico, la estructura económica industrial puede describirse como las combinaciones de diferentes sistemas de coordinación, en la cual una es dominante. El resultado es una conceptualización con un sistema de coordinación

dominante; en el caso más simple; un sistema es agregado a otro, originando nueve sistemas diferentes de coordinación, que se muestran en la siguiente Tabla 2.3.

Mecanismo de coordinación agregado	Mecanismo de coordinación dominante		
	Precio	Acuerdo	Autoridad Pública
Precio	Libre mercado saturado	Coordinación liberalizada	Jerarquía liberalizada
Acuerdo	Libre mercado coordinado	Coordinación saturada	Jerarquía coordinada
Autoridad Pública	Libre mercado controlado	Coordinación controlada	Jerarquía saturada

Tabla 2.3 Sistemas individuales y combinados para la coordinación de actividades económicas.
Fuente: Arentsen et al., (1996).

Cada modelo combinado puede ser caracterizado por:

Libre mercado saturado: el mecanismo de coordinación agregado es el precio, el cual domina el mercado.

Libre mercado coordinado: el mecanismo de fijación de precios se combina con acuerdos específicos entre actores, tales como acuerdos, precios y definición de participantes en el mercado.

Libre mercado controlado: la autonomía de un actor individual está parcialmente restringida por la autoridad pública; por ejemplo el derecho de exportar de electricidad o entrada a la red.

Coordinación liberalizada: se caracteriza por un conjunto de acuerdos parcialmente implementados por el sistema de precios; por ejemplo contratos para nueva capacidad de generación en la industria eléctrica.

Coordinación saturada: en este caso el mecanismo de coordinación agregado es el acuerdo, el cual debe lograrse entre los diferentes participantes en el mercado.

Coordinación controlada: un sistema de coordinación controlada por la autoridad pública, la cual fija o prescribe las normas y estándares del sistema que deben ser

alcanzados por consenso o acuerdos entre los autores. Por ejemplo, la aprobación por parte del Estado de la planeación eléctrica trazada por las empresas eléctricas.

Jerarquía liberalizada: utiliza el mecanismo de precio, en un sistema dominado por la autoridad pública. Un ejemplo es el ajuste de precios entre varias empresas públicas estatales, o entre varias divisiones de una compañía eléctrica dominante del Estado.

Control central o jerarquía coordinada: es un sistema dominado por la autoridad pública; la cual permite a los actores decidir individualmente sobre algunos aspectos. Por ejemplo, acuerdos entre dos empresas del Estado para abrir nuevas áreas de distribución.

Jerarquía saturada: es un sistema dominado completamente por la autoridad pública. Dicha autoridad establece las reglas del mercado.

Se concluye que desde el punto de vista conceptual, de las nueve combinaciones de sistemas de coordinación, sólo una es dominante. El principal factor que distingue la selección de uno de los tres diferentes sistemas de asignación es el precio, el acuerdo y la autoridad jerárquica del gobierno; además solamente uno es dominante o adicional al sistema. Con base en la clasificación es posible identificar diferentes sistemas de coordinación y los cambios en el mecanismo de coordinación adicional o dominante.

2.1.5. Modelos básicos en la industria eléctrica

En la década de los 80's a nivel mundial, surgieron cambios en el modelo de organización industrial, dichos cambios originaron una propuesta de reestructuración de los diferentes mercados de la cadena (generación, transmisión, distribución y comercialización); además permitiendo la participación de nuevos actores, así como una nueva estructura institucional con una orientación hacia los mecanismos del mercado.

La reestructuración de la industria eléctrica, comprende cuatro modelos básicos que caracterizan la industria eléctrica y sus condicionantes. Dicha propuesta fue realizada por *The National Economic Research Associate* (NERA, por sus siglas en inglés), *Sally Hunt y Graham Shuttleworth*, *Competition and choice in Electricity*, publicado por *John Wiley & Sons Ltda* en 1996, presentados con sus adaptaciones a la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional; en el estudio llamado "Estudio sobre factores legales que afectan el comercio transfronterizo en materia de energía eléctrica entre México y Estados Unidos". [13-14].

A continuación se presentan los cuatro modelos básicos que han sido adoptados a nivel mundial.

1) Modelo de monopolio

El modelo de monopolio de propiedad pública o privada y sus versiones han sido adoptados a nivel mundial antes de las medidas liberalizadoras. El modelo se caracteriza por un sistema vertical integrado. En condiciones de monopolio en cualquier área geográfica, una sola empresa pública o privada es responsable de la generación, transmisión y distribución de electricidad hasta el consumidor final. La empresa tiene la obligación de suministrar energía a todos los clientes en el área de servicio, con una tarifa regulada y asociada de alguna forma a los costos de dar el servicio, generalmente con una tasa de retorno sobre las inversiones realizadas. En el modelo de monopolio no existe competencia ni capacidad de elección por parte del consumidor final, es decir éste permanece cautivo [4]. Según el país, puede estar caracterizado por una única compañía vertical y horizontalmente integrada (que será de carácter público) o por varias compañías verticalmente integradas con zonas de operación definidas (de propiedad pública o privada). La figura 2.2 muestra el modelo de monopolio integración vertical.

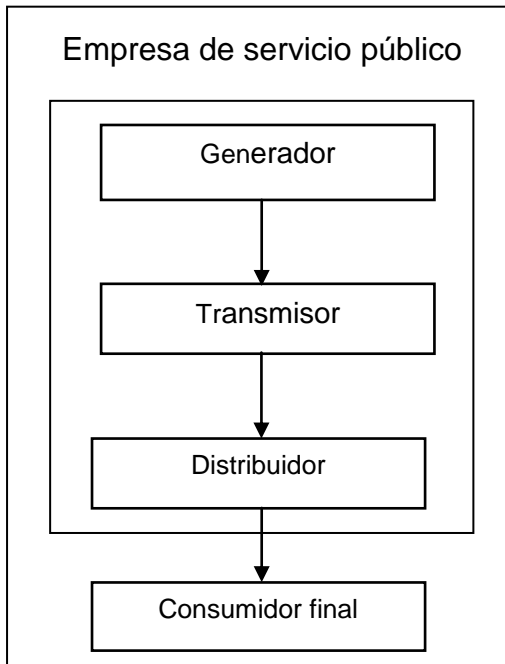


Figura 2.2 Modelo de Monopolio Integración Vertical.
Fuente: Nagayama (2009).

2) Modelo comprador único o apertura parcial

En el modelo de comprador único, la empresa eléctrica local realiza las compras de electricidad a las centrales disponibles de manera que solo existe competencia en generación, mediante la participación de los Productores Independientes de Energía (PIE). El agente comprador actúa como un monopolio en las actividades de transporte y distribución, permaneciendo cautivos los consumidores finales. Los PIE aportan la nueva capacidad requerida para la expansión del sistema, compiten para construir, operar las centrales, asumen los riesgos de operación y construcción. Los PIE pueden vender su producción a otras compañías de distribución o a un comprador mayorista único, que puede revender la energía a compañías distribuidoras. En este modelo, la relación comercial se da a través de los contratos de compra de energía que generalmente incluyen pagos por costos fijos y variables. La competencia se promueve entre los generadores, que compiten para ganar los contratos de construcción de nuevas centrales, a través de licitaciones. El contrato entre PIE y el comprador único, es un convenio de compra de energía (*Power Purchase Agreement, PPA*) en el que puede requerir o no unidades económicas de

despacho de generación. Por otro lado, el precio que cobra el comprador único a la compañía de distribución generalmente está regulado y contiene variables externas, las cuales fluctúan con el precio de la energía adquirida, el combustible, la inflación, entre otros. El acceso a los servicios de transmisión no los vende el comprador único a las centrales generadoras, pero debería especificarse si los costos de transmisión se incorporan al precio pagado por el comprador [10]. La competencia se promueve entre los generadores y se dice que éstos compiten por el mercado. Al permitir el autoconsumo en diversos sitios, se requerirá del diseño de mecanismos para garantizar el acceso a las redes de transmisión y distribución de cualquier participante en el mercado. El modelo de comprador único se considera transitorio antes de un modelo de adaptar un mercado. En la figura 2.3 se muestra la estructura del modelo comprador único.

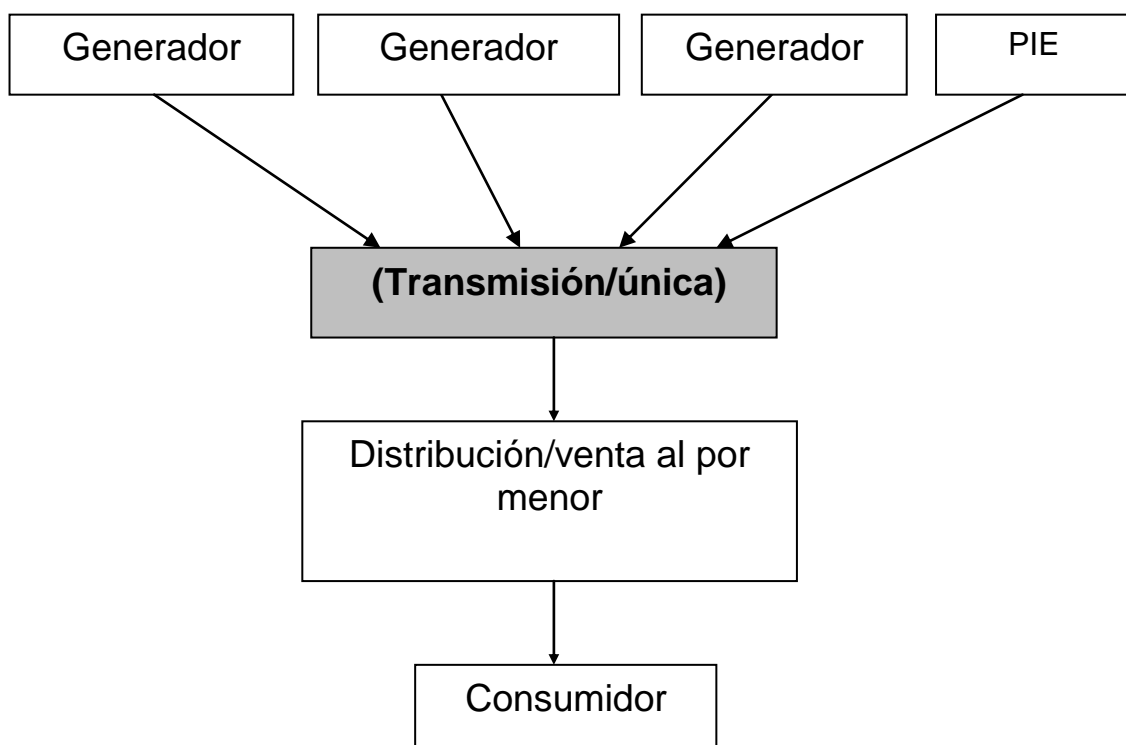


Figura 2.3 Modelo de comprador único

Fuente: Nagayama (2009).

3) Modelo: competencia mayorista

El modelo permite la competencia en dos ámbitos. Por un lado las empresas generadoras compiten entre ellas y con posibles nuevos entrantes para producir la energía necesaria, mejorando la eficiencia económica, dejando el riesgo de las decisiones de inversión al sector privado. Por otro, las comercializadoras (normalmente las distribuidoras tradicionales), mantienen al carácter de monopolio local, pero ahora pueden comprar libremente a los generadores. Esto facilita a las compañías distribuidoras seleccionar al proveedor de energía que más convenga. De este modo, las centrales generadoras venden su producción a compañías de distribución y/o a otros clientes en un mercado donde hay múltiples compradores y vendedores. Además, se permite el libre acceso a la red de transmisión, para que los participantes en el mercado mayorista puedan comprar y vender a quienes elijan. Sin embargo, la transmisión y la distribución siguen siendo monopolios regulados. Las negociaciones de compra-venta, se realizan en el mercado mayorista (*pool*)¹⁵, en el que se requiere de una entidad despachadora y de contratos bilaterales¹⁶, los cuales se celebran fuera del mercado, para efectos de cobertura del riesgo asociado a dicho mercado mayorista [4].

La competencia se promueve entre generadores y se dice que estos compiten por el mercado. Al permitirse el autoconsumo en diversos sitios, se requiere mecanismos para garantizar el acceso a las redes de transmisión y distribución de cualquier participante del mercado [15]. La figura 2.4 muestra la estructura del modelo de competencia mayorista.

¹⁵ El *Pool*, es un mercado mayorista, donde se produce la negociación de compra y venta de energía eléctrica, entre los agentes que tienen acceso al mismo. Cada día las empresas generadoras proporcionan una lista de unidades generadoras que están disponibles al día siguiente y una oferta del precio de la energía eléctrica para cada media hora del día. Los precios ofrecidos se clasifican en orden ascendente y se programan las centrales generadoras con los precios más bajos para satisfacer la demanda.

¹⁶ Se entiende por contrato bilateral un acto jurídico, en el cual mediante acuerdo de voluntades se establecen los derechos y las obligaciones para las partes. Así por ejemplo, contratos por provisiones por riesgo en precios, asociado a los riesgos del mercado. ¹⁶ El *Pool*, es un mercado mayorista, donde se produce la negociación de compra y venta de energía eléctrica, entre los agentes que tienen acceso al mismo. Cada día las empresas generadoras proporcionan una lista de unidades generadoras que están disponibles al día siguiente y una oferta del precio de la energía eléctrica para cada media hora del día. Los precios ofrecidos se clasifican en orden ascendente y se programan las centrales generadoras con los precios más bajos para satisfacer la demanda.

¹⁶ Se entiende por contrato bilateral un acto jurídico, en el cual mediante acuerdo de voluntades se establecen los derechos y las obligaciones para las partes. Así por ejemplo, contratos por provisiones por riesgo en precios, asociado a los riesgos del mercado.

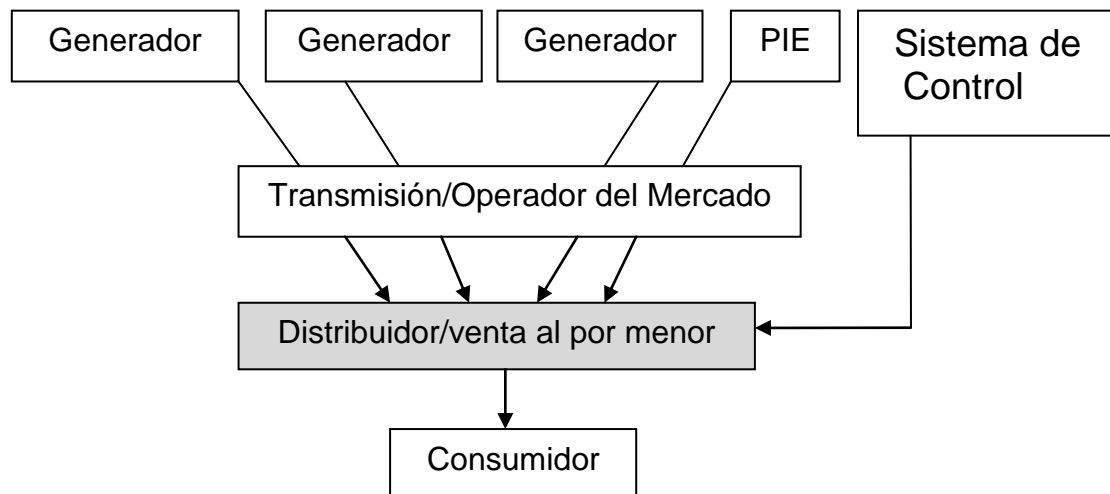


Figura 2.4 Modelo: competencia mayorista.
 Fuente, Fuente: Nagayama (2009).

4) Modelo: competencia minorista

En el modelo se introduce la competencia en ventas al mayoreo y menudeo. Los clientes tienen derecho a seleccionar su proveedor entre los PIE o comercializadores. Se caracteriza, porque existe competencia en la producción y en la comercialización, no existe consumidores cautivos. De esta manera, los clientes pueden seleccionar a su proveedor entre la diversidad de productores independientes PIE, entre los diferentes comercializadores o cualquier otro participante. Es decir, hay un mercado mayorista y un mercado minorista, en el cual los grandes usuarios, o comercializadores pueden comprar directamente en el mercado eléctrico. Se requiere el libre acceso a la red de transmisión y distribución, por lo tanto se debe asignar un precio. En este modelo desaparece la posibilidad del Estado en satisfacer ciertas políticas sociales utilizando los ingresos de la generación, por lo tanto priman las políticas del libre mercado [4,15]. La figura 2.5 muestra la estructura del modelo competencia en comercialización.

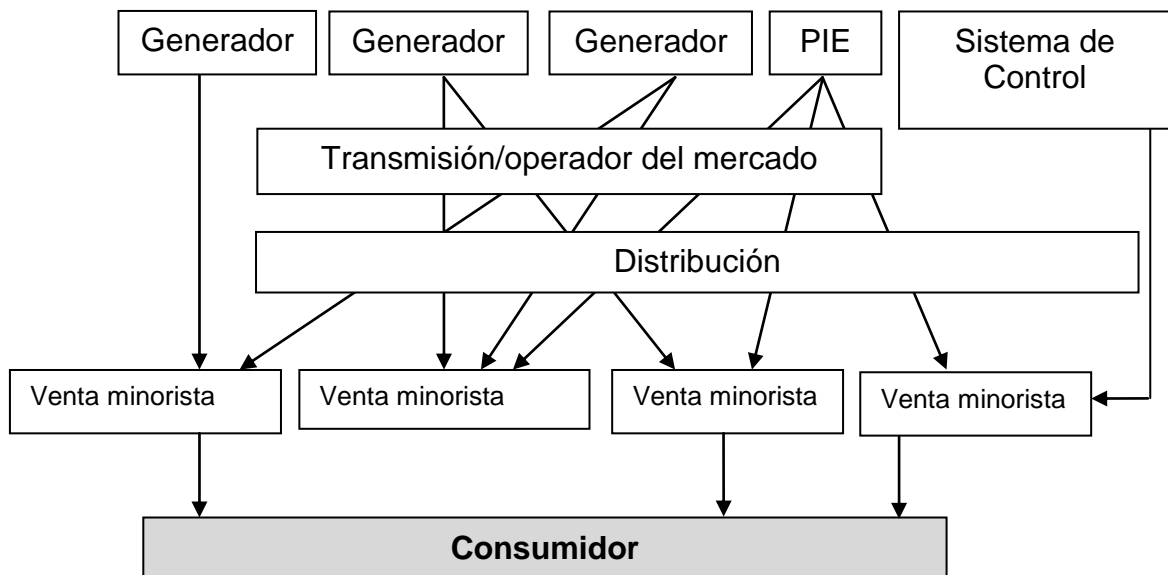


Figura 2.5 Modelo: competencia minorista.
Fuente. Nagayama (2009).

2.1.6. La regulación en la industria eléctrica

Desde el punto de vista de la teoría económica, la regulación se define como el conjunto de normas de carácter general o específico o actividades impuestas por agencias administrativas o regulatorias que interfieren directa e indirectamente en las decisiones de los actores sobre la oferta y la demanda, alterando el libre juego del mercado. De esta manera, se promueve una asignación de recursos más eficiente y se asegura el cumplimiento de los objetivos de la sociedad. La intervención del gobierno se justifica en el sector eléctrico, cuando existen imperfecciones en el mercado¹⁷ que hacen que la asignación de recursos sea diferente a la asignación óptima. El propósito de la actividad económica es hacer uso de los recursos disponibles de manera eficiente. Cuando un gobierno regula impone directa o indirectamente controles en las acciones de las empresas del Estado o particulares de un sector en particular [10].

¹⁷ Entre las imperfecciones del mercado más comunes están: las barreras de entrada debido a costos hundidos (inversiones en activos que no pueden ser utilizados en otras actividades) o economías de escala que dan origen al monopolio natural.

La regulación se observa como un bien sujeto a las fuerzas de la oferta (legisladores y reguladores) y de la demanda (grupos de interés). Uno de los enfoques es el interés público, que señala la necesidad de que el gobierno regule las industrias para corregir las fallas del mercado, para que se beneficie a los consumidores y de este modo se obtenga el mayor bienestar social [12]. Otros autores están a favor de que la política regulatoria se observe bajo el dominio de la industria sujeta a regulación.

La regulación comprende un conjunto complejo de aspectos económicos, legales y políticos, son los siguientes:

- Los aspectos económicos se refieren a una serie de principios tendientes a guiar la intervención del Estado, con la finalidad de promover la eficiencia económica o mejorar las condiciones de bienestar.
- Los aspectos legales comprenden las disposiciones y normas para el funcionamiento de actividades, así como la definición de procedimientos de control y fiscalización.
- Los aspectos políticos se relacionan con los objetivos que deben guiar las acciones de intervención del Estado en actividades y mercados, mediante principios y disposiciones regulatorias.

Para alcanzar los objetivos de limitación de abuso de poder del mercado, la agencia regulatoria debe establecer la manera en que se determinen las tarifas a cobrar por los servicios regulados. Es posible distinguir dos enfoques: uno que busca que las tasas reflejen los costos de la firma y otro que se relacione con la eficiencia. Los esquemas más utilizados en el mundo para regular el nivel precios son los siguientes [10]:

- Regulación por tasa de retorno: se fundamenta en la información que suministra la empresa al ente regulador, principalmente en costos históricos y en información detallada de la empresa para determinar cuáles costos deben ser incluidos en la

tarifa base. Para el caso de que la empresa regulada desee modificar las tarifas debe presentar una solicitud al ente regulador y presentar el cálculo de los costos de mantenimiento y de capital; asimismo, el regulador auditará la información y establecerá una tasa de retorno sobre el capital.

- Regulación por índice de precios o precios tope: este tipo de regulación surgió como resultado del informe *Littlechild* y fue utilizado en 1983 para controlar los beneficios de la empresa de telecomunicaciones británica [16]. consiste en fijar un tope al crecimiento de la tarifa, donde el precio tope se mueve de acuerdo a la inflación, menos un factor X que es la proyección de la tasa de incremento de la productividad. El mecanismo permite a la empresa regulada incrementar sus precios cada año y dentro de un periodo dado, hasta el límite de la variación de un índice de precios elegido, menos un factor variable X consistente con la valoración que realice el órgano regulador de la disminución de costos por mayor eficiencia. Este factor es ajustado periódicamente cada cinco años. De esta manera, la firma tiene mayores incentivos para operar eficientemente porque se ve motivada a obtener beneficios en la medida que reduzca los costos.

Algunas ventajas de la regulación por precios tope son: ofrece a la empresa regulada incentivos para obtener una mayor eficiencia productiva; promueve la innovación y el manejo de la regulación es más práctica ya que solamente requiere de un sencillo cálculo en relación con el índice de precios; no hay necesidad de efectuar ningún tipo de medición del capital ni de la tasa de retorno; no se necesita la asignación de costos entre las partes competitivas y no competitivas; y no es necesario prever futuros cambios de costos y de demanda.

- Regulación por ajuste de precios de acuerdo con el esquema empresa eficiente: se elabora un modelo de cómo debería operar una empresa eficiente y sobre la base del mismo se define la regulación que debería aplicarse a las empresas que operan en el mercado.

- Regulación por comparación: este tipo de regulación busca a través de un gran número de empresas independientes (sin tendencia a la colusión), efectuar una comparación de desempeño entre ellas en cuanto a costos y calidad del servicio. Usa un patrón de referencia de modelo óptimo para evaluar la empresa; reduciendo los requerimientos de información de ésta.

En suma, la regulación económica en la práctica pretende operar como un sustituto de la competencia, imponiendo a la empresa de servicio eléctrico un código de conducta, que simule su comportamiento como si estuviera en un entorno competitivo. Su principal objetivo es asegurar que las metas de la sociedad sean cumplidas.

2.1.7. El servicio público de energía eléctrica

Se considera que no existe una definición universal de servicio público. El concepto se establece con base en que al margen de la eficiencia económica, existen actividades que deben ser ejercidas o controladas por el Estado porque son de interés general. Aunque, su contenido varía de las condiciones de cada país, por lo tanto existen diversidad de enfoques, los cuales se manifiestan en tres aspectos: 1) el papel asignado a la autoridad pública; 2) el tipo de agentes involucrados; 3) y las razones algunas actividades mercantiles o parte de ellas son consideradas servicio público [17].

La noción de servicio público se refiere a una actividad de interés general, uniforme, uniforme regular, continua, realizada por el Estado o particulares para la satisfacción de necesidades colectivas de interés general. No existe una definición universal de servicio público, el concepto se basa en la idea de que, al margen de la eficiencia económica pura y simple, existen actividades que deben ser ejercidas o controladas directamente por el Estado, porque son de interés general. Sin embargo, su contenido concreto depende de tradiciones y convicciones políticas propias de cada país. La asimilación de los servicios públicos, al concepto de interés general ha facilitado desarrollar un concepto basado en tres dimensiones:

- *Dimensión jurídica*

Los servicios públicos dependen de un derecho y una jurisdicción específicos porque buscan el interés general o no el particular.

- *Dimensión económica*

Se refiere a que algunos mercados presentan insuficiencias e imperfecciones razón por la cual la competencia no puede desarrollarse correctamente. Un ejemplo de un mercado imperfecto es aquel cuyas actividades requieren una infraestructura de red: redes eléctricas para el servicio de electricidad.

- *Dimensión política*

La dimensión política surge cuando a un conjunto de servicios públicos se le considera como componente esencial de la cohesión económica, social y territorial. La dimensión política ha permitido agregar los siguientes principios: igualdad geográfica de tarifas, neutralidad de los servicios públicos con respecto a los usuarios y la obligación de extender las redes y el suministro del producto.

Actualmente se reconocen los preceptos constitutivos de continuidad, igualdad y adaptabilidad, los cuales se han enriquecido a través de la historia. En el caso de la electricidad son los siguientes:

- *Universalidad:* prestar el servicio a todo el que lo solicite, brindándole las mismas oportunidades de acceso.
- *Igualdad:* Todos los usuarios en las mismas condiciones deben ser tratados de la misma manera.
- *Neutralidad:* Brindar el mismo trato sin discriminación ni favoritismo.
- *Adaptabilidad:* adaptar el servicio a las necesidades de los usuarios y a las nuevas condiciones tecnológicas.

- *Continuidad*: prestar el servicio sin interrupciones.
- *Uniformidad*: Brindar el servicio sin alteraciones, manteniendo estándares de voltaje y frecuencia.
- *Regularidad*: Prestar el servicio en las condiciones preestablecidas en contratos y normas.
- *Eficiencia*: El servicio debe representar el menor costo para la colectividad a corto y largo plazo.
- *Solidaridad*: uniformidad nacional de precios.
- *Equidad*: Distribuir equitativamente las rentas económicas asociadas tanto a la explotación de los recursos hidroeléctricos y geotérmicos, como a la tecnología y la organización de las actividades.
- *Transparencia*: acceso a la información sobre el comportamiento y desempeño del operador del servicio.
- *Seguridad*: Prestar y desarrollar el servicio minimizando los riesgos de daños a personas y bienes.
- *Cuidado ambiental*: Operar y extender los sistemas de abastecimiento en forma compatible con el entorno natural.

Armonía social: operar y extender los sistemas de abastecimiento tomando en cuenta a las comunidades aledañas a la infraestructura en cuanto a sus actividades productivas y sociales, idiosincrasia, tradiciones, otros.

De los principios mencionados anteriormente cada país, selecciona aquellos que puedan contribuir al logro de los objetivos, de acuerdo a la política económica, social y ambiental. La aplicación de los principios se lleva a cabo por medio de las misiones del servicio público que el Estado le encarga al agente prestador del servicio. Sólo el legislador puede fijar dichas misiones. El regulador debe verificar que éstas se cumplan de manera eficiente y equitativa.

La liberalización de los servicios públicos es una propuesta de degradación del servicio público a servicio universal, originada por la globalización de economías,

sociedades y por otros factores irreversibles tales como el progreso técnico, la búsqueda de mercados lucrativos y la implementación de políticas neoliberales. La propuesta de cambio estructural intentó sustentar, que lo importante del servicio público es el acceso o el derecho a un bien material. Pasar del servicio público al servicio universal representaría un empobrecimiento ya que se estaría aceptando que la manera de hacer es lo que define el servicio público (véase, Rodríguez 2003).

2.2. REFORMAS EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

Históricamente, los gobiernos han considerado a la industria eléctrica como un sector estratégico, por su importancia para el desarrollo industrial, el impacto en los aspectos sociales, ambientales y las características de monopolio natural, por tal razón ha sido indispensable regular la industria eléctrica efectivamente [19]. Además de las características de las economías de escala, costos hundidos, planeación de las inversiones, regulación y desarrollo óptimo de redes para llevar la electricidad a los consumidores finales [7]. Sin embargo, a partir de los 80's los mercados eléctricos alrededor del mundo han sufrido cambios, los cuales han buscado liberalizar la operación y propiedad de su estructura; los objetivos de dichos procesos han sido incentivar al máximo la competencia donde sea posible y la búsqueda de la eficiencia, para lograr regulaciones que permitan el buen desarrollo de los mercados donde no es posible la libre competencia [19].

Los cambios se han observado desde una estructura monopólica hacia una estructura competitiva, los cuales han sido motivados por diversos factores, tales como el desarrollo tecnológico, el grado de desarrollo de la economía; también los procesos políticos y económicos. Las tendencias mundiales han sido la liberalización de los precios, la desregulación de actividades reservadas al Estado, el incentivo a la competencia y la privatización de las empresas públicas [20].

Uno de los cambios estructurales más importantes que ha sufrido la industria eléctrica ha sido introducir la competencia en los segmentos de la industria (generación y comercialización), para permitir la entrada de nuevos actores y los

segmentos no competitivos con características de monopolio natural (transmisión y distribución) han sido organizados para fomentar la competencia; el consumidor tiene la libertad de elegir al proveedor de electricidad [21].

Existen por lo menos dos razones que sustentan las reformas en la industria eléctrica:

El objetivo básico de mejorar la eficiencia: en el proceso de reestructuración con base en dicho objetivo, el número de operadores (compradores y vendedores) en el mercado es considerado un elemento crucial; no de la privatización, para alcanzar el objetivo.

1. Cambios en la atmosfera ideológica. Esta razón básica para la reestructuración y liberalización generalmente termina con la privatización de las actividades públicas.

2.2.1. Experiencias internacionales

Una vez conocidas las razones que sustentan las reformas (reestructuración, liberalización, privatización) en la industria eléctrica, es importante traer a colación las principales experiencias en diversos países alrededor del mundo, que adoptaron dichas reformas. En la presente investigación se seleccionaron algunos países que adoptaron reformas tales como los que pertenecen a la Comunidad Europea; asimismo de América Latina y el Estado de California en Estados Unidos.

a) La regulación en Estados Unidos

Estados Unidos se caracteriza por un sistema federal de gobierno. Las responsabilidades son compartidas entre el gobierno federal y los 50 gobiernos estatales. A estos dos niveles los gobiernos tienen la autoridad para legislar sus propias políticas energéticas y programas. Los estados deben cumplir con los estatutos federales y tienen autonomía de legislar su propia política energética.

La regulación se base en legislación federal, la cual ha tenido un gran impacto en la industria eléctrica. Tres actas o cambios legislativos han causado efectos en la estructura de la industria. Primero la creación de La ley *Public Utility Holding Company Act* (PUCHA) en 1935; segundo, la creación de la ley *Public Utility Regulatory Policies Act* (PURPA) en 1978 y la tercera la creación de la *Energy Policy Act* (EPact) de 1992.

La ley Public Utility Holding Company Act (PUCHA) de 1935, fue dirigida a romper la excesiva confianza que se tenía sobre las redes de distribución de gas y electricidad de la nación. Además, evitar los abusos de estas compañías, tales como venta de servicios a los subsidiarios con precios excesivos, comprar y vender propiedades dentro del sistema con abuso de precios, otros [22].

En el año 1978, el Congreso de Estados Unidos aprobó la ley PURPA-1978 con el propósito de fomentar un cierto grado de competencia en generación y promover la penetración de fuentes renovables de propiedad de pequeños productores. La ley PURPA, fue el principio de la desregulación de la industria eléctrica en Estados Unidos, con la apertura a la competencia en la producción de energía eléctrica y la creación de un grupo de proveedores privados llamados productores independientes de energía (PIE). PURPA fue prorrogada en 1987. Sin embargo, la principal fuerza conductora para la reestructuración de la industria eléctrica en 1990, puede haber sido la gran diferencia de precios del fluido eléctrico entre estados. Esto se debió a que algunos estados habían firmado contratos PURPA rentables a largo plazo e inversiones en energía nuclear, mientras que otros Estados que no habían firmado contratos a largo plazo, ni realizado inversiones en energía nuclear podían mantener los precios bajos[23].

La nueva regulación surgió en los noventas cuando el congreso de Estados Unidos aprobó los cambios en el *Energy Policy Act* (EPact) de 1992. La ley permitió la libre competencia en la generación de energía a todos los productores independientes potenciales, utilizando cualquier tecnología y energético. Además, la ley permite el

acceso a terceros a las redes de transmisión, la producción de combustibles, la conservación y uso eficiente de la energía y la investigación y desarrollo en energía. La ley EPact promovió la desregulación de la industria eléctrica, la desintegración de las actividades de generación, transmisión y comercialización, facilitando a los grandes consumidores mayoristas la posibilidad de elegir a su proveedor, que ofrezca el menor precio. Un ejemplo de la liberalización y desregulación de la industria eléctrica en los Estados Unidos, es el Estado de California en el que no solamente los grandes consumidores de energía podrían elegir a su proveedor; sino también los pequeños consumidores, incluyendo los residenciales.

En el año 1996 la Comisión Reguladora de Energía, publicó dos reglas finales separadas pero correlacionadas. La primera regla, llamada orden 888 reglamentó los asuntos relacionados con el acceso abierto y los costos cruzados. La segunda regla orden 889 exigió a las “*utilities*” establecer sistemas electrónicos para compartir la información sobre la capacidad disponible de la transmisión [10].

El congreso de Estados Unidos adoptó la reforma regulatoria EPact 1992 para estimular la competencia en generación de electricidad. La nueva regulación reestructuró el mercado de potencia en Estados Unidos. Los segmentos de la generación, transmisión y distribución tienden a separarse quedando solamente la transmisión y distribución como monopolio natural.

Estados Unidos se sumó al proceso de reformas de la industria eléctrica, motivado por los cambios políticos y las nuevas tecnologías, especialmente por las mejoras tecnológicas en turbinas de gas que pueden alcanzar una eficacia máxima de 400 MW, esta característica facilitó la competencia en el sector de la generación eléctrica al no tener economías de escala o de ámbito; éstos factores llevaron a Estados Unidos a ser uno de los países pioneros en desregulación de los mercados [10].

Varios estados de Estados Unidos implementaron reformas en la industria eléctrica, entre ellos Pensilvania, Nueva Jersey y Maryland, los cuales adoptaron en 1998 un mercado de electricidad con despacho descentralizado, que se consideró el tercer

mercado más grande del mundo. Otros estados tales como Minnesota, Carolina del Norte y Alabama, detuvieron los planes de desregulación debido a la crisis en el Estado de California. En el contexto de la investigación solamente se presenta el caso de estudio del Estado de California, ya que fue allí donde la implementación de la reforma fue un fracaso.

- **La desregulación eléctrica en California**

En el año 1995 “*Public Utilities Commission*” decidió reestructurar la industria eléctrica en el Estado de California, con el objetivo de introducir la competencia. Uno de los motivos fue que en ese entonces, los precios de la energía eléctrica eran los más altos de Estados Unidos, por lo tanto las empresas eléctricas que proporcionaban el servicio se consideraron ineficientes. El 23 de septiembre de 1996, el gobernador republicano Pete Wilson firmó la ley de reforma eléctrica en el Estado de California, la cual permitió no solamente al consumidor mayorista elegir a su suministrador, sino también los pequeños consumidores. El 31 de marzo de 1998 se puso en funcionamiento el mayor mercado eléctrico mundial operado por el organismo California Power Exchange [24].

La nueva estructura de los sistemas eléctricos en California, se basó en la desintegración vertical de la generación, la transmisión y la distribución y en la creación de un mercado obligatorio en donde la operación del sistema y del mercado recae sobre dos entes diferentes, que lo hace particular con respecto a otros mercados. La estructura del mercado eléctrico en California se basó en: el operador independiente del sistema ISO o CAISO; el operador del mercado PX o CALPX y los *Scheduling Coordinators* (SC), quienes actúan tanto del lado de la oferta como de la demanda agrupando las ofertas y demandas individuales de los operadores que lo deseen y contraten con los SC dicho servicio [25].

Inicialmente el sistema adoptado funcionó bien. Sin embargo, el primer problema se presentó a mediados de 1999 en la región de San Diego cuando la empresa San

Diego Gas and *Electricity Company* terminó de amortizar las inversiones y el congelamiento de las tarifas eléctricas; por lo tanto empezó a vender electricidad a más de tres millones de usuarios al precio fijado por el mercado. Otro problema fue que las tarifas eléctricas empezaron a incrementarse; aunado una ola de calor, que disparó el consumo eléctrico de los sistemas de aire acondicionado. Lo anterior causó un incremento de la demanda y de los precios de la electricidad, desde 50.60 dólares hasta 120 dólares. La crisis en el mercado eléctrico se presentó cuando los precios se dispararon y no bajaron cuando pasó la ola de calor. Las principales causas fueron que no se previó el 3% en el crecimiento de la demanda de electricidad y una sequía que produjo disminución en el suministro de energía hidroeléctrica, que ocasionó interrupciones en el servicio [24].

La reforma del sector eléctrico en California en 1996, se consideró como un fracaso de la implementación de las políticas neoliberales; los principales problemas fueron la desintegración vertical de los sistemas eléctricos, la venta de las tres principales empresas de generación eléctrica y la pérdida de control de la producción de electricidad; la desregulación de la industria eléctrica eliminó la obligación y responsabilidad del servicio eléctrico de la empresa concesionada y lo dejó a los mecanismos del mercado; la ineficacia del mercado eléctrico causó manipulación de la oferta y por ende incrementó los precios de la electricidad [22].

Se considera que la desregulación en el Estado de California fue mal planeada, debido a que no se tenían regulaciones medio ambientales y hubo especulación ilegal por parte de las compañías productoras. Otro problema se derivó por ser un sector totalmente privatizado, en el cual las empresas no tienen ningún incentivo para invertir en nuevas líneas de alta tensión. Además, las leyes de desregulación obligaron a separar completamente las empresas de producción (generadores) y las empresas de distribución [10].

b) La liberalización en Europa

La década de los 90's fue un periodo importante para impulsar los procesos de liberalización en Europa; en algunos de los sectores de la economía que habían perdurado monopolizados, ya sea por el predominio de condiciones de monopolio natural o por la existencia de monopolio legal. Los factores que motivaron los avances en la apertura a la competencia fueron los cambios tecnológicos, que debilitaron las condiciones de monopolio natural y la expansión de mercados derivados de los procesos de integración económica.

El primer paso en Europa hacia el mercado interno de la electricidad, empezó con dos directivas. La primera directiva se integró el 29 de julio de 1990 (D. 90/377/CEE), se refirió a los precios de la energía eléctrica y se estableció un procedimiento comunitario con el propósito de garantizar la transparencia de los precios aplicables a los consumidores industriales finales de gas y electricidad, sin embargo el éxito ha sido muy limitado. El 29 de octubre de 1990 se integró la segunda directiva (D. 90/547/CEE) que se ocupó del tránsito de electricidad por las grandes redes [10].

El 19 de diciembre de 1996 el Parlamento y Consejo Europeo aprobaron otra directiva 96/92 que pretendió aplicar al sector eléctrico y del gas natural el principio de libre circulación de mercancías, personas, servicios y capitales en el espacio sin fronteras interiores del mercado común europeo, como lo dispone el tratado de Roma de 1957 y permitir una liberalización gradual del mercado a partir de 1997 hasta 2006. Además, se estableció que las compañías de servicios públicos extranjeras tendrían el derecho a acceder a las redes nacionales y por lo tanto hubo presión para privatizar las empresas de propiedad del Estado [24]. La apertura del sector eléctrico a la competencia se impulsó por el deseo de completar un mercado interno de electricidad y por el auge de los procesos de desregulación en otros sectores como telecomunicaciones, el gas y el correo.

La directiva eléctrica significó un compromiso entre la concepción de la electricidad como una mercancía y la que sostiene que se trata de un servicio público. Fue un proceso que permitió el intercambio de electricidad entre países miembros y afiliados [24]. El proceso de reestructuración de la industria eléctrica en la Unión Europea, fue consecuencia de la integración de economías, las cuales tuvieron como finalidad disminuir el costo de la electricidad y fortalecer la competitividad de las empresas con respecto a los demás países en el mundo. Además, la liberalización del mercado se justificó por el deseo de reducir la presencia directa del sector público o su intervención reguladora, para alcanzar un funcionamiento más eficiente del mercado.

En la mayoría de países de la Unión Europea todos los consumidores tienen libertad de elegir al suministrador. A excepción de Francia, Italia, Bélgica, Irlanda y Luxemburgo, aunque la libertad de elección en estos países ya afecta también a una proporción muy significativa de los consumidores. La comisión Europea indica que el principal obstáculo para el desarrollo de una competencia efectiva en el mercado de electricidad ha sido el alto grado de concentración de todas sus actividades. Entre los principales problemas están: la integración tradicional entre empresas generadoras y empresas distribuidoras, la falta de liquidez e incertidumbre en los mercados mayoristas de compra y venta de electricidad (a excepción del Reino Unido y los países nórdicos) y el bajo desarrollo de la capacidad de interconexión en las redes de transmisión entre países.

La liberalización del mercado interno de electricidad en la Unión Europea y su ampliación concluirán con la creación del mayor mercado eléctrico integrado y competitivo del mundo. En el mediano plazo los procesos paralelos de liberalización y ampliación habrán creado un mercado competitivo de más de treinta miembros, mientras que la integración entre vecinos de la Unión Europea habrá progresado hacia un mercado euroasiático competitivo [10].

- **La reforma en el Reino Unido**

La liberación más radical de la industria eléctrica inició en el Reino Unido durante el gobierno de Margaret en 1989. La reforma empezó en 1983, seguido por la reestructuración y privatización en 1989. El gobierno conservador criticó que muchas empresas públicas eran inflexibles, burocráticas y que se encontraban fuera de control político. Por lo tanto el gobierno propuso como solución la privatización [26]. Sin embargo, el proceso tomó una década antes que el gobierno anunciara el plan de privatización. Los políticos argumentaron que de acuerdo al teorema fundamental del beneficio económico, una solución de mercado competitivo, puede ser acertada para responder a los resultados de cualquier mecanismo de planificación eficiente. Sin embargo, hubo algo que los políticos no tomaron en cuenta y es que la teoría no requiere solo de los mercados para ser competitivos, sino que sean perfectamente competitivos [27].

La reforma en Inglaterra y Gales se realizó a partir de 1990. Asimismo, se implementaron reformas en la industria eléctrica en Escocia e Irlanda del Norte, pero éstas constituyen modelos menos competitivos; Escocia conservó la integración vertical [24].

La reforma inglesa consideró que los sistemas de transmisión y distribución son monopolios naturales, pero los segmentos de generación y suministro final a los consumidores pueden ser expuestos a la competencia. Al privatizar la industria eléctrica, se crearon tres empresas generadoras, dos empresas privadas (*Power Gen* y *National Power*) y una pública Nuclear Electric que controla las centrales nucleoelectricas. Además, doce compañías locales encargadas de la distribución, se vendieron al público en 1990. El 66% de las acciones de las compañías *Power Gen and National Power* se vendieron al sector privado en 1991 [28]. La compañía *National Power* se encargó de la red de transmisión, del manejo del mercado de transacciones o también llamado *pool* y de lograr el equilibrio entre la oferta y la demanda. Cada día las empresas generadoras proporcionan una lista de unidades

generadoras que estarán disponibles para cada media hora del día siguiente, proporcionando los precios por kWh de cada una de ellas. Los precios ofrecidos se clasifican en orden ascendente y se programan las plantas generadoras para satisfacer la demanda esperada. El precio más alto en una media hora determina el precio marginal del sistema para toda la energía negociada en esa media hora. Como parte de un arreglo transitorio los precios *pool* podrían ser substituidos por precios contratados [24].

Un cambio importante que surgió en el sector eléctrico del Reino Unido, fue la apertura la competencia en los segmentos de generación y comercialización. Desde 1998 los particulares ya podían elegir el proveedor y para obtener buenos resultados todas las compañías regionales tuvieron que dividir sus secciones de suministro y distribución. Dicha, apertura ocasionó problemas debido a la complejidad de los sistemas de computación y a los costos. Además, no se observaron beneficios para los consumidores, dadas las tarifas actuales y los costos de la iniciación de la competencia minorista. En el año 2000 se abrió a la competencia la lectura y mantenimiento de medidores del sistema eléctrico, facilitando realizar este servicio a otras empresas distintas de la compañía eléctrica regional.

Los resultados de la liberalización del mercado eléctrico en el Reino Unido, fueron las reducciones modestas en el precio de la electricidad en comparación con la disminución de los costos de generación; además el conjunto de la industria eléctrica privatizada logró que solamente una parte de esa disminución beneficiara a los consumidores [24].

•La reforma en España

La reforma en la industria eléctrica en España, parte de una alianza entre las empresas del sector y el gobierno. Esta alianza se concretó en un protocolo, en el que se fijaron las líneas generales de la reforma y el 27 de noviembre de 1997 se decretó la Ley del Sector Eléctrico. A partir de enero de 1998, la industria eléctrica se

desintegró en actividades competitivas (generación y comercialización) y actividades no competitivas (transmisión y distribución) [10].

La única entidad encargada de realizar las transacciones económicas de los mercados, las liquidaciones y los pagos es el operador del mercado llamado Compañía Operadora del Mercado Español de electricidad OMEL y el operador del sistema y el Regulador en el nuevo entorno competitivo, además es transportista. A partir del primero de enero de 2003, adoptó el modelo de libertad de elección para todos los consumidores, es decir el consumidor final tiene la libertad de elegir a su distribuidor, no existen consumidores cautivos. Este modelo buscó optimizar la eficiencia económica, además implica la desaparición de la posibilidad del Estado de satisfacer ciertas políticas sociales, utilizando los ingresos de la generación [4].

Aunque con el proceso de liberalización todos los consumidores tengan libertad de elegir al suministrador, España se encuentra entre el grupo de países con mayor retraso en los niveles relativos de liberalización y competencia efectiva alcanzados. Hay dos aspectos que no se han resueltos: Primero, no se ha podido establecer criterios objetivos para determinar la suma total y el periodo de duración de los costos de transición a la competencia que son las remuneraciones que obtienen las empresas generadoras vía tarifa para afrontar el paso a un mercado liberalizado. Segundo, las empresas distribuidoras solicitan un cambio en la regulación, con el argumento de que las remuneraciones por tal actividad no son suficientes para cubrir costos, generando el llamado déficit tarifario [43].

- **La reforma en Francia**

Francia es uno de los países europeos, que se ha caracterizado por un modelo de monopolio público integrado verticalmente, el cual ha permitido la satisfacción de necesidades de un insumo considerado esencial, cumpliendo con los criterios redistributivos y de equidad asociados a la noción de servicio público. La organización de la industria eléctrica se ha basado en la intervención del Estado, en

la planificación de las inversiones y en la búsqueda de igualdad para los consumidores, esto ha demostrado su eficacia social en concordancia con la cultura política francesa [25].

La reestructuración de la industria eléctrica francesa, se deriva de las disposiciones propuestas por la directiva Europea 96/92/EC, en concordancia con los principios del tratado de Roma¹⁸. Se propone la eliminación de barreras al intercambio de electricidad entre países y la constitución de un mercado eléctrico integrado europeo. La directiva plantea la reorganización de la industria eléctrica, la creación de un mercado competitivo de la electricidad, reforzando al mismo tiempo la seguridad de aprovisionamiento de la economía europea y el respeto al medio ambiente.

El gobierno francés fue el que más se opuso a la primera propuesta de la directiva 96/92/EC, donde se planteaba una liberalización y apertura del sector eléctrico. Defendió el concepto de servicio público para el suministro de electricidad e insistió que se tomaran en cuenta las características de cada país europeo. La directiva tomó en cuenta las observaciones francesas, permitiendo un mercado competitivo conservando el concepto de servicio público.

La generación de electricidad se caracteriza por un fuerte compromiso por parte del Estado y está dominada por monopolios y compañías con parte de posesión estatal. La principal compañía generadora de electricidad es Électricité de France la cual es considerada empresa pública eficiente tanto en términos de eficiencia productiva como en eficiencia alocativa. Además, conserva las características de monopolio natural en los segmentos de la transmisión y distribución, ya que controla el 95% de la distribución de electricidad, la restante es operada por compañías públicas. Los precios de la electricidad se basan en el sistema de costos marginales y el gobierno controla los precios y tarifas para que reflejen los costos reales [25].

¹⁸ El tratado de Roma sirvió de base a la constitución de la Comunidad Económica Europea (Unión Europea). Uno de los principales objetivos del tratado fue la creación de un mercado único en los países que integran la Unión Europea en donde no hay barreras a la libre circulación de mercancías, personas y servicios de capitales.

La reforma francesa tomó el nombre de ley de modernización del servicio público de electricidad (LMDSPE) (Assemblée Nationale, 1999) y definida por los siguientes aspectos [25]:

- Se suprimen las barreras jurídicas a la entrada en la producción y en la venta de electricidad a los consumidores elegibles, así como a la importación y exportación de electricidad, pero se mantiene la integración vertical y horizontal del operador histórico Électricité de France (EDF).
- Se realiza una separación contable del segmento del transporte y del despacho eléctrico de las demás actividades, con el objetivo de ofrecer a los participantes del mercado una garantía de acceso transparente y no discriminatorio a la red de transporte.
- Se crea una instancia de reglamentación independiente con capacidades de control reales para limitar los riesgos de abuso de posición dominante por parte de EDF.

Se mantiene el rango de empresa pública de EDF, sin posibilidades de privatización parcial o total, además de imponerle restricciones para su diversificación e internacionalización.

c) Reformas en Latinoamérica

Se considera que la región más avanzada en el mundo, en términos de reestructuración de la industria eléctrica ha sido Sur América. Chile fue el primer país de América Latina en reestructurar la industria eléctrica, en el año 1978; continuó con la privatización en los 80's. La reforma en Sur América, igualmente que en otras regiones del mundo el principal objetivo fue sustituir los monopolios públicos; por empresas privadas, abiertas a la competencia mediante las políticas del libre mercado. El objetivo principal de la desregulación y privatización fue proporcionar electricidad más eficiente, más confiable, de la más alta calidad a un menor precio. De acuerdo con el Banco Mundial el proceso de desregulación fue necesario ya que

se contaba con infraestructura deficiente y con un déficit financiero, por lo tanto se necesitaba atraer capital extranjero suficiente para satisfacer la demanda creciente. Los organismos internacionales, tales como el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional y otras instituciones financieras promovieron las reformas [29,30-32].

- ***La reforma en Chile***

En 1973 se estableció el régimen militar de Augusto Pinochet; durante su gobierno lanzó las políticas de la reducción del déficit fiscal a gran escala, con base en los principios de la economía del libre mercado. La privatización de las empresas de propiedad estatal, la introducción de la competencia y promovió la desregulación de la industria eléctrica, como parte de esta iniciativa [32].

Chile adoptó la reforma en 1978 cuando se creó la Comisión Nacional de Energía y la ley de electricidad en 1982. La ley regula actualmente el sector. Esto llevó a la desintegración horizontal y vertical de la industria eléctrica, seguida de la desregulación y privatización de la empresa de propiedad estatal de servicios públicos de la electricidad en 1986. Argentina siguió el modelo chileno, con algunos ajustes; otros países como Ecuador, Perú y Bolivia utilizaron un modelo de desregulación similar [29]. La estructura de la industria eléctrica cambió desde un monopolio estatal al mercado abierto. Actualmente, la industria eléctrica es casi totalmente privada y el Estado es el encargado de la regulación. El mercado está compuesto por cuatro sistemas separados: SIC (Sistema Interconectado Central), SING (Sistema Interconectado del Norte Grande) y dos pequeños sub.-sistemas (Aysén y Magallanes). Sin embargo SIC, cubre el 90% de la demanda, el mercado es controlado por el Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC, por sus siglas en inglés), que es dirigido por las principales empresas de generación y transmisión. CDEC, opera el sistema con base en la ley, con criterios de confiabilidad y mínimo costo [19].

La reforma en Chile, incentivó las nuevas inversiones en el sector, las cuales contribuyeron a incrementar la capacidad desde 4,000 MW en 1990 a 6,000 MW en 1998. La estructura de la reforma de la industria en Chile, fue a través de un sistema regulatorio que podía garantizar una independencia sustancial del proceso político. Sin embargo, los problemas empezaron a surgir con las relaciones entre la cantidad de compañías privatizadas y el regulador se volvió cada vez más contradictorio y los problemas de gobernanza fundamental fueron evidentes. Adicionalmente a estos problemas, se presentó el fenómeno de la niña, durante el periodo entre 1998 y 1999, el cual causó serios problemas de sequías, generando problemas de desabastecimiento de electricidad [33-35].

Los sistemas de planificación y el mecanismo de fijación de precios llamado “nodo regulado”¹⁹ no anticiparon la gravedad de escasez de agua. Esto ocasionó que cayera el precio de nodo antes y durante todo el periodo de crisis: 11% en abril de 1998, 8% en octubre de 1998 y un 5% en abril de 1999. Otro problema que afectó el desarrollo de la industria eléctrica chilena fue, las secuelas del colapso del peso en Argentina en el 2002. Chile depende de las importaciones de gas para alimentar sus plantas de energía, con base en un tratado firmado entre los dos países en 1995. En marzo del 2004 Argentina anunció que reduciría sus exportaciones de gas a Chile en un 15%. Esto obligó a diversificar el parque de generación e invertir en cuantiosas instalaciones de gas natural licuado; sustituir el combustible petróleo por la importación de gas licuado desde Indonesia [35].

- ***La reforma en Argentina***

La reforma en Argentina, es parte de los cambios estructurales (liberalización económica y los programas de privatización de amplio alcance) en la economía en general, realizados durante el gobierno de Carlos Menem. La reforma incluyó el firme

¹⁹ El precio de nodo se determina considerando los siguientes tres costos: 1) el costo de suministrar un KWh adicional (precio de nodo de energía); 2) el costo de suministrar un KWh adicional en horas de punta (precio de nodo de potencia) y 3) el costo marginal de la transmisión. El precio nodo de energía es un promedio ponderado (en función de la demanda) de los costos marginales trimestrales previstos para los cuatro años siguientes. Los costos marginales se calculan simulando la operación óptima del sistema.

compromiso a los derechos de la reforma económica, impulsada por el deseo de seguir el mecanismo de mercado. Esto trajo el éxito; disminuyó las preocupaciones de los inversionistas acerca de la consistencia política, expropiación y otras características, tales como puntos de vista de anteriores inversionistas de América Latina. La reforma se caracterizó por un diseño híbrido, con base en lecciones aprendidas de la privatización y reformas de la experiencia Chilena y del Reino Unido [36].

El proceso de reestructuración de la industria eléctrica en Argentina inició en 1992, fue motivada por el déficit fiscal, la deficiente gestión de las empresas de servicios públicos, y la falta de capital para la inversión. En adición, a la crisis que se presentó durante el verano 1988/1989, la cual surgió como resultado de la mala gestión del sistema operado por el gobierno, así como el deficiente funcionamiento de las compañías de electricidad. Antes de la desregulación, la industria eléctrica en Argentina, funcionó con un 84% de generación eléctrica y el 100% de la red de transmisión de alta tensión estaba controlado por cuatro empresas nacionales y la distribución estaba integrada por más 600 compañías nacionales, provinciales y cooperativas de distribución [37].

El proceso consideró la desintegración de la industria eléctrica en forma vertical y horizontal. La reforma fue parte del proceso más amplio, en el que el país se abrió a los mercados de capital, la privatización y reestructuración de los servicios públicos. Para asegurar el funcionamiento del sistema eléctrico se creó la Compañía Administradora de Mercado Mayorista Eléctrico (CAMESA). Además, el congreso de Argentina estableció la ley No. 24065. La ley proporcionó un marco legal, para la reforma del sector eléctrico y la privatización. Igualmente, intentó bajar las tarifas eléctricas. Además, se creó el mercado de electricidad y el Ente Nacional Regulador de Electricidad (ENRE) el cual tiene como objetivo el control y reglamentación de la industria eléctrica, la concesión de contratos, la prevención de prácticas monopólicas, la protección del medio ambiente y la seguridad pública en las actividades del sector [38].

El sistema *pool* eléctrico conocido como mercado mayorista (MEM) fue establecido junto con la reforma estructural en 1992. El Mercado Mayorista está organizado en dos partes: un mercado spot y un mercado de contratos bilaterales. El precio spot es el resultado de la expedición óptima (costos marginales a corto plazo). Se creó un mecanismo de capacidad de pago, el cual se fijó en 10 US /MWh. Esto se paga a los generadores, con la energía disponible durante las 90 horas de la semana, periodo de máxima demanda [35].

La reforma en la industria eléctrica, trajo algunos beneficios tales como la disminución del precio de la electricidad para el consumidor mayorista, el cual fue del orden de un 50% en 1997, la mejora de la eficiencia energética y la calidad, la expansión de la red y una disminución de las conexiones locales ilegales (robo). Sin embargo, hay una disparidad entre los beneficios entre clientes mayoristas y minoristas. Los clientes que más se beneficiaron de la disminución del precio de venta mayorista, fueron aquellos que tenían el mayor consumo, es decir la clase rica; y los clientes pequeños o de bajos ingresos recibieron pocos beneficios. La disminución de la tarifa eléctrica para este segmento de población alcanzó solo el 1,6%, mientras que la disminución para los grandes clientes alcanzó el 71%, y para los usuarios industriales la disminución fue de un 44% [37].

- ***La reforma en Brasil***

Brasil inició el proceso de reforma en 1995. En septiembre de 1996, se permitió a los productores independientes entrar al mercado brasileño y las compañías de generación fueron privatizadas en el año 1998, a través de la promulgación de la ley No. 2003 y muchas compañías de energía globales entraron al mercado brasileño. Inicialmente la reforma promovió los contratos bilaterales regulados y después de la creación de un mercado de contratos bilaterales, los nuevos actores negocian contratos libremente. Actualmente el 85% de la electricidad se comercializa a través de contratos y el resto en el mercado spot. El Mercado Atacaista de Energía Eléctrica (MAE, Mercado Mayorista de Energía Eléctrica), registra todos los contratos. La

información sobre las cantidades negociadas en los contratos están a disposición del público, pero los precios del contrato son comercialmente confidenciales. MAE también determina el precio del mercado spot a través de un modelo de optimización [29, 37].

En diciembre 26 de 1996, se promulgó la ley No. 9427 y se creó el organismo regulador nacional independiente: la Agencia nacional de energía eléctrica (Aneel). La ley No. 9948 y el decreto No. 2655 fueron utilizados para establecer el operador nacional de sistemas (ONS), un operador de la red a nivel nacional y el mercado mayorista MAE. El primero de marzo de 1999 ONS inició la operación del interconectado nacional del sistema de transmisión de energía, mientras que MAE retrasó la apertura de sus operaciones hasta el primero de septiembre del 2000. Después, de asumir el cargo la administración Lula, Brasil cambió su política de electricidad, la cual hizo énfasis en la estabilidad a largo plazo, con base en la ley No. 10848, que fue promulgada en marzo de 2004 [29].

La reforma inicialmente, promovió los contratos bilaterales regulados, pero después de la creación del mercado de contratos bilaterales, los agentes negociaron los contratos libremente. Las cantidades negociables en los contratos han sido reducidas desde el 2003, causando un aumento del comercio de electricidad en el mercado spot. Actualmente, el 85% de la electricidad se negocia a través de contratos y el resto en el mercado spot.

Uno de los principales problemas en la industria eléctrica brasileña, después de la implementación de reformas, fue la crisis del 2001, cuando la capacidad de generación se redujo sustancialmente, debido a una sequía, la cual causó que se disminuyeran los niveles de agua, provocada por los apagones generalizados. Además, la sequía contribuyó a que los precios de la electricidad se incrementaran. El funcionamiento del mercado eléctrico, ha presentado problemas, así como la creación de duopolio en lugar de un mercado competitivo y no han mejorado las pérdidas no técnicas, las cuales son del orden del 9% y 10%. En cuanto a la

percepción general de la satisfacción del cliente, no ha habido ninguna mejora, desde la reforma. El índice se encuentra entre regular y bueno, esto significa que usuarios residenciales ven algunos problemas relacionados con la calidad del servicio, el valor, la satisfacción global y la confianza en el sistema.

Las principales razones de la crisis fueron: la falta de inversión en la nueva capacidad de generación, el desarrollo de la red insatisfactoria, la legislación incompleta e insuficiente, así como la falta de un plan flexible, la demora en el ajuste a las normas antes y durante la crisis. La situación crítica ha conducido a la implementación de nuevas reformas en el sistema. El funcionamiento del mercado brasilero, muestra muchas debilidades, con relación a la señal necesaria para la expansión en generación y transmisión [29]. La Tabla 2.4. Muestra las principales experiencias mundiales en reformas.

País	Modelo 1 Monopolio público o privado regulado	Modelo 2 Comprador único o apertura parcial	Modelo 3 Competencia mayorista	Modelo 4 Competencia minorista
Países desarrollados	Suiza, Sur África, Hong Kong.	República de Corea.		Japón, Australia, Estados Unidos, Austria, Bélgica, Irlanda, Italia, Países Bajos, España, Reino Unido, Nueva Zelanda, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Luxemburgo, Noruega, Portugal, Suecia.
Países Asiáticos en desarrollo	Vietnam, Laos, Nepal.	China, Indonesia, Tailandia, Malasia, Bangladés, Pakistán, Laos, Cambodiaa.	India	Singapur, Filipinas, Turquía.
Países de Latinoamérica	Cuba, Haití, Paraguay, Uruguay, Costa Rica, Jamaica.	Honduras, Jamaica, México, Perú, Trinidad y Tobago, Venezuela.	Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, República Dominicana, Ecuador, Guatemala, Nicaragua, Panamá, Chile.	El Salvador.
Antigua Unión Soviética & Este de Europa	Eslovaquia, Uzbekistán, Turkmenistán, Albania, Azerbaiyán, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria, Serbia y Montenegro, Tayikistán.	República Kirguiza, Kazakstán, Armenia, Croacia, Georgia, Hungría.	Ucrania, Letonia, Rusia, Polonia.	Rumanía, República Checa, Estonia, República de Moldova, Eslovenia, Lituania.

Tabla 2.4 Experiencias internacionales en reformas en la industria eléctrica.

Fuente: Nagayama (2009).

2.2.2. Problemas en el proceso de implementación de reformas

Los procesos de reformas que se han dado en los últimos años se han caracterizado por una serie de problemas, los cuales están asociados a los intentos de liberalizar y desregular los mercados eléctricos de manera acelerada y sin reglas de juego bien definidas. Muchas veces los intentos de crear mercados simples han terminado en mercados complejos, poder del mercado, interacciones e incentivos perversos.

Durante la evolución y transformación de la industria eléctrica, los países han adoptado reformas las cuales se reflejan en uno de los cuatro modelos de organización industrial: 1) monopolio; 2) comprador único; 3) competencia mayorista; 4) competencia minorista. A pesar de las ventajas que presentan dichos modelos, también se han identificado problemas; a continuación se presentan.

a) Problemas en el modelo monopolio

El modelo de monopolio se adoptó a nivel mundial desde la década de los 30's. Algunos países lo han considerado exitoso, pero otros han identificado inconsistencias en el modelo, las cuales han sido reportadas en la literatura. Los principales problemas son [18]:

- **Sobre-inversión en la "tasa-base":** La tasa de retorno regulada o también llamada "tasa- base" es la que prevalece en Estados Unidos²⁰. Los monopolios regulados son recompensados por las grandes inversiones en infraestructura, dado que la tasa de retorno es generalmente fija. Dichos monopolios ganan más dinero por tener activos en la tasa de retorno regulada y todo lo demás permanece en igualdad de condiciones. Sin embargo, existe alguna evidencia que esto puede llevar a una tendencia perversa hacia la sobre-inversión, a menos que sea impedida por el regulador. Además, este tipo de regulación favorece la producción excesiva en

²⁰ En el contexto de Estados Unidos, de acuerdo a una revisión de procesos aprobados, la Comisión Regulatoria a nivel de Estado debería garantizar el permiso al inversionista propietario de la empresa para invertir en infraestructura. Virtualmente la garantía de la tasa de retorno es razonable sobre la vida útil de los activos. Sioshansi et al (2006).

inversiones de capital y aumenta el flujo de beneficios en la medida en que la tasa de retorno fijada sea superior a la tasa costo de capital (véase, Díaz 2005).

- Riesgos asumidos por los contribuyentes: los monopolios regulados generalmente pasan todos los riesgos de inversión a los clientes cautivos, quienes deberán asumirlos durante la larga vida de los bienes de capital. En la década de los 80's este se convirtió en un problema en Estados Unidos, miles de millones fueron invertidos en mejoras en centrales nucleares de capital intensivo, muchas de ellas con costos mayores a los reales.
- Disparidad de precios: en muchos lugares como Estados Unidos y Europa, donde las áreas vecinas son atendidas por diferentes empresas de servicios y/ o bajo diferentes regímenes regulatorios, las disparidades de precios significativas han evolucionado con el tiempo, causando presión al cambio. Por ejemplo, el caso del Estado de California. Las disparidades de precios de la energía en los diferentes Estados de Estados Unidos son fuente de frustración para el consumidor.
- No hay opción para el cliente a cambiar la "obligación a servir": la empresa de servicios regulada tiene un área de servicio exclusiva y la obligación de ofrecer dicho servicio. Significa que los clientes no tienen otra opción en la selección de un proveedor de servicio, incluso si hay una opción de costo más bajo. Tal razón puede ser un problema para la mayoría de los pequeños consumidores y es una fuente de desaliento para los grandes y sofisticados consumidores que le sea prácticamente prohibido la elección de energía al más bajo costo.
- Subsidios en precios: en muchos países los reguladores, con la aprobación tácita de políticos, estiman conveniente permitir o fomentar los subsidios cruzados entre diferentes clases de consumidores. Lo mismo se aplica a los diversos componentes del paquete de servicios, lo que dificulta, por ejemplo, descifrar el costo de la energía, versus los servicios de transmisión y servicios de distribución. La competencia fomenta y/o costos que requieren ser desagregados y divulgados, esto

dificulta el subsidio cruzado para cierta clase de consumidor o proporciona subsidios cruzados entre varios componentes del servicio.

- **Regulación sub-óptima:** La mayoría de las agencias reguladoras presentan escasez crónica de personal que conlleva a regulaciones sub-óptimas. El problema es más agudo cuando hay injerencia política en el proceso de regulación. En muchos países el regulador es débil y con escasez de personal en la industria que se supone que regulan. Sin embargo, la interferencia política en el proceso de regulación ha sido excesiva en varios países entre ellos Argentina, Colombia, Italia por nombrar algunos.

- **Beneficios sesgados y sanciones:** los modelos de monopolio público y monopolio regulado, están sujetos a un sistema muy sesgado de beneficios y a un sistema de sanciones, que los motiva a construir de más, mientras que sea permitido hacerlo. La razón es sencilla, habrá una protesta pública y una investigación si hay déficit de capacidad, por el contrario nadie dará avisos si existe una capacidad ociosa.

- **Facilidades para la construcción de centrales nucleares:** gracias a los monopolios públicos y la tasa de retorno regulada, se ha facilitado la construcción de centrales nucleares, que requieren de grandes inversiones de capital. Por ejemplo, en el Japón el futuro de la industria nuclear en un ambiente desregulado está entre las fuentes principales de preocupación. Los inversionistas privados rechazarían los grandes proyectos con inversiones significativas si no cuentan con contratos a largo plazo y/o subsidios oficiales o garantías [39].

b) Problemas en el modelo comprador único

El modelo de comprador único es un contrato entre el productor independiente y el comprador único. Este modelo promueve la competencia en generación, con la limitante que toda la energía que se genera debe venderse a una empresa compradora que es un monopolio. El modelo ha funcionado bien; aunque se han identificado algunas inconsistencias, tales como:

- El precio que cobra el comprador único a la compañía de distribución generalmente está regulado y contiene un componente que fluctúa con el precio de la energía eléctrica adquirida, la inflación, otros. El acceso a los servicios de transmisión no los vende el comprador único a las plantas generadoras; el problema está en cómo asegurar que la nueva planta generadora construida por independientes no incremente los cuellos de botella de transmisión o de alguna otra forma incremente innecesariamente los costos del sistema [45].
- Fomenta precios que no son eficientes. Los precios fijados por los Productores Independientes de Energía (PIE) no corresponden a la estructura, ni a los costos marginales del mercado, los costos son muy altos para centrales en la base, no tienen incentivos y no se pueden poner todos en los incentivos en el contrato PIE.
- Presenta costos hundidos los Productores Independientes (PIE) en futuras reformas. Dichos costos dificultan las reformas internas, por ejemplo para ir al *pool* privado, porque se mueven fuera del mercado, no son competitivos; si está con costos hundidos, si se tiene un contrato bastante rígido. Es decir los PIE compiten para el mercado con un mercado seguro y un comprador único. Los costos hundidos podrían ser un problema al pasar al modelo competencia mayorista o *pool* privado [46].

Altos costos de transacción²¹: Cuando los costos de transacción son altos, hay menos incentivos para lograr la negociación. La nueva economía institucional sostiene que las transacciones que se efectúan por medio del mercado como las que se realizan dentro de las organizaciones implican costos. Por ejemplo la búsqueda de información y el buen funcionamiento del mercado requiere que los derechos de propiedad de las partes en una transacción estén razonablemente bien definidos y protegidos. Los costos de transacción también incluyen el costo de los recursos utilizados para la creación, operación y transformación de las instituciones

²¹ Se entiende por costo de transacción el costo incurrido para realizar un intercambio económico, es decir una transacción en el mercado.

y organizaciones. Los costos de transacción son los costos de un sistema social o económico; pueden subdividirse en costos de mercado, administrativos, etc. [44-45].

Otro problema es que los proyectos nuevos que se desarrollan por parte de la iniciativa privada pueden tener costos mayores que los realizados por la empresa compradora, ya que las fuentes de financiamiento aplican tasas de interés más altas y se requiere una rentabilidad mayor a la exigida al monopolio.

c) Problemas en el modelo de competencia mayorista

A mediados de los 80's varios países adoptaron la reforma estructural hacia el mercado abierto, entre ellos Chile, Gran Bretaña, entre otros países. Este modelo se caracteriza por la competencia en generación y la venta directa a las empresas distribuidoras, es decir, se promueve la competencia al mayoreo. Dicha reforma fue implementada a pesar del riesgo, costo e inciertos resultados. Los principales problemas en el modelo de competencia mayorista son los siguientes [7,37]:

- Riesgo de manipulación de la disponibilidad: ocurre cuando se tienen unos generadores dominantes, lo cual facilita que se pueda jugar con sus centrales, especialmente si se tienen centrales de base y centrales de punta, de pico. Este problema se presentó en Inglaterra cuando empezó la reforma estructural.
- Volatilidad de precios y pérdida de carga.
- Sub-óptima del parque y de la reserva.
- Precios altos y escasez: la causa se encuentra en la destrucción natural o artificial del margen de reserva.
- Disminución de la calidad del suministro: con la lógica de la rentabilidad financiera surge el incentivo de comprimir costos aunque sea a costa de los principios básicos del servicio público de continuidad y calidad.

- Inversión ineficiente: en algunos casos la inversión en nueva capacidad de generación ha sido excesiva, pero en la mayoría de los casos ha sido insuficiente.
- Reintegración vertical: con o sin autorización de las autoridades que regulan la competencia, las empresas buscan reintegrarse verticalmente para aprovechar economías de escala y alcance.
- Inequidad: la reforma beneficia a unos cuantos. La disminución de costos por razones exógenas, así como las ganancias de eficiencia y productividad, que eventualmente se logran, no se transfieren a los pequeños consumidores y a los usuarios con tarifa residencial.
- Poca transparencia: con la reestructuración los procesos de toma de decisiones no son transparentes. Los actores dominantes aprovechan la asimetría de información en su beneficio.
- Captura del regulador y/o operador del sistema: el operador del sistema y del mercado no siempre logra ser independiente y tener un control efectivo del sistema.
- Pérdida de soberanía: la creación de un mercado es un proceso difícilmente reversible. Una vez puesto en marcha, aun no privatizadas las empresas públicas, se crean grandes intereses que impiden corregir las fallas de diseño mediante cambios profundos.
- Problemas no resueltos: Algunos problemas relacionado con el mercado eléctrico aún permanecen inciertos, tales como el diseño de reglas de comercialización y balance, los mecanismos de mercado para adquirir servicios auxiliares, las tarifas de transmisión, la administración de la congestión y la capacidad de red de transmisión.

d) Problemas en el modelo competencia minorista

El modelo se caracteriza porque la competencia plena se incorpora a nivel de mercado minorista, por lo tanto se modifica el vínculo tradicional entre los clientes y

la distribuidora local, eliminando la obligación de estas últimas a abastecer una zona de concesión, correspondiendo al cliente la responsabilidad de seleccionar y contratar libremente se abastecimiento eléctrico con uno o más generadores o distribuidores. Tal modelo ha sido atractivo en cualquier mercado competitivo, porque permite al consumidor seleccionar el distribuidor, es decir, el consumidor no permanece cautivo y tiene opciones. Sin embargo, el modelo presenta problemas, son los siguientes [41]:

- La medición compleja y costosa, pero eso se puede superar con la clausura de clientes no elegibles, hay que cuidar de esos clientes, estar seguros que no van a ser víctimas de la liberación del mercado por ser pequeños y por no ser elegibles en una transacción.
- Un problema para el regulador es la desagregación de responsabilidades en torno al abasto, el cual debe enmarcar muy bien las responsabilidades.

2.3. TENDENCIA EN LA ESTRUCTURA INDUSTRIAL EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS

Con base en la situación actual y la experiencia internacional en el proceso de reestructuración, liberalización y privatización de la industria eléctrica, se puede argumentar que en las siguientes décadas la estructura de organización industrial podría comprender los siguientes aspectos:

1. Las reformas implementadas en la industria eléctrica, necesitarán de constantes adaptaciones en el marco institucional, organizacional y regulatorio, por lo tanto es necesario considerarlas como un proceso dinámico.
2. Los organismos regulatorios deben otorgar autonomía de gestión y presupuestal a las empresas públicas, con la finalidad de que sean más eficientes y puedan competir con criterios comerciales en el mercado abierto con otras empresas de servicios públicos, privadas o mixtas.

3. También, debe existir un marco regulatorio claro y eficiente que comprenda reglas bien definidas y que otorgue certidumbre jurídica a todos los participantes.

4. La tendencia muestra que no existe un modelo único o dominante de organización industrial, no hay consenso sobre qué medidas específicas se requieren para promover la competencia, como tampoco lo hay en la efectividad de las mismas; todos los modelos de organización industrial son factibles dependiendo de la estructura del mercado, del grado de liberalización y participación privada, de cómo sean reguladas las actividades no abiertas a la competencia, cuáles sean los agentes a los que se les permita participar en diferentes mercados y la secuencia de las etapas de reforma. En este contexto, se puede vislumbrar que en las próximas cuatro décadas existirán multiplicidad de modelos de organización industrial y cada país adoptará una estructura industrial con base en sus propias condiciones políticas, económicas, tecnológicas, sociales; además tomando en cuenta los recursos y retos.

5. En la literatura se encuentra el estado del arte del mercado eléctrico y lecciones que pueden servir para aquellos países con contextos similares en condiciones macroeconómicas, tecnologías y recursos.

6. Las experiencias internacionales muestran que a pesar de la diversidad de modelos de organización industrial; no existe el modelo óptimo, es decir, cada modelo presenta ventajas y desventajas. No obstante, ningún país que ha adoptado por la reestructuración, liberalización y privatización de la industria eléctrica ha dado marcha atrás; en general algunos han avanzado más que otros. Además, no existe incentivos hacia una segunda ronda de reformas ya que implicaría asumir grandes retos.

Resumen y conclusiones parciales

La industria eléctrica se caracteriza por ser una industria de infraestructura pesada e intensiva en capital, de ahí que los costos fijos son muy altos respecto a los costos variables; industria de red, por lo tanto con segmentos de monopolio natural e

importantes economías de escala, secuencia y alcance; sus tarifas están reguladas; recupera sus inversiones en el largo plazo; representa importantes costos hundidos; es una industria técnicamente sofisticada y compleja que requiere personal altamente calificado y especializado y es industria contaminante que está sujeta a regulaciones medio ambientales.

En la literatura existen cuatro modelos básicos de organización industrial, los cuales han sido adoptados a nivel mundial: 1) monopolio natural; 2) comprador único; 3) competencia mayorista; 4) competencia minorista, en la cual el consumidor tiene la libertad de elegir a su proveedor de electricidad.

Desde 1978 de manera teórica empezaron a surgir diversos modelos de organización industrial. Se distinguen dos etapas en el proceso: 1) la implementación del modelo de comprador único con la creación de la ley PURPA en Estados Unidos en 1978, la cual se extendió a otros países; 2) La adaptación de modelos de competencia mayorista y minorista, los cuales iniciaron a fines de la década de los 70's hasta la década de los 90's. Chile fue el país pionero en reestructurar la industria eléctrica empezó en 1978 y siguió con la privatización en 1980. La liberalización más radical se dio en el Reino Unido durante la administración de Margaret Thatcher en los 90's.

El estudio muestra que el principal objetivo de las reformas fue resolver los problemas en la industria eléctrica. Algunos resultados positivos de las reformas fueron: el incremento de la productividad y la eficiencia, la reducción del déficit fiscal, el aumento de las inversiones y una mayor confiabilidad de los sistemas eléctricos. No obstante, la reestructuración tuvo efectos negativos tales como: poder del mercado, colusión y reducción de beneficios para el consumidor residencial debido al incremento en el precio del fluido eléctrico.

La experiencia internacional muestra que las principales causas que originaron las reformas fueron: los avances tecnológicos, la tendencia dominante de la globalización de los mercados y la búsqueda de recursos financieros. En el caso de

los países que integran la Unión Europea, unos avanzaron más que otros en el proceso de liberalización. En Estados Unidos, la reforma en el Estado de California fue un fracaso. A pesar de que cada Estado cuenta con legislaciones diferentes, la crisis de California desalentó a los demás Estados a adoptarlas. En América Latina, países tales como Argentina, Brasil, Chile y Colombia avanzaron más en el proceso de reestructuración de la industria eléctrica.

Los resultados muestran que no existe un modelo único de organización industrial, diversos países alrededor del mundo han adoptado un modelo de acuerdo con su situación política y macroeconómica. Desde esta perspectiva, es posible que en las próximas décadas exista una continuidad en la tendencia, por tal razón es viable que en el año 2050 existan diversidad de modelos.

Referencias Capítulo 2

- [1] Gutiérrez Luis (2000). "Características Comunes de las reformas a los sectores eléctricos en el mundo". En: **Seminario Desafíos y Opciones para el sector eléctrico mexicano: Que podemos aprender de la experiencia internacional**. Coordinador (Dr. Arturo Reinking). Programa Universitario de energía; Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [2] Sine Wesley D, Robert J. David (2003). Environmental jolts, institutional change, and the creation of entrepreneurial opportunity in the US electric power industry. **Research Policy** 32:185-207.
- [3] Energy Information Administration (EIA/DOE). **Historical chronology of energy-related milestones 1800-1994**. Estados Unidos.
- [4] Fernández Carlos (2003). Experiencias internacionales en mercados eléctricos liberalizados. Mecánica y electricidad. **Anales de mecánica y electricidad**. Marzo-abril:70-74.
- [5] Rafael Cisterna (2002). "Evolución estructural de los sistemas eléctricos". en: **La industria eléctrica Mexicana en el Umbral del siglo XIX. Experiencias y propuestas de reestructuración**. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [6] Viqueira Jacinto (2003). "La red eléctrica, desarrollo características y funcionamiento". In: **Modelo Británico de la industria eléctrica mexicana**. Siglo XXI editores S. A. de C.V. 1ra. Ed. Mexico, pg. 278.
- [7] Rodríguez Víctor (2002). "La industria eléctrica en transición". en: **La industria eléctrica Mexicana en el Umbral del siglo XIX. Experiencias y propuestas de reestructuración**. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [8] Tietenberg Tom (1992). **Environmental and Natural Resource Economics**. Harper Collins Publishers, New York.

- [9] Arentsen J, Rolf W (1996). Economic organization and liberalization of the electricity industry: in search of conceptualization. **Energy Policy**, Vol 24, No.6: 542-556.
- [10] Díaz Alejandro (2005). **Experiencias internacionales en le desregulación eléctrica y el sector eléctrico en México**. Primera edición, México, pp 247.
- [11] Baumol W; Panzar J; Willig R (1982). Contestable markets: an Uprising in the theory of industry structure. **American Economic Review**, New York; USA; marzo 1982.
- [12] Stigler G.J. (1968). **The organization of industry**, Irwin 1968.
- [13] Altamonte Hugo (2002). "Las complejas mutaciones de la industria eléctrica en América Latina: Falacias institucionales y regulatorias". en: **La industria eléctrica Mexicana en el umbral del siglo XXI. Experiencias y propuestas de reestructuración**. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [14] Prieto Alberto (2001). **La industria eléctrica del futuro en México. Soluciones a un problema no planteado**. México, 1ra. Edición, Miguel ángel Purrúa, Editor, México; 326pp.
- [15] Mota Ricardo (2002). "Las energías renovables en los mercados reestructurados". **La industria eléctrica Mexicana en el umbral del siglo XXI. Experiencias y propuestas de reestructuración**. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [16] Becerra José Manuel (2001). La Producción Independiente en la transformación del sector eléctrico mexicano (1992-2000). **Tesis doctoral**, Director (Víctor Rodríguez) Universidad Nacional Autónoma de México.
- [17] Rodríguez Víctor (2003)." El servicio público de electricidad en México ¿la introducción de la lógica de mercado atiende el interés general? "en: **El modelo británico de la industria eléctrica mexicana**. Coordinadora (Leticia Campos).Siglo XXI editores, pp. 278.
- [18] Sioshansi and Fereidon P (2006). Electricity market reform: What has The Experience Taught us Thus Far? **Utilities Policy**, 14: 63-75.
- [19] Pollitt M (1997). The Impact of liberalization on the Performance of the Electricity Supply Industry: An International Survey. **The Journal of Energy Literature III**: 2, 3-31.
- [20] Green, R. & D. Newbery (1992). Competition in the British Electricity Spot Market. **Journal of Political Economy**, Vol. 100, Issue 5. 929-953.
- [21] Sharma Deepak (2003). The multidimensionality of electricity reform—an Australian perspective, **Energy Policy** 31:1093-1102.
- [22] Hernández Hilda, (2003). La desregulación eléctrica en California. "Análisis de un Fracaso". **Tesis de Maestría**, Director (Jacinto Viqueira) Universidad Nacional Autónoma de México.
- [23] Borenstein, S, J. Bushnell (2000). Electricity Restructuring: Deregulation or Deregulation? Regulation, **Electricity Journal** Vol. 23(2): 46-52.
- [24] Viqueira Jacinto (2002). "Experiencias internacionales de la reforma de la industria eléctrica. El caso de Estados Unidos y Europa". en: **La industria eléctrica Mexicana en el Umbral del siglo XIX. Experiencias y propuestas de reestructuración**. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [25] Serrato Gerardo (2002). "La crisis eléctrica de California. ¿Qué enseñanzas para México?". en: **La industria eléctrica Mexicana en el Umbral del siglo XIX. Experiencias y propuestas de**

reestructuración. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

[26] Newbery, D. & Green, R (1996). "Regulation, Public Ownership and Privatization of the English Electricity Industry", in Gilbert, R.J. and Kahn, E.P. (eds.) **International Comparisons of Electricity Regulation**, (New York, CUP), Ch. 2, 1996: 25-81.

[27] Kay J (2001). Financial Times 18th of April. "Market Opening rules and potentialities of destabilization of hierarchical power industries" in: **an open economy: institutional scenarios on the French power industry**, 2000. In: J.M. Glachant Dir (2000). *Electricity in Europe in the XXI century*, Londres Edward Elgar.

[28] Thomas Steve (2003). "La experiencia Británica". En: **El modelo Británico en la industria eléctrica mexicana**. En: **El modelo británico de la industria eléctrica mexicana**. Coordinadora (Leticia Campos). Siglo XXI editores, pp. 278.

[29] Arango Santiago, Dyner Isaac, and Larser Eric (2006). Lesson from deregulation: Understanding electricity markets in South America. **Utilities Policy** 14:196-207.

[30] Gabriele Alberto. Policy alternatives in reforming energy utilities in developing countries. *Energy Policy* 32 (2004) 1319–1337.

[31] World Bank, (1993). **The World Bank's Role in the Electric Power Sector. Policies for Effective Institutional, Regulatory and Financial Reform**. World Bank, Washington, DC.

[32] Inter-American Development Bank (2000). **Energy Sector Strategy**. Washington, DC.

[33] Spiller, P. & L. Martorell (1996). How should it be done? Electricity regulation in Argentina, Brazil, Uruguay, and Chile. In Gilbert, R.J. and Kahn, E.P. (eds.) **International Comparisons of Electricity Regulation**, (New York, CUP), Ch. 3. pp. 82-125.

[34] Fischer R; Galetovic A (2000). Regulatory Governance and Chile's 1998-1999. *Electricity Shortage*. In: Serie Economía 84. Universidad de Chile.

[35] Montero, J.P., Rudnick, H (2002). Second Generation Electricity Reforms in Latin America and the California Paradigm. **Universidad Católica de Chile**, Santiago de Chile.

[36] Pistonesi, H (2002). El Sistema Eléctrico Argentino: Inversión y Competencia. **Energética 28**.

[37] Hiroaki Nagayama, Takeshi Kashiwagi (2007). Evaluating electricity sector reforms in Argentina: lessons for developing countries. **Journal of cleaner production**, 15: 115-130.

[38] Bouille Daniel, Dubrovsky Hilda, Maurer Crescencia (2001). Reform of the Electric Power Sector In Developing Countries: Case Study of Argentina. **Institute of Energy Economics Bariloche Foundation**.1-33.

[39] Goto, M, Yahima, M (2006). In: Sioshansi, F P., Pfaffenberger, W. (eds). International experience in restructured electricity markets: what works, what does not and why? **Utilities Policy** 14; 2006: 63-75.

[40] Gutiérrez Luis (2000). "Características comunes de las reformas de los sectores eléctricos en el mundo". En: **Desafíos y opciones para el sector eléctrico Mexicano: Qué podemos aprender de la experiencia internacional**. Universidad Nacional Autónoma de México. Coordinador (Arturo Reinking), Programa Universitario de Energía, UNAM, pp.372.

- [41] Albory Yves (2000). Secuencia y diseño de la Reforma. In: **Seminario Desafíos y opciones para el sector eléctrico Mexicano: Qué podemos aprender de la Experiencia Internacional**. Coordinador (Arturo Reinking). Programa Universitario de Energía, UNAM. pp.372.
- [42] World Bank (2002). World Development Report: Building Institutions for Markets, World Bank, Washington, D.C; 2000. In: Jamasb Tooraj. Between the state and market: Electricity sector reform in developing countries, **Utilities Policy** 14, 2006:14–30.
- [43] Bel Germá, Calzada Joan, Fageda Xavier (2006). Liberación y competencia en España. ¿Dónde estamos? **ICE Productividad y competitividad de la economía española**, Marzo- Abril, No.829, Barcelona, España. -123-144pp.
- [44] Simon, H.A (1957). Models of man, New York, Wiley.
- [45] Demsetz, Harold (1957). Toward a theory of property rights, **The American Economic Review**, Vol. 57, No. 2.
- [46] Hiroaki Nayamana (2009). Electric power sector reform liberalization models and electric power prices in developing countries, **Energy Economics** 31, 463-472.

Capítulo 3 PREOCUPACIONES HUMANAS

CAPÍTULO 3

Los capítulos anteriores expusieron cómo el desarrollo tecnológico ha influido en la evolución y transformación de la industria eléctrica. Además, cuáles fueron las principales causas que motivaron a los gobiernos a adoptar las reformas mediante la reestructuración, liberalización y privatización de la industria eléctrica, con base en experiencias de países pioneros.

El presente capítulo estudia las principales preocupaciones humanas que han surgido a través del desarrollo de la industria eléctrica, paralelamente a los cambios tecnológicos y la liberalización de la industria eléctrica. La pregunta que se plantea es ¿Cuáles preocupaciones humanas podrían condicionar el desarrollo de la industria eléctrica en el largo plazo?

Para responder a este planteamiento, el capítulo se divide en dos partes: La primera parte incluye cinco etapas evolutivas, con la finalidad de identificar las principales preocupaciones humanas que han afectado el desarrollo de la industria eléctrica. Las etapas son las siguientes: 1) “Fin de la primera Guerra Mundial” (1882-1918); 2) “Periodo entre guerras” (1919-1944); 3) “Los gloriosos 30’s (1945-1973); 4) “Crisis energética” (1974-1985); 5) “Globalización” (1986-2009). En la segunda parte, se realiza un análisis sobre las posibles preocupaciones que podrían tener alguna incidencia en el desarrollo futuro de la industria eléctrica.

3.1. Preocupaciones humanas que han condicionado la industria eléctrica en el mundo

A fines del siglo XIX, las industrias eléctricas empezaron a desarrollarse a nivel mundial. En 1920 fue necesario establecer una regulación, la cual continuó en muchos países. A partir del siglo XXI se han observado cambios que han transformado la sociedad, en diversos ámbitos como son: tecnológicos, sociales,

económicos y políticos, especialmente. Dichos cambios han afectado al desarrollo de la industria eléctrica, los cuales han motivado a los gobiernos y hacedores de política a tomar decisiones. En el presente estudio las preocupaciones humanas se clasifican principalmente en:

1) *Institucionales*: hace referencias a aquellas que comprenden el marco institucional y regulatorio, tales como reglas, normas, acuerdos, tratados y leyes, que han sido adoptados a través de la evolución de la industria eléctrica.

2) *Económicas*: las relacionadas con los aspectos financieros, entre ellos el incremento en los precios de los combustibles. También, aquellos efectos macroeconómicos, que han causado cambios o transformaciones en el desarrollo de la industria eléctrica, por ejemplo, la crisis financiera, llamada "La Gran Depresión" en 1932 y la crisis energética en los 70's.

3) *Sociales*: son aquellas decisiones de política que han sido favorables para el desarrollo de la industria eléctrica y para la sociedad en general. Igualmente, se incluyen aquellas decisiones que han ocasionado efectos directos e indirectos a la sociedad, tales como pérdida de empleo e incremento en los precios de la electricidad. Otro aspecto social importante es el incremento de la población a nivel mundial.

4) *Medio ambientales*: son las referidas a la importancia de incluir el tema ambiental en la agenda política y los problemas medio ambientales relacionados con la generación eléctrica, tales como el aumento de los gases efecto invernadero (GEI) principalmente el dióxido de carbono CO_2 , óxido de nitrógeno N_2O los cuales contribuyen a la lluvia ácida y otros gases como el metano CH_4 , el ozono O_3 y los clorofluorocarbonos CFC, originados por la actividad humana. El incremento de GEI contribuye al aumento global de la temperatura promedio, causando el cambio climático global. Las preocupaciones ambientales también están relacionadas con los impactos del crecimiento económico sobre los recursos naturales y el medio

ambiente en general. En el contexto de la investigación, se refiere a los daños al medio ambiente (aire, agua, suelo), causados por la generación eléctrica. En este contexto, la industria eléctrica tiene que respetar leyes, acuerdos e internalizar las externalidades²² ambientales en el costo del fluido eléctrico. La externalidad es un concepto que surge a finales de la década de los 70's y muy discutido en la actualidad [28-30].

3.1.1. Primera etapa “Fin de la primera guerra mundial” (1882-1918)

La primera etapa comprende desde la apertura de la electricidad moderna en el siglo XIX con los aportes de Thomas Alba Edison: hasta el fin de la primera guerra mundial en 1918. A principios del siglo XX, los gobiernos empezaron a considerar el suministro eléctrico como un servicio público y el aumento de las economías de escala en generación llevaron a considerar la industria eléctrica como un monopolio natural, de propiedad pública o privada [1].

La industria eléctrica se caracterizó por el rápido desarrollo tecnológico, la innovación de aplicaciones eléctricas, la creación de compañías de servicios públicos, las cuales generaron fuentes de empleo, en el cual participaron ingenieros, científicos y profesores [2]. Las principales preocupaciones del periodo fueron: 1) aprovechar la electricidad en la industria, el transporte y los servicios públicos; 2) regular la industria para evitar los abusos de las compañías eléctricas.

a) Preocupaciones institucionales

Inicialmente las empresas eléctricas en Estados Unidos se integraron a nivel local, solamente abastecían las necesidades del fluido eléctrico en una zona geográfica determinada. Una vez que se dio el proceso de interconexión entre los pequeños sistemas en algunos estados, se hizo necesario que los gobiernos municipales regularan las empresas; pero éstas crecieron más allá de los límites municipales y la

²² Se entiende por externalidad, cuando las decisiones de un agente privado afectan el bienestar de otros que no están involucrados en el proceso de decisión. Es decir, la externalidad es el costo o beneficio externo ocasionado al medio ambiente y a la sociedad que al agente económico no toma en cuenta en el costo final del fluido eléctrico. Véase [27, 33,34].

legitimidad política de regulación empezó a disiparse, lo que hizo necesario establecer una regulación a nivel de Estado [3]. Igualmente, una coalición de reformistas e industriales persuadieron a más estados para que complementaran la regulación municipal de las empresas eléctricas privadas, con una regulación Estatal [4].

La regulación de la industria eléctrica tuvo como origen principal la existencia de condiciones de monopolio natural y las características de bien público de los servicios eléctricos. En Estados Unidos, han predominado los monopolios privados regionales sujetos a regulación. Sin embargo, en algunos segmentos de la industria los gobiernos regionales mantienen gran parte de la propiedad y papel operativo [5].

b) Preocupaciones económicas

En la primera década del siglo XX se consolidó la industria eléctrica en Estados Unidos. La industria fue dominada por 7 compañías de participación financiera. Insull creó una modalidad de negocio financiero: Las compañías de Servicios Públicos del Medio Oeste llamadas Compañías Holding²³. Además, promovió las acciones de dichas empresas, las cuales más tarde se integraron a éstas las empresas de ferrocarriles eléctricos y los servicios públicos (agua, iluminación) en Estados Unidos [6].

Insull aprovechó las economías de escala, observó una nueva forma de impulsar la turbina a vapor. En el año 1903 convenció a la Compañía General Electric que fabricara una turbina a vapor la cual produjo 5 MW de energía; después de unos años de éxito con esa turbina, instaló una turbina a vapor de 12 MW en el año 1912. Tal vez lo más atractivo fue la capacidad de las turbinas para producir grandes cantidades de energía utilizando menos material a costos más bajos por unidad. El desarrollo de las turbinas benefició las llamadas economías de escala, las cuales

²³ Las compañías Holding se crearon para facilitar la expansión de la industria eléctrica. El sistema permitió a accionistas que están arriba de la pirámide de la estructura organizacional controlar los activos de las empresas que operaban con muy poca inversión. Samuel Insull fue el rey del imperio. En el año 1930 su capital de inversión fue de 27 millones de dólares lo que le permitió el control de las empresas eléctricas y otros negocios en 32 Estados de Estados Unidos. En el año 1932, ocho empresas controlaban cerca de tres cuartas partes de la propiedad de los inversionistas de servicios públicos.

fueron instaladas para generar grandes cantidades de energía a un menor costo por MW. De esta manera, logró obtener beneficios de las economías de escala en su imperio de las compañías de electricidad; las turbinas a vapor fueron creciendo en tamaño, en el año 1929 el generador más grande de turbina a vapor generó 208 MW. Otras compañías eléctricas siguieron el ejemplo de Insull [6].

A principios del siglo XX las empresas eléctricas tales como General Electric y Westinghouse; además, de las bondades de las economías de escala exploraron el mercado de calderas y otros equipos que podrían convertir más eficientemente energía primaria (carbón) en electricidad. Los esfuerzos se dirigieron hacia el logro de un aumento de las temperaturas en las calderas y a la construcción de turbinas, que pudieran soportar las altas temperaturas utilizadas en las calderas, aleaciones de nuevos metales y turbinas que resistieran los efectos de la corrosión causada por el vapor caliente. De esta manera, la eficiencia térmica fue aumentando; por ejemplo la Planta Edison en Nueva York, convirtió cerca del 2.5% de energía primaria fósil en electricidad. En el año 1900 la eficiencia térmica fue del orden de 4%, en el año 1913 fue de 10%, en centrales más avanzadas. Las siguientes décadas la tendencia continuó, logrando la mejor planta una eficiencia del 40%, en los 60's las centrales alcanzaron una eficiencia en promedio al 33% [6].

c) Preocupaciones sociales

En los albores del siglo XX, la electricidad fue considerada un artículo de lujo. Los hogares contaban únicamente con una bombilla de 20 watts y lámparas de gas. En el año 1907, solamente el 8% de los hogares en Estados Unidos contaban con el servicio de electricidad. Diferentes sistemas eléctricos operaban con patentes de Edison, Sawyer, Maxim, Westinghouse, Brush, algunas firmas operaban con corriente continua de 100, 110, 220 o 660 (V), otras firmas operaban con corriente alterna y proveían frecuencias de 40, 60, 66, 125, o 133 ciclos. Esto ocasionó que muchos clientes tuvieran problemas; encontrando que algunos de sus electrodomésticos no funcionaran en sus hogares o en la oficina. Por lo tanto, una de las preocupaciones de los ingenieros fue la de lograr un alto grado de

estandarización, con el fin de facilitar el uso de todos los electrodomésticos. En ese entonces, la electricidad se empleaba principalmente para el alumbrado público [7].

Los esfuerzos de las empresas de eléctricas municipales se dirigieron a ofrecer una mayor cobertura del servicio urbano y llevar el fluido eléctrico a los hogares, a las calles, a la industria, alcanzando su punto máximo en generación de un 8% como se mencionó anteriormente. Las empresas de propiedad privada controlaron el resto de la industria.

3.1.2. Segunda etapa "Periodo entre Guerras" (1919-1945)

Dos eventos importantes surgieron en este periodo: la crisis financiera en Estados Unidos²⁴, llamada "La Gran Depresión" (1929-1932) y la segunda guerra mundial (1939- 1945). La gran depresión afectó directamente a la industria eléctrica ya que las acciones que habían sido emitidas para su desarrollo se incrementaron, causando preocupaciones en la sociedad. La segunda guerra mundial, fue un evento político e histórico importante dentro del contexto, la industria eléctrica no se afectó directamente, ya que se encontraba en un periodo de crecimiento y consolidación, los sistemas eléctricos siguieron creciendo en tamaño y eficiencia; en ese entonces, todos los esfuerzos se dirigieron hacia la industria bélica, por lo tanto se requirió energía para la producción de aviones, tanques y otros equipos necesarios para la guerra [8]. Este periodo se caracterizó por el crecimiento de las economías de escala, el incremento en la eficiencia térmica y avances en transmisión, control, e interconexión y mayor confiabilidad en los sistemas eléctricos.

a) Preocupaciones institucionales

En el año 1920 se aprobó la Ley Federal de Energía Hidroeléctrica (P.L 66-280) y en el año 1928 el Congreso autorizó el desarrollo del proyecto multipropósito Boulder Canyon para irrigación, control de avenidas y generación eléctrica. Se intensificó la electrificación urbana. El proceso de integración se mantuvo en el periodo de

²⁴ La crisis financiera en Estados Unidos, comprende varias causas entre ellas la quiebra de la bolsa de Nueva York lo cual originó un descenso en la actividad económica y en las inversiones en Estados Unidos.

consolidación y crecimiento de los sistemas eléctricos. Además, se crearon corporaciones que financiaron la expansión de las empresas mediante la venta de acciones al público; muchas corporaciones eléctricas se agruparon en compañías de participación financiera denominadas “Compañías Holding”.

Las franquicias exclusivas de empresas eléctricas de servicio público, tuvieron la obligación de servir a todos los clientes en regiones definidas. Se estableció “La Comisión Regulatoria de Estado”, la cual fijó los precios de la electricidad, ofrecida por cada empresa considerando sus inversiones y una tasa equitativa de remuneración de capital. La Comisión Regulatoria de Estado tuvo dificultad para regular las grandes compañías Holding, las cuales presentaban estructuras complejas de organización e incluían varios estados. Estas compañías suministraban gran cantidad de energía, por lo tanto tenían el poder de influir en el gobierno de cada Estado, mediante donaciones a partidos políticos y pagos ilegales a los reguladores [9,10]. Esto ocasionó que el público se sintiera insatisfecho con la operación de las compañías Holding y la corrupción en la industria.

En el año 1927, la Comisión Federal de Comercio, inició una investigación en la industria, la cual se prolongó durante siete años. Las conclusiones del estudio fueron publicadas por etapas a partir del año 1928 y continuaron durante la gran depresión [8].

En el año 1933 Franklin Roosevelt tomó posesión de la presidencia de Estados Unidos y propuso un programa de medidas de reactivación económica, denominado New Deal. En ese entonces, las compañías Holding dominaban el mercado, únicamente el 60% de la población urbana tenía acceso a la electricidad y un 10% de la población rural, debido a los abusos y al rechazo de éstas compañías de ampliar la cobertura a las zonas rurales, por lo tanto el congreso decidió tomar medidas para incentivar la electrificación rural, mediante la formación de cooperativas eléctricas rurales.

En el año 1935 el gobierno Federal para contrarrestar los abusos de las compañías Holding y establecer una reglamentación más estricta creó la Ley sobre Consorcios de Servicios Públicos²⁵ (PUHCA P. L. 74-333, por sus siglas en inglés). Igualmente la Ley Federal de Energía de 1935 (Título 2 de PUHCA), autorizó a la Comisión Federal de Energía, la facultad de regular los precios de venta de electricidad interestatal. En el año 1936, se creó la Administración de Electrificación Rural, para promover la electrificación rural [8].

También, se expandió la generación eléctrica federal proporcionando electricidad a menor costo a municipios y cooperativas. Se aumentó la capacidad de generación hidroeléctrica, se desarrollaron proyectos hidroeléctricos tales como la presa *Hoover* que inició operación en el año 1936 y la presa *Grand Coulee* que empezó operación en el año 1941. Además, se creó la Ley de Autoridades del Valle de Tennessee, sin ánimo de lucro, que facultó al gobierno federal de suministrar energía a los estados, condados, cooperativas y organizaciones. También, se estableció el proyecto de ley de *Bonneville* en el año 1937, el cual fue pionero en la comercialización de la administración federal de energía. En el año 1940 se estableció la política de precios, aplicable a toda la energía federal sin dejar de cubrir los costos. Durante el periodo 1933 al 1941, toda la nueva capacidad instalada fue proporcionada por dos empresas federales. En el año 1941 la energía pública representó un 12% del total de la generación mientras que la energía federal contribuyó alrededor de un 7% [2].

b) Preocupaciones económicas

Están relacionadas con los efectos macroeconómicos originados por la Gran Depresión (1929-1932).

Los sistemas eléctricos siguieron avanzado en tamaño y eficiencia. La industria eléctrica se caracterizó por el desarrollo de las economías de escala. Las grandes y más eficientes turbinas de vapor fueron reemplazadas por máquinas de vapor más

²⁵ La ley PUHCA, del año 1935, asignó a la Comisión de Bolsa y Valores (SEC), la responsabilidad de dismantelar algunas compañías Holding (UHCs) y regular la estructura corporativa y financiera.

eficientes. Los sistemas y las ciudades fueron interconectados con líneas de transmisión de alto voltaje. Se consolidaron las grandes compañías Holding y cada una de ellas controló los intereses de un número de compañías eléctricas [2].

c) Preocupaciones sociales

Las principales preocupaciones de la sociedad fueron las originadas por la gran depresión; tales como el incremento en el precio de las acciones ocasionando pérdidas económicas.

3.1.3. Tercera etapa “los gloriosos 30’s (1946-1972)

Las características más importantes de este periodo fueron: el crecimiento económico, la abundancia de combustibles y las preocupaciones por el medio ambiente que aparecen al final del periodo. Un evento significativo fue el apagón en el noroeste de Estados Unidos, Ontario y Canadá en el año 1965, originando preocupación sobre la confiabilidad de las redes eléctricas interconectadas [8].

a) Preocupaciones institucionales

El auge económico de la posguerra, favoreció el crecimiento de la industria eléctrica. Los factores que contribuyeron a la consolidación de la industria eléctrica fueron: las características de monopolio natural, los bajos precios de los combustibles y el rápido avance tecnológico. Estos factores favorecieron las bajas tarifas y la satisfacción política y popular con la industria [12]. Además, cambió la percepción del papel de la electricidad en el desarrollo; tendencia hacia la mayor intervención del gobierno, la responsabilidad de éste en la promoción del desarrollo económico, el bienestar social, el empleo con equidad, justicia e intereses de la comunidad.

En el año 1954 se creó la Ley de Energía Atómica, la cual permitió el desarrollo de la energía con fines civiles. En el año 1957 inició la operación del reactor comercial en *Shippingport* Pennsylvania [4,21].

b) Preocupaciones económicas

El periodo se caracterizó por una etapa de crecimiento sostenido en la industria eléctrica que se mantuvo hasta principios de los 70's.

Durante la década de los 60's el crecimiento económico, favoreció la productividad de todos los sectores económicos. Para el caso particular de la industria eléctrica, los efectos se reflejaron en la disminución de los precios de la electricidad, los cuales beneficiaron a la sociedad en general, proporcionando una mejor calidad de vida. La capacidad instalada y la generación eléctrica fueron en aumento, del orden de 7% anual, principalmente a partir de petróleo y gas. La demanda de electricidad aumentó en un 6.5% al año, gracias a la disminución del 1.5% en los precios de la electricidad comercial y residencial.

El crecimiento se basó en el paradigma tecnológico desarrollado en la segunda guerra mundial; los principales impulsores fueron los sectores de la metalmecánica y la petroquímica. Durante el periodo comprendido entre 1950 y 1973, la industria eléctrica a nivel mundial creció a una tasa anual acumulativa del 7% y el consumo comercial de las fuentes de energía, aumentaron más de tres veces [14-15].

El bum de la economía de la posguerra, trajo como resultado un incremento en el uso de la electricidad en el sector industrial y residencial. El aumento en la demanda y los grandes monopolios obligaron a las empresas eléctricas a reducir costos, por la construcción de grandes centrales eléctricas, aprovechando las ventajas de las economías de escala y manteniendo una tasa relativamente baja [8].

c) Preocupaciones sociales

El principal beneficio para la sociedad fue el bajo costo de la electricidad, facilitando la preferencia de la electricidad por su comodidad y confort.

El auge de la electricidad mejoró el nivel de vida de la sociedad en general. Se aumentó el consumo de electricidad en los hogares, debido al incremento en el uso de electrodomésticos, tales como refrigeradores, radios, lavadoras; los cuales primeramente fueron una novedad, pero después se convirtieron en una necesidad en la gran mayoría de hogares. Aunado, los beneficios de la electrificación rural, ayudó a que la población rural disfrutara del uso de electrodomésticos.

En la década de los 50's, siguió aumentando el consumo de electricidad en la industria y en los hogares, logrando que la vida fuera más agradable y productiva. Los directores de las compañías eléctricas se sintieron satisfechos por los buenos resultados; además contribuyeron a mejorar el estándar de vida de sus clientes, el eslogan fue "vivir mejor eléctricamente" [16].

El éxito de la industria eléctrica, también benefició a las compañías eléctricas, las cuales aprovecharon las nuevas tecnologías de transmisión y distribución. Los fabricantes fueron innovando en tecnologías de generación de electricidad; igualmente empleados, accionistas y clientes se favorecieron del éxito de dichas empresas [16].

A partir de la década de los 60's nuevas tecnologías entraron al mercado, tales como los controles automatizados y las computadoras. El incremento en la demanda de electricidad favoreció el desarrollo de centrales más grandes, por lo tanto los esfuerzos en tecnología se dirigieron principalmente hacia la construcción de centrales con mayor capacidad; aprovechando los beneficios de las economías de escalas. En el año 1935 los grandes generadores en EE UU producían 208 MW; en 1956 alcanzó 300MW y en 1960 fue de 1,000 MW [8].

En el periodo 1950 y 1960, la generación eléctrica aumentó en promedio más del 8.5% anual, debido a los grandes consumos de electricidad residencial y a la electrificación rural. La capacidad aumentó más rápido que la generación, del orden del 9.5% anual. Igualmente, la eficiencia en generación fue mejorando y los precios de la electricidad residencial continuaron bajando en 1% promedio anual [17].

La electricidad tuvo mucho valor para la sociedad americana. Los consumidores en busca del sueño americano, adquirieron electrodomésticos, tales como refrigeradores, estufas, otros; generando un aumento en la demanda de la electricidad tanto en el sector industrial y sector residencial sobre una base diaria [8]. Los beneficios no fueron solamente para el consumidor residencial, también para los grandes consumidores. Las industrias pasaron de los motores a vapor a los pequeños motores eléctricos para suministrar energía a las máquinas; esto ocasionó que la productividad se proyectara, lo que permitió fabricar más productos a menor costo.

d) Preocupaciones medio ambientales

El periodo 1965-1972 se caracterizó por fallas eléctricas y las presiones de grupos activistas, los cuales exigieron a las dependencias del gobierno investigar sobre los impactos al medio ambiente, causados por la industria eléctrica [8]. En el año 1969 se promulgó la ley Nacional de Política Ambiental (NEPA, PL 91-190), con la finalidad de que dichas empresas respondan a los requerimientos de impacto ambiental, como parte del proceso de permiso. Las centrales carboeléctricas, respondieron instalando equipos de control de emisiones [8-11].

El año 1965 finalizó con el apagón registrado en el noreste de Estados Unidos, el cual afectó a 30 millones de personas en ocho estados de la costa este de Estados Unidos, incluyendo a la ciudad de Nueva York y parcialmente a dos provincias de Canadá. [18]. Las empresas eléctricas respondieron a este evento mediante la instalación de interconexiones que permitieron la transferencia de energía entre regiones y comenzaron a resaltar la importancia en la reserva de generación.

Igualmente, se plantearon inquietudes acerca de la confiabilidad del sistema de redes de transmisiones interconectadas interdependientes. Además, se formaron concejos de confiabilidad regional y el Concejo de Confiabilidad Eléctrica de América del Norte (NERC, por sus siglas en inglés) para promover la confiabilidad del suministro de electricidad. Igualmente la Comisión de Energía Federal (FPC, por sus siglas en inglés), puso en marcha varias investigaciones que descubrieron la historia de apagones y la necesidad de realizar inversiones masivas en infraestructura [8].

En el año 1968 se reunió un grupo llamado “Club Roma”, el cual presentó los argumentos sobre el posible agotamiento de recursos naturales no renovables, debido al consumo exponencial de recursos. Además, exhibió la publicación del libro “Los límites del Crecimiento”, representando por la Comunidad Científica Internacional de 30 países, los cuales expusieron su preocupación acerca de los cambios que estaban afectando el planeta por las acciones humanas y sus posibles repercusiones [19-20]. En el año 1972 se celebró en Estocolmo la primera conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente, con la participación de 1200 delegados de 110 países, con el objetivo de planificar sobre las necesidades sociales y culturales de protección ambiental, referente a los recursos naturales y estrategias a seguir internacionalmente para luchar contra la contaminación. La organización de las Naciones Unidas (ONU), reconoció que el crecimiento económico podría tener un efecto adverso sobre el medio ambiente.

3.1.4. Cuarta etapa “crisis energética” (1973-1985)

El periodo se caracteriza por los efectos de crisis energética de 1973-1979 y el importante aumento en el precio internacional del petróleo.

Las principales preocupaciones que afectaron el desarrollo de la industria eléctrica en este periodo fueron los impactos geopolíticos de los choques petroleros, los problemas en la industria nuclear, la escasez de gas natural, la reglamentación de los precios, la prohibición del uso del gas y petróleo para generar electricidad y la puesta en marcha de la ley PURPA-1978.

a) Preocupaciones institucionales

En el año 1975 el presidente Gerald R. Ford firmó la ley Política Energética y la Ley de Conservación, siguiendo con la política sobre el control de los precios del petróleo. De esta forma se establecieron estándares de eficiencia para automóviles y se autorizó la Reserva Estratégica de Petróleo [8].

En el año 1977 el presidente Carter's firmó la Ley de Emergencia de Gas Natural como mecanismo de control de precios en el comercio interestatal. Igualmente, anunció el Plan Nacional de Energía y la Creación del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés) con el objetivo brindar seguridad energética a nivel Nacional.

Los efectos de la crisis energética en la industria eléctrica motivaron al Congreso, a la comunidad científica, académicos, expertos en energía, ambientalistas, sociedad civil y demás interesados a diseñar estrategias para enfrentar los retos, mediante políticas dirigidas a reducir el consumo de energía y las importaciones del petróleo, a través de la diversificación de fuentes de energía e implementación de reformas [8]. Las repercusiones macroeconómicas y políticas, ocasionaron que el Congreso presentará al presidente Carter's, la ley de política nacional para enfrentar la crisis. En 1978 se creó la ley sobre Normas Regulatoras de Empresas de Servicios Públicos (Public Utilities Regulatory Policy Act; PURPA, por sus siglas en inglés). Inicialmente el objetivo fue facilitar el empleo de energías renovables para generar electricidad a través de la figura *Qualifyng Facilities*²⁶. Sin embargo, las políticas de libre mercado cambiaron el propósito, incentivando la competencia en generación mediante la participación de los productores independientes. Además, la ley PURPA, creó un nuevo nicho de mercado mayorista para la venta de electricidad [26].

²⁶ La ley PURPA nace como respuesta a la crisis energética de los 70's. El presidente Carter's puso en marcha diversos programas de reducción de impuestos y créditos que incentivarán el uso racional de la energía y la eficiencia térmica.

b) Preocupaciones económicas

Durante la década de los 70's las preocupaciones económicas de la industria eléctrica fueron la crisis energética, el incremento en las tasas de interés, la inflación, el aumento en los precios de los combustibles, los costos ocasionados por la regulación ambiental y el aumento de los costos de inversión en centrales nucleoelectricas y de carbón [23].

En el mes de octubre del año 1973, se presentó la primera crisis energética por el petróleo, la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) tomó represalias en contra de Estados Unidos por el apoyo a Israel durante la guerra *Yom Kippur*, por lo tanto suspendió temporalmente el suministro de petróleo y elevó los precios a más del 200%. La OPEP continuó incrementando los precios, desde 3 dólares por barril en 1973 hasta 30 dólares en 1980. Esta situación afectó tanto al consumidor residencial, como al industrial debido al aumento en el precio de la electricidad. Las empresas eléctricas reaccionaron reduciendo la dependencia del petróleo, mediante la diversificación de combustibles y la construcción de nuevas centrales (carbón o nuclear) [8,13].

El embargo petrolero causó un aumento del 6.28% promedio en las tarifas²⁷ y una disminución en la generación de electricidad por petróleo debido a los altos precios del crudo, la tasa promedio anual fue del -2.74% durante 1973 y 1975. Esta disminución, también se debió a la participación de fuentes alternas carbón y nuclear [4].

En los 70's los precios de los combustibles fósiles fueron en aumento. El petróleo costo más del doble en el año 1974, registró un incremento del 26% promedio anual, el precio del gas natural aumentó en un 23%; mientras que los precios del carbón se incrementaron en un 16% [17].

²⁷ Durante el periodo 1969-1975, la tasa de incremento anual promedio en las tarifas (real) de electricidad (menudeo) fue del 0.68%.

Los efectos del embargo y el incremento en el precio del petróleo, originaron dos problemas para la industria. Primero, el embargo causó efectos a la economía nacional. Dichos efectos y la crisis por la inflación dieron como resultado una economía más frágil, menor estabilidad en los precios, alza en las tasas de interés e inflación. La preocupación por la inestabilidad en la economía nacional, también fue interpretada no solamente como un problema económico, sino un dilema de seguridad nacional. Segundo, los consumidores afectados por la crisis energética especialmente por el aumento en los precios de la electricidad, se organizaron y crearon la organización de consumidores llamada (*People Outraged With Energy Prices*), los cuales presionaron al Congreso y al gobierno de Estado a crear la ley [8].

Durante el periodo 1975-1978, la generación de electricidad aumentó 6%, debido a que los precios del crudo se mantuvieron estables, se continuó con la política de control de precios del petróleo, se cancelaron 30 proyectos de energía nuclear y se protegieron las reservas de gas natural. También, las tarifas aumentaron 1.69% [4].

En el año 1979 ocurrió el segundo choque petrolero de la década, el cual ocasionó escasez de petróleo, gas natural y elevación de los precios mundiales del petróleo; estos factores en conjunto ocasionaron que los hidrocarburos restaran competitividad para generar electricidad [27].

La industria eléctrica enfrentó la crisis energética, reduciendo la dependencia del petróleo, mediante la generación de electricidad a través de fuentes alternas de energía; se incentivó la construcción de centrales a partir de carbón y se iniciaron los programas de diversificación promoviendo las energías renovables [8]. En el periodo 1971-1974 se presentó una expansión precipitada de 131 centrales nucleoelectricas, con una capacidad de 1,100 MW la inflación y el incremento en los materiales para la construcción, afectaron los costos de construcción de las centrales nucleoelectricas y las altas tasas de interés incrementaron los costos de financiamiento. Por tal razón los programas de sustitución de combustibles fueron muy costosos y desde el punto

de vista de comparación de costos las grandes centrales nucleares no fueron atractivas respecto a otras fuentes de generación eléctrica [4]. En el periodo 1975-1978 la generación de electricidad a partir de petróleo aumentó 6%, debido a que los precios del crudo se mantuvieron estables, se continuó con la política de control de precios del petróleo y la protección de las reservas de gas natural. Además, se cancelaron 30 proyectos de generación eléctrica a partir de energía nuclear. La Figura 3.1 muestra la generación de electricidad neta por fuente en Estados Unidos durante el periodo 1973-1985.

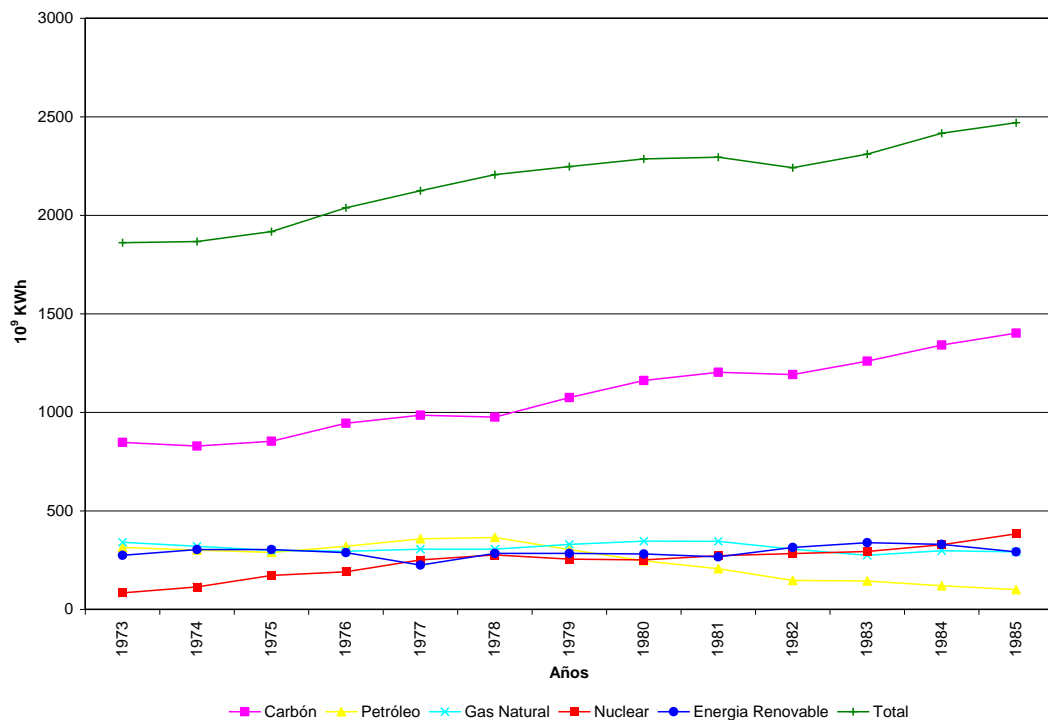


Figura 3.1 Generación neta de electricidad en Estados Unidos (1973-1985).

Fuente: iea.doe.gov

c) Preocupaciones sociales

Las principales preocupaciones sociales fueron originadas por la crisis energética de los 70's: la preocupación por la volatilidad en las tarifas del fluido eléctrico y la posible escasez de suministro.

La crisis causó preocupación por diversos autores y búsqueda de soluciones al problema; en el que participaron el sector público, el sector privado, académicos, hacedores de política y otros actores. En el proceso de soluciones surgieron dos temas importantes: 1) el país necesitará conservar la energía; 2) encontrar fuentes alternativas y estrategias para la generación eléctrica, además de las ofrecidas por las grandes compañías eléctricas.

En el mes de febrero del año 1979, la Comisión Reguladora Nuclear²⁸, ordenó cerrar cinco reactores en operación, debido a las preocupaciones acerca de la durabilidad de éstas durante los terremotos. El accidente en el reactor número dos en la Isla de Tres Millas en Pensilvania, el 28 de marzo del año 1979, originó preocupación y oposición pública hacia la construcción de centrales nucleares.

d) Preocupaciones medio ambientales

En la década del 70's se crearon leyes dirigidas a la conservación del medio ambiente. Entre las más importantes fueron: la ley de Aire Limpio²⁹, la cual legislación ambiental aumentó los costos de operación y construcción de las centrales eléctricas; en el año 1977 se realizaron modificaciones a la ley, que se dirigieron a la reducción de emisiones de CO₂. En el año 1972 se creó la ley Federal de Control de Contaminación del Agua³⁰ y la ley de Conservación y Recuperación de Recursos³¹, dirigida a integrar estándares ambientales para la eliminación de residuos peligrosos y no peligrosos de las centrales eléctricas. En el año 1974, se creó la Ley de Coordinación del Medio Ambiente y Suministro de Energía con la finalidad de permitir al Gobierno Federal prohibir a las empresas eléctricas la quema de gas natural o de petróleo [4,8].

²⁸ Nuclear Regulatory Commission (NRC, por sus siglas en inglés).

²⁹ Ley de Aire Limpio 1970(CAA, PL 91-604)

³⁰ Ley Federal de Control de la Contaminación del Agua (Clean Water Act PL 92-500)

³¹ Ley de Conservación y recuperación de recursos (RCRA PL 94-580)

3.1.5. Quinta etapa “Globalización” (1986-2009)

El periodo se caracterizó por los efectos del neoliberalismo económico, que buscó reducir la participación del Estado en el sector de la economía e implementó las políticas del libre mercado.

Es importante traer a colación que a partir de la década de los 60's, surgen las teorías económicas neoclásicas promovidas por los intereses comerciales; se consideran que fueron un resurgimiento de las teorías propuestas por Adam Smith y sus seguidores. Dichas teorías se enfocaron en el liberalismo económico o de mercado, que fueron conocidas como neoliberalismo en Europa, neo-conservacionismo en Estados Unidos y fundamentalismo económico en Australia. Las teorías promovieron las políticas de recorte de gastos gubernamentales, privatización de servicios públicos, activos del gobierno y reestructuración de actividades comerciales, sustentadas en la capacidad de los mercados para distribuir de manera más eficiente los recursos y garantizar una productividad óptima [31].

A mediados de la década de los 80's, se implementó un nuevo concepto llamado globalización³², consecuencia de las políticas neoliberales propuestas en décadas anteriores. Empezó como una fase de reestructuración del capitalismo, liberalización de los mercados, nuevas tecnologías de información y privatización de las economías nacionales.

En el caso de la industria eléctrica, las políticas neoliberales criticaron que la ineficiencia era la causa de las altas tarifas en la electricidad. Además, el procedimiento para fijar las tarifas no proporcionaba estímulos para aumentar la eficiencia y podría conducir a la sobre inversión.

³² Globalización de los mercados: las industrias para competir deben tener acceso a insumos de igual o menor precio, calidad y condiciones de servicio, que los de su competencia. La globalización desde un punto de vista general ha sido muy cuestionada.

a) Preocupaciones institucionales

En la década del 90's se presentó un cambio de paradigma en la estructura de la industria eléctrica a nivel mundial. Las preocupaciones institucionales se derivaron por las reformas y los cambios en la estructura de la industria eléctrica, los cuales pusieron en riesgo la confiabilidad y la calidad del suministro de electricidad.

En 1992 se firmó el tratado de libre Comercio de América del Norte (Estados Unidos, México y Canadá). En el periodo 1996 -2000, se iniciaron las reformas para reestructurar el mercado minorista en el sector eléctrico en Estados Unidos, con la finalidad de ofrecer a los clientes la facilidad de seleccionar a su proveedor de electricidad. En los estados de Arizona, Connecticut, Delaware, District of Columbia, Illinois, Maine, Maryland, Massachusetts, Michigan, New Hampshire, New Jersey, New York, Ohio, Oregon, Pennsylvania, Rhode Island, Texas y Virginia. Además, algunos estados aprobaron la legislación pero suspendieron la puesta en marcha; tales como los Estados de Nevada, Montana, New México, Oklahoma y Arkansas. [33].

Aunque se haya hecho una reestructuración de la industria eléctrica en Estados Unidos con la ley PURPA, las grandes diferencias de precios de la electricidad al por menor han continuado motivando a economistas y analistas políticos apoyar por una ampliación de las reformas, los cuales tienen la idea que los mercados libres pueden causar una baja en los costos y en los precios reduciendo ineficiencias. La estructura actual de la industria eléctrica no provee a los clientes al por menor de las *utilities*³³, la oportunidad de comprar electricidad de generadores que pueden tener precios más bajos que sus surtidores actuales. La reestructuración de la industria llevó a cabo la posibilidad de permitir más oportunidades para los grandes consumidores industriales.

³³ Las *utilities* se definen como compañías privadas o como agencias públicas comprometidas en generación, transmisión y/o distribución de energía eléctrica de uso público.

b) Preocupaciones económicas

El cambio estructural más importante que sufrió la industria eléctrica en Estados Unidos, fue la competencia en la generación de energía, que causó la necesidad de un uso más eficiente del sistema de transmisión y distribución y para esto fue necesario los cambios en las instituciones que dirigen el mercado. La regulación tradicional se había basado en el supuesto que la generación era un monopolio natural, lo que ahora es altamente cuestionable en los Estados Unidos. El propósito de la regulación actual es promover la eficiencia económica en la generación, transmisión, distribución y mantener una asignación razonable de costos e incentivar la competencia y el acceso al mercado [33].

Las reformas en el sector eléctrico, beneficiaron la participación de las *non-utilities*, en la generación eléctrica en Estados Unidos. En el año 1991 el 49% de la electricidad generada por las *non-utilities*, fue a partir de gas natural, mientras que la mayor parte de la electricidad generada por las compañías eléctricas fue a partir de carbón y energía nuclear. La participación de *non-utilities* va en aumento, no solamente en la generación de electricidad para uso propio, sino también para vender sus excedentes a las compañías eléctricas. Además, dichas compañías impulsaron la participación de las fuentes renovables en la generación eléctrica, como resultado de la implementación de la Ley PURPA. De esta forma, las energías renovables han incrementado su participación virtualmente de 0% a 3% de la producción de electricidad a nivel nacional. Los cambios estructurales en la industria eléctrica, han generado oportunidades de negocio para las compañías privadas, a partir de la aprobación del proyecto de ley, el cual permite la participación de los productores independientes en la generación eléctrica. El cambio motivó la participación de las *non-utilities*, las cuales han crecido un 10% en el mercado eléctrico de Estados Unidos [8].

La reducción en el precio del combustible gas natural, benefició la construcción de centrales ciclo combinado; ésta fue la tecnología establecida por las *non-utilities* para

generar electricidad. A pesar de las ventajas, la principal preocupación económica fue que las compañías eléctricas no previeron el incremento en el costo del gas natural y la gran dependencia para generar electricidad [4].

La última gran crisis económica, o llamada también Burbuja inmobiliaria que comenzó en 2008 en Estados Unidos y duró hasta el inicio de la segunda década del siglo XXI, tuvo como consecuencia no solo una relevante desconfianza en el sistema financiero, limitando la libre circulación de capitales, sino también una parte relacionada con la limitación al acceso a las materias primas (aspectos geoestratégicos), que llevó a una necesidad tal de recursos, que la búsqueda de soluciones desembocó en importantes problemas ambientales. Los condicionantes derivados de aquella difícil situación estuvieron presentes en el cambio de modelo energético que empezó a diseñarse en esa época [41].

c) Preocupaciones sociales

En la década de los 90's se realizó en Estados Unidos una serie de iniciativas de reestructuración de la industria eléctrica. La ley de Política Energética EPact-1992 propuesta por el Congreso, la cual promovió la creación de mercados competitivos de electricidad. A raíz de esta iniciativa de regulación federal, varios estados se comprometieron en reestructurar la venta de electricidad en el mercado eléctrico. La implementación de reformas, causó un gran impacto en el precio de la electricidad, en las condiciones de mercado y en la competencia; pero no se prestó atención a los efectos en el mercado laboral. Un estudio realizado en Estados Unidos sobre las consecuencias de la implementación de reformas en el sector eléctrico, mostró resultados sociales negativos, especialmente una reducción en la probabilidad de empleo. Las compañías eléctricas respondieron a la competencia reduciendo el número de empleos. Asimismo, esta tendencia de los efectos de la reforma y los compromisos internacionales medio ambientales relacionados con el cambio climático, han sido una amenaza para los cientos de trabajos que dependen de la estabilidad de la industria eléctrica.

La reestructuración de la industria eléctrica, generó preocupaciones en la sociedad, debido al incremento en los precios de la electricidad especialmente en el consumo residencial. Otra preocupación fue acerca de que se perdieran los avances en eficiencia energética, programas de gestión de la demanda y elección de combustibles primarios limpios para generación eléctrica; con la finalidad de reducir los impactos al medio ambiente causados por la generación eléctrica. Además, el gobierno, ejecutivos de compañías eléctricas debieron tomar medidas acerca del impacto de la reestructuración en la reducción de la fuerza laboral y determinar si la reestructuración tuvo un efecto positivo o negativo en el sector [34].

Encuestas realizadas por la oficina de estadística sobre empleo y salario del sector eléctrico en Estados Unidos, fue posible investigar acerca de patrones de empleo en el sector eléctrico antes y después de la reestructuración. La figura 3.2 muestra que el empleo en el sector eléctrico en Estados Unidos disminuyó cerca del 24% a partir del año 1990. Puede observarse un cambio en la tendencia ascendente que había predominado antes del año 1990.

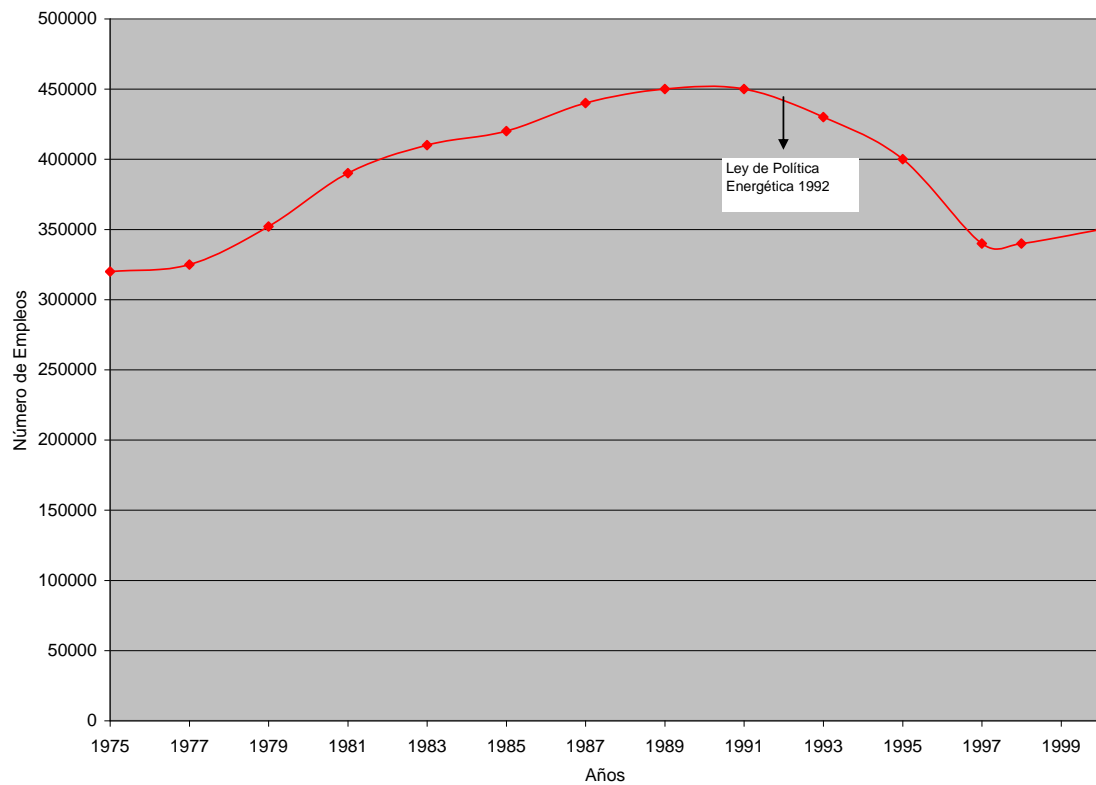


Figura 3.2 Empleo en el Sector Eléctrico en Estados Unidos.
Fuente: Niederjohn (2004).

El empleo declinó en forma acelerada después de ser aprobada en el Congreso la ley EPact 1992 (véase figura 3.3). El efecto en el empleo fue producto de las reformas implementadas en el sector eléctrico. La disminución en el empleo en el sector eléctrico no fue solamente en los EE.UU., la desregulación tuvo un efecto similar en el empleo en el sector eléctrico en el Reino Unido [34].

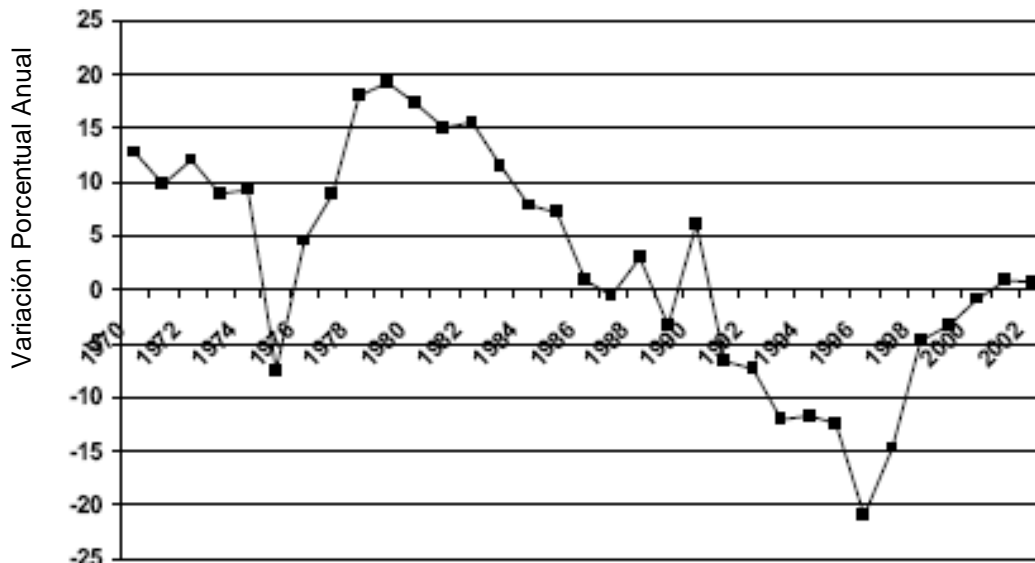


Figura 3.3 Variación porcentual anual del empleo en el Sector Eléctrico en Estados Unidos (1970-1972).

Fuente: Niederjohn (2004).

d) Preocupaciones medio ambientales

En la última década, la sociedad en general, así como gobiernos, científicos y tomadores de decisiones, han adquirido conciencia concreta y palpable de la problemática del cambio climático y del aumento de las repercusiones en el medio ambiente, el cual está afectando la sustentabilidad de vida en el planeta. Estas preocupaciones han impulsado políticas públicas, no solamente para prevenir sino también para mitigar sus efectos.

En el año 1987 Informe: Nuestro Futuro Común, la organización de las Naciones Unidas estableció una comisión independiente para estudiar la problemática del medio ambiente, llamada la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD). Definió el concepto de Desarrollo Sustentable, como un desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras "Comisión *Brundtland*", en reconocimiento a la primera ministra de Noruega Gro Harlem Brundtland (CMMAD, 1987).

En el año 1990, el congreso aprobó la ley de Enmiendas de Aire limpio³⁴, que estableció los programas para mejorar la calidad del aire, mediante la imposición de restricciones sobre la liberación de contaminantes peligrosos a la atmósfera. La ley de Enmiendas afectó al mercado del gas natural, promovió la quema de combustibles más limpios en la generación eléctrica y en el transporte; lo que produjo un aumento de la demanda de gas natural. Con el fin de reducir emisiones de CO₂ y NO_x, en las centrales eléctricas, diseñó una estrategia dividida en dos fases. La primera fase inició en el año 1995 y finalizó en el año 1999; 110 centrales eléctricas les fueron asignados derechos de emisión. Las centrales que excedieron los permisos estaban sujetas a multas. En el año 2000 se puso en marcha la fase dos, se extendió el rango de centrales sujetas a topes de emisión y bajó los topes para las 110 centrales iniciales [32].

En el año 1992, se realizó la conferencia La Cumbre de Río de las Naciones Unidas en Desarrollo y Medio Ambiente, llamada “Cumbre de la Tierra.” Se estableció el tratado internacional sobre el medio ambiente “La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático” (CMNUCC, por sus siglas en inglés). El tratado tiene como objetivo estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático. En el mismo año creó la Organización de las Naciones Unidas, la Comisión para el Desarrollo Sustentable (CSD).

En el año 1997, la comisión para el Desarrollo Sustentable, estableció en 1992 que en el mes de junio del año 1997, sería la primera fecha para presentar el balance de logros del Desarrollo Sustentable, llamado “Cumbre de la Tierra+5”. En el mismo año la Unión Europea UE, estableció entre sus objetivos, el Desarrollo Sustentable en el Tratado de Ámsterdam. Igualmente, en 1997 los gobiernos acordaron el protocolo de Kioto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU (UNFCCC, por sus siglas en inglés). El objetivo del convenio fue alcanzar una reducción de un 5.2% en las emisiones de gases efecto invernadero globales sobre los niveles del año 1990

³⁴ Ley de Enmienda de Aire Limpio (CAAA, por sus siglas en inglés).

en el periodo 2008-2012; como mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y reducir sus impactos.

En el año 2002 se realizó la convención mundial sobre Desarrollo Sustentable en Johannesburgo, Sudáfrica.

Según Edison Electric Institute en el proyecto de ley denominado ley de Seguridad del Clima America's, presentado por los senadores Lieberman y John Warner, aprobado por el Senado y el Comité de Obras Públicas en diciembre de 2007, estableció que Estados Unidos debe reducir las emisiones de gases efecto invernadero de acuerdo al siguiente calendario:

- 2012: Reducir emisiones en el 2015 al nivel del año 2005.
- 2020: Reducir las emisiones entre 15 % y 20 % por debajo de los niveles del año 2005 (equivalente a la reducción de emisiones a los niveles de 1990 o inferior).
- 2050: Reducir emisiones en un 70 % por debajo de los niveles del año 2005.

Los legisladores consideraron que la industria eléctrica debe apoyar la diversificación de tecnologías para reducir las emisiones de dióxido de carbono y otros gases efecto invernadero. Sin embargo, en el largo plazo reducir las emisiones de acuerdo al calendario programado depende de la disponibilidad de las tecnologías, de lo contrario las empresas eléctricas en el corto plazo se verían obligadas a depender en gran medida del gas natural para producir electricidad, manejar los precios y restringir la oferta para los consumidores y las industrias que dependen del gas natural [34].

En diciembre del 2009 se realizó la 15 Conferencia de las Partes (COP-15) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, 2009), la cual acordó reconocer la importancia de limitar el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C y para cumplir con este objetivo se requiere un recorte a fondo en las emisiones globales. A pesar de que el acuerdo de

Copenhague no fue aprobado formalmente por la Conferencia de las Partes; la gran mayoría de los gobiernos en todo el mundo expresaron su apoyo. Esto representó un paso adelante hacia el desarrollo de una comprensión compartida global de los desafíos del cambio climático y un compromiso de acción para hacerle frente.

- ***Acciones internacionales***

Puesta en marcha el Foro de las Principales Economías sobre Energía y Clima (MEF por sus siglas en inglés), con la finalidad de crear un nuevo diálogo entre las economías desarrolladas y emergentes para combatir el cambio climático y promover la energía limpia. Este grupo está integrado por 17 países. En diciembre del 2009 MEF publicó un conjunto de diez planes de acción de tecnologías, con base en el análisis de la Agencia Internacional de Energía (IEA) de las diferencias mundiales en investigación, desarrollo y demostración de financiación.

Estados Unidos, encabeza una iniciativa para todas las naciones del G-20 para eliminar los subsidios a los combustibles fósiles en el mediano plazo y trabajar con otros países en el mismo objetivo. La Cooperación Económica Asia y el Pacífico (APEC, por sus siglas en inglés), dichas naciones han adoptado desde entonces un enfoque similar, ampliar el número de países para comprometerse en la eliminación de estos subsidios.

Los planes para acelerar la colaboración con China, India, México, Canadá y otros socios internacionales para combatir el cambio climático, energía limpia coordinar la investigación, desarrollo y apoyo a las conversaciones internacionales sobre el clima.

La asociación con los países vecinos en el hemisferio occidental para promover la seguridad energética y la lucha contra el cambio climático. Un fruto de esta cooperación es la creación del Centro de Energía Renovable de Chile, que recibe apoyo técnico del Departamento de Energía de los EE.UU. La Tabla 3.1 muestra un

resumen de las principales preocupaciones humanas que han afectado el desarrollo de la industria eléctrica en Estados Unidos, con efectos a nivel mundial; en las etapas seleccionadas.

Etapas	Clasificación de Preocupaciones Humanas en la Evolución de la Industria Eléctrica			
	Institucional	Económica	Social	Medio- ambiental
Fin de la primera Guerra Mundial 1882-1918	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa regulación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de Compañías Holding. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la cobertura y lograr un alto grado de estandarización. 	
Periodo entre Guerras 1919-1945	<ul style="list-style-type: none"> • Se creó la Comisión Reguladora de Estado. • Ley sobre Consorcios de Servicios Públicos PUHCA-1935. 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos de la Gran Depresión (1929-1932). • Incremento exagerado en el precio de las acciones. • Creación de medidas de reactivación económica "New Deal". 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas económicas por las acciones adquiridas. 	
Los Gloriosos 30's 1946-1973	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor regulación e intervención del Gobierno 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento económico sostenido. • Crecimiento de la demanda. • Bajos precios de los combustibles. • Avances tecnológicos. • Embargo OPEP 1973. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo del precio del fluido eléctrico. • Beneficios sociales, comodidad y confort. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1968 Se crea el Club Roma. • 70's comienza la conciencia ambiental • 1972 Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Medio Ambiente.
Crisis Energética 1974-1985	<ul style="list-style-type: none"> • Ley sobre Normas Reguladoras de Servicios Públicos PURPA (1978). 	<ul style="list-style-type: none"> • Segundo choque petrolero 1979. • Incremento en las tasas de interés, inflación. • Aumento en el precio de los combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Volatilidad en el precio del fluido eléctrico. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1975 Se crea la Agencia Europea para el Medio Ambiente. • 1979 Primera Conferencia Mundial sobre el Clima en Ginebra. • 1983 Se crea la Comisión sobre Medio Ambiente de las Naciones Unidas (CNUMAD)
Globalización 1986-2009	<ul style="list-style-type: none"> • Reformas en la Industria Eléctrica • Ley de Energía-EPact-1992. • Ley de Energía 2005 • Ley de Energía 2007 	<ul style="list-style-type: none"> • Globalización. • Creación del Mercado Eléctrico. • Crisis financiera e inmobiliaria en Estados Unidos (2008) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en el empleo. 	<ul style="list-style-type: none"> • 1987 Informe "Nuestro Futuro Común". • 1988 Creación del (IPCC) • 1992 Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro-Brasil. • 1996 Se celebre en Ginebra Segunda

Etapas	Clasificación de Preocupaciones Humanas en la Evolución de la Industria Eléctrica			
	Institucional	Económica	Social	Medio- ambiental
				<p>Conferencia de las Partes (COP2)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1997 Se celebra en Japón COP3 se adopta el Protocolo de Kioto. • 2001 EE UU decide no firmar el Protocolo de Kioto. • 2005 Entra en vigor el Protocolo de Kioto. • 2007 se presenta en Valencia (España) IV informe del IPCC. • 3 de diciembre Australia ratifica el Protocolo de Kioto. • 2009 Acuerdo de Copenhague COP 15 incluye la intención de limitar a 2 grados el aumento de la temperatura de la tierra. • 2010. Finaliza en México reunión ministerial previa a la Cumbre COP 16. • Dic 2010. Cancún México acoge COP 16.

Tabla 3.1 Preocupaciones humanas que han afectado la industria eléctrica.
Elaboración propia.

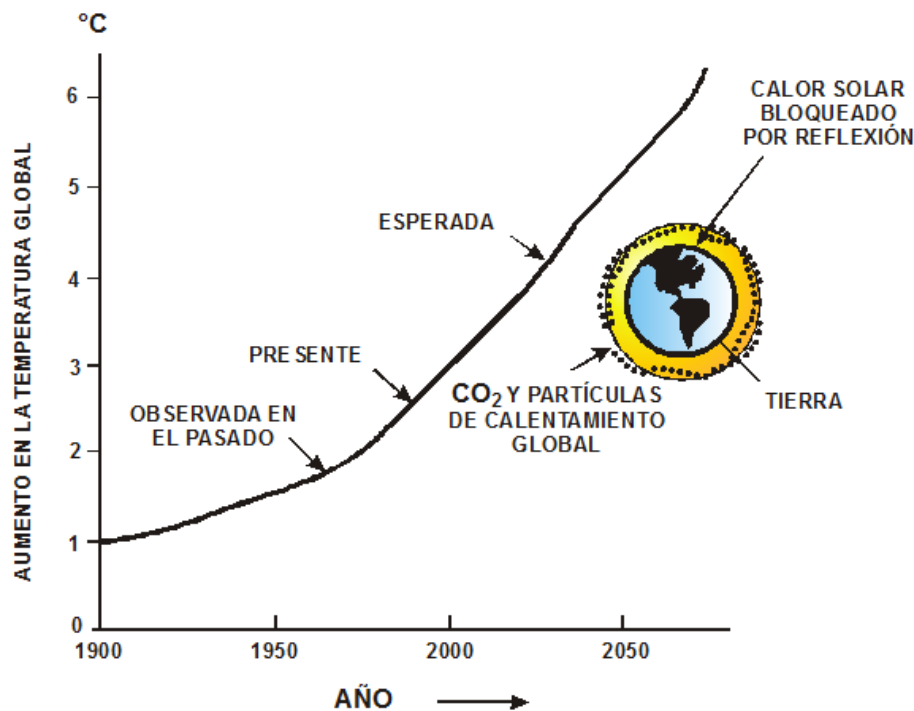
3.2. Preocupaciones humanas que condicionarán a la industria eléctrica en un horizonte de largo plazo (2050)

Partiendo de la evolución y la situación actual de las preocupaciones humanas que se han presentado a través del desarrollo de la industria eléctrica, se observa que tales preocupaciones tienen relación con los modelos de desarrollo actuales adoptados a nivel mundial en el último siglo, los cuales están generando problemas a la sociedad actual y a futuras generaciones. Se puede vislumbrar que las posibles preocupaciones que condicionarán el desarrollo de la industria eléctrica en el largo plazo; se basarán principalmente en los siguientes indicadores:

1) *Emisiones de CO₂*:

Uno de los principales desafíos globales es cómo mantener la disponibilidad comercial de los servicios de energía con un mínimo daño al medio ambiente. Con base en reportes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007) cerca del 69% de todas las emisiones de CO₂ son relacionadas a energía y cerca del 60% de todas las emisiones de gases efecto invernadero pueden ser atribuibles a la producción y consumo de energía. Los países más industrializados que tienen el mayor producto interno bruto (PIB) son aquellos que contribuyen más al efecto invernadero por la emisión de contaminantes [40].

Para John Theodore Houghton, fundador del Centro Hadley, copresidente del grupo de evaluación científica del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, en sus primeros tres informes considera que el cambio climático antropogénico afectará seriamente a las próximas generaciones y a los ecosistemas mundiales. Su incidencia podría limitarse significativamente si se emprendiera una acción conjunta mundial de reducción de emisiones. Propone mantener el incremento de la temperatura global solo en 2 °C por encima de la temperatura del periodo preindustrial. Para ello la concentración de CO₂ no debería superar las 450 ppm (hoy sobre 390 ppm). Esto implica que al 2050 las emisiones mundiales de CO₂ deben reducirse en un 50% del nivel de 1990 (actualmente están 15% por encima de ese nivel) [37]. La figura 3.4 muestra el aumento de la temperatura global del planeta en el periodo 1900-2050.



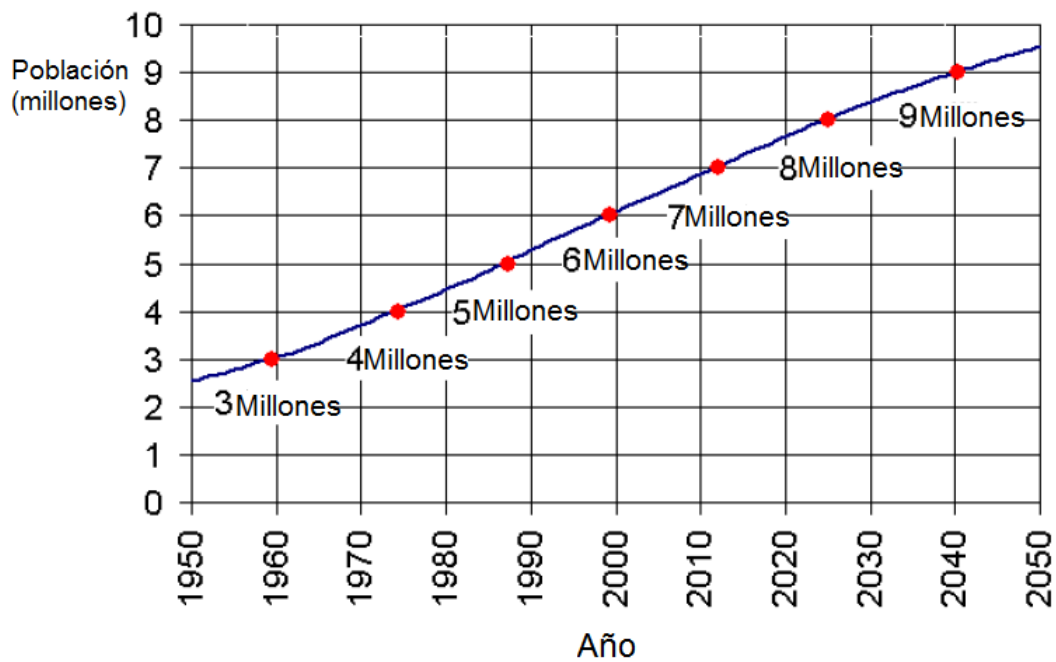
EL INCREMENTO EN LA TEMPERATURA GLOBAL DEBIDO AL EFECTO INVERNADERO

Figura 3.4 Incremento de la temperatura Global.

Fuente: Enríquez (2012)

2) Cambios demográficos:

La población es un tipo determinante en el consumo de energía, ya que influye en la demanda para bienes y servicios, viviendas y transporte. La población en el mundo ha incrementado desde 3 millones en 1959 a 6.7 millones en 2008. Según las últimas proyecciones muestran que el crecimiento de la población continuará pero a un ritmo más lento. Se proyecta que en el año 2050 la población sea de 9.2 millones. China, India y economías en transición representarán 1/3 de la población mundial en el 2050. La figura 3.5 muestra el crecimiento de la población mundial 1950 a 2050 y la figura 3.6 representa la relación consumo de energía y población 1900 a 2100.



Fuente: U.S. Census Bureau, International Data Base, December 2008 Update.

Figura 3.5 Población a Nivel Mundial (1950-2050).

Fuente: Nezhad (2009).

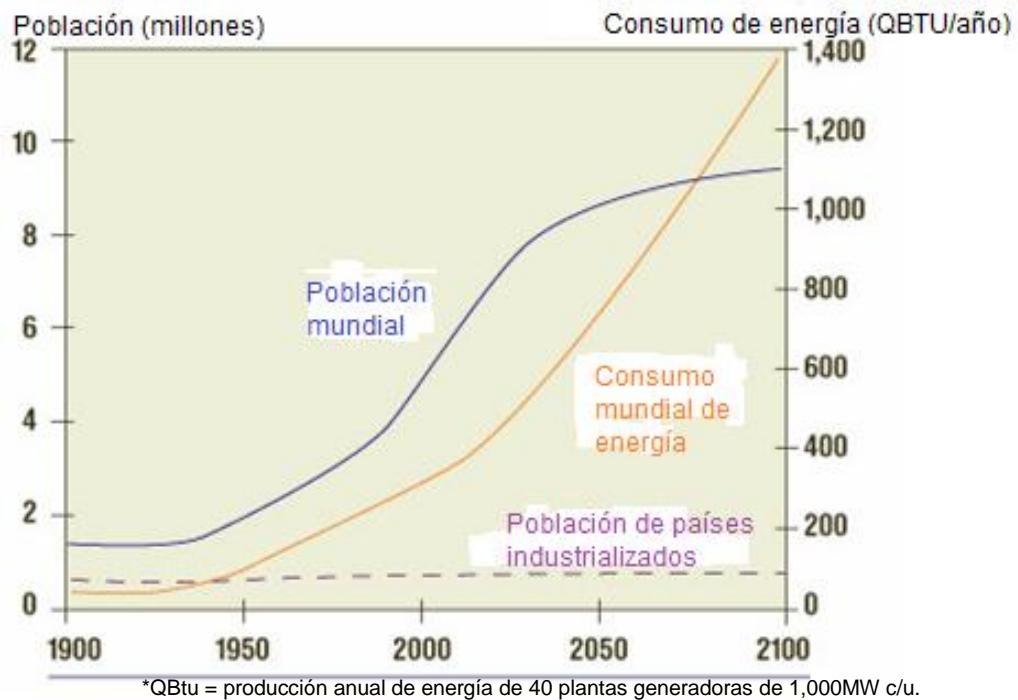


Figura 3.6 Relación consumo de energía/población mundial.

Fuente: Tanguy (2009).

3) *Crecimiento económico:*

De acuerdo con los escenarios de la Agencia Internacional de Energía, la expectativa de la tasa de crecimiento anual del Producto Interno Bruto PIB es del 3.3% por año hasta el 2050, cuadruplicando el PIB en el mundo cerca de \$227 trillones. La expectativa de la tasa de crecimiento del PIB en países en vías de desarrollo es mucho más alta que en países desarrollados. Por ejemplo, en países tales como China e India, el crecimiento del PIB podría ser hasta 10 veces más entre el actual y el 2050 [40]. La figura 3.7 muestra la tasa de crecimiento económico mundial en % (1970-2010).

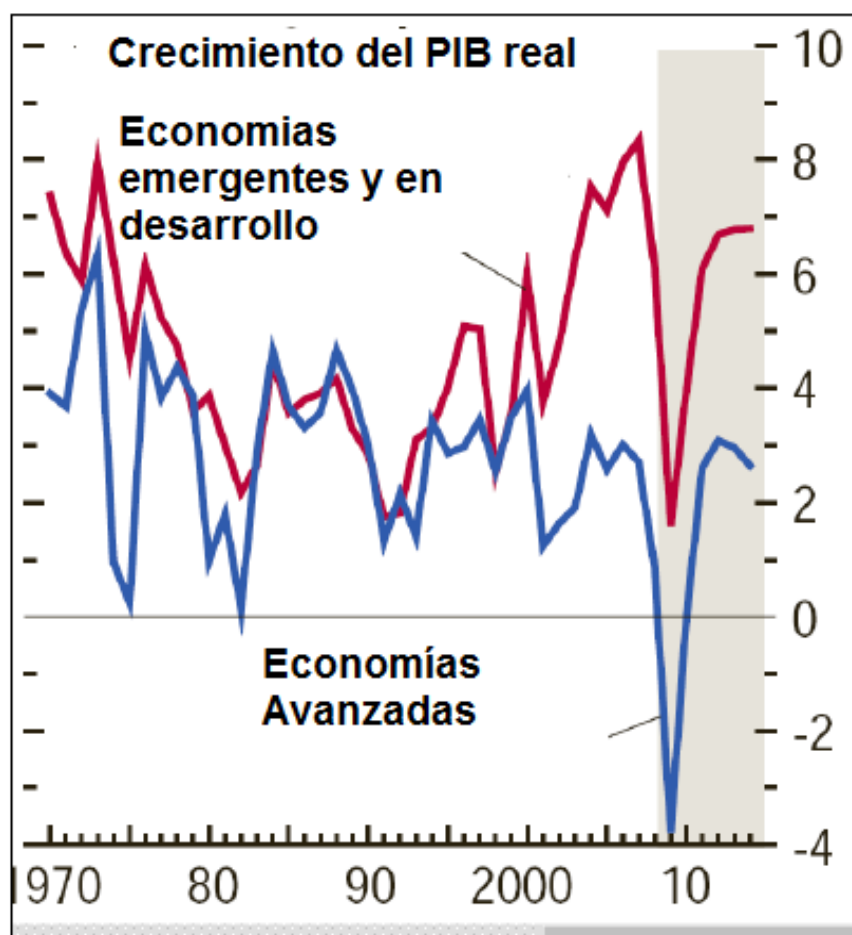
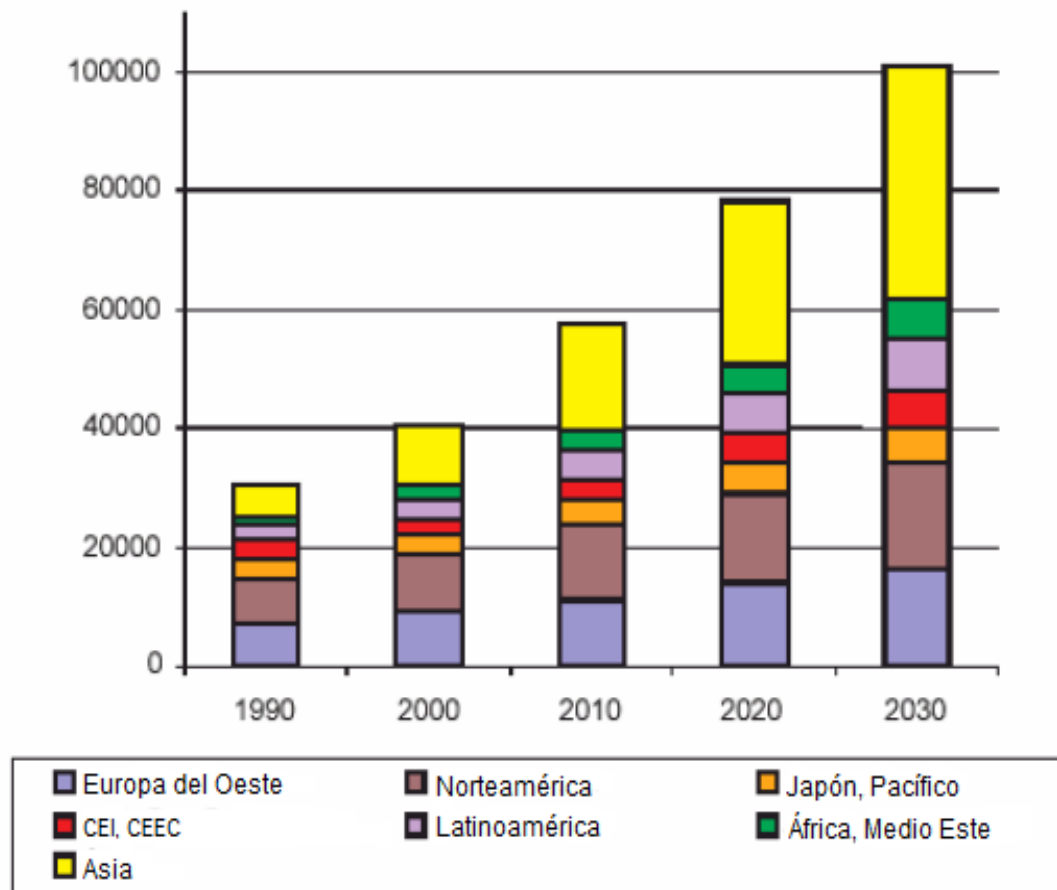


Figura 3.7 Tasa de crecimiento económico mundial en %.

Fuente: Fondo Monetario Internacional, World Economic Outlook: crisis and recovery(2009).



*CEI: Comunidad de Estados Independientes

** CEEC: *Central and Eastern Europe Community*. La ampliación de la Unión Europea (UE) para incluir a los países de la Europa Central y Oriental (CEEC)

Figura 3.8 Evolución del PIB mundial (millones de Euros).

Fuente: Tanguy (2009)

4) *Intensidad Energética Global:*

Se mide como la energía necesaria para producir una unidad de actividad económica. Es una medida de eficiencia energética. La intensidad energética global ha declinado a una tasa promedio de 1.5 % por año desde 1973. En Europa ha sido baja la intensidad energética, 30% más baja que en Norteamérica y 40% más baja que en China. La mancomunidad de estados independientes (CIS por sus siglas en inglés), requiere tres veces más energía por unidad de PIB que Europa. La alta intensidad energética es el resultado de varios factores tales como baja eficiencia energética, el rol dominante de las industrias intensivas en energía y los bajos

precios de la energía. La Figura 3.8 muestra la tendencia de intensidad energética por región de 1980-2030.

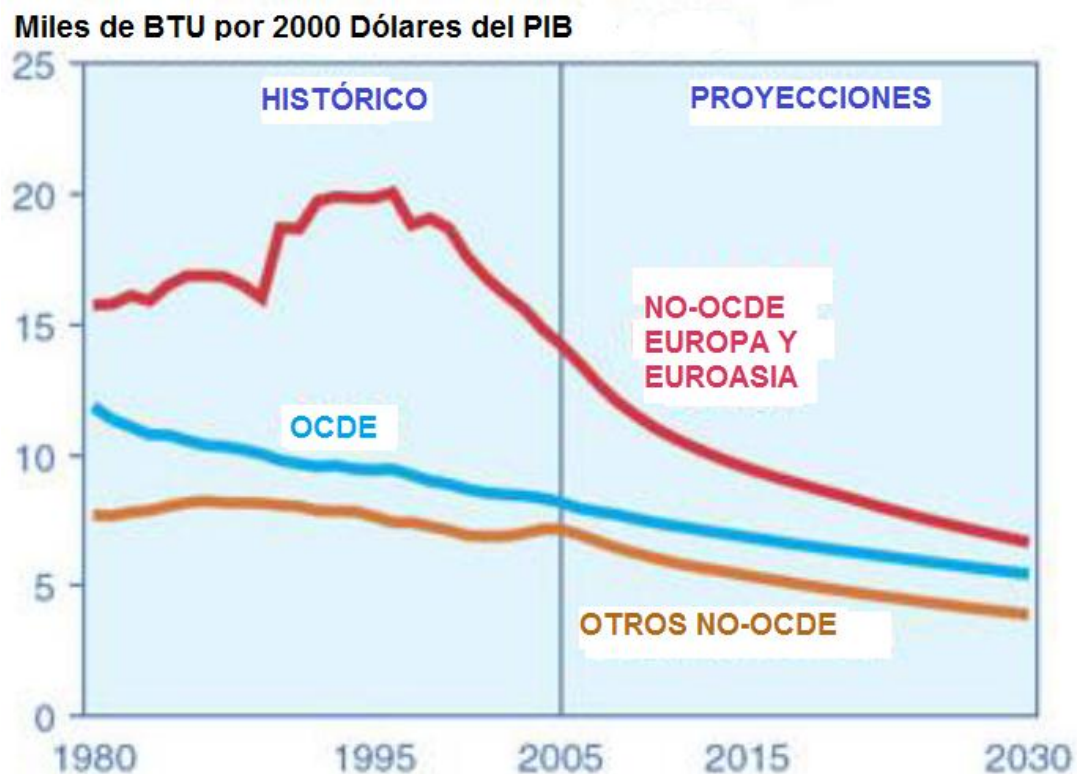


Figura 3.9 Intensidad energética por región.

Fuente: Energy Information Administration. Internacional Energy Outlook (2008)

5) Precios del petróleo:

Los precios de la energía normalmente responden a los cambios en la oferta y la demanda. Sin embargo, los precios del petróleo están influenciados por un número de factores tales como la demanda global del petróleo, también debido a la incertidumbre por la producción, por el valor del dólar y por factores políticos los cuales podrían causar interrupciones en el suministro en el corto plazo. Otros factores son las expectativas sobre el futuro de la demanda mundial de petróleo y otros líquidos y las decisiones de producción de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), que podrían afectar los precios en el largo plazo. La oferta y la demanda en el mercado mundial del petróleo se equilibran a través de

las respuestas a los movimientos de precios, a las expectativas de demanda las cuales son numerosas y complejas. Los principales factores que determinan la oferta y la demanda del petróleo y otros líquidos en el largo plazo pueden resumirse en cuatro categorías: 1) la economía de los países que no pertenecen a la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP); 2) la inversión de los países que pertenecen a la OPEP y las decisiones de producción, 3) la economía de la oferta de otros líquidos y 4) la demanda mundial del petróleo y otros líquidos. Para reflejar la incertidumbre a los precios futuros del petróleo la Administración de la Información de la Energía desarrolló tres casos de precios del petróleo que examinan el potencial de impactos de diferentes trayectorias de precios del petróleo en los mercados de energía de Estados Unidos. Los tres casos son desarrollados mediante el ajuste de los cuatro factores que determinan la oferta y la demanda mencionadas anteriormente. La figura 3.10 muestra la proyección en los tres casos [42].

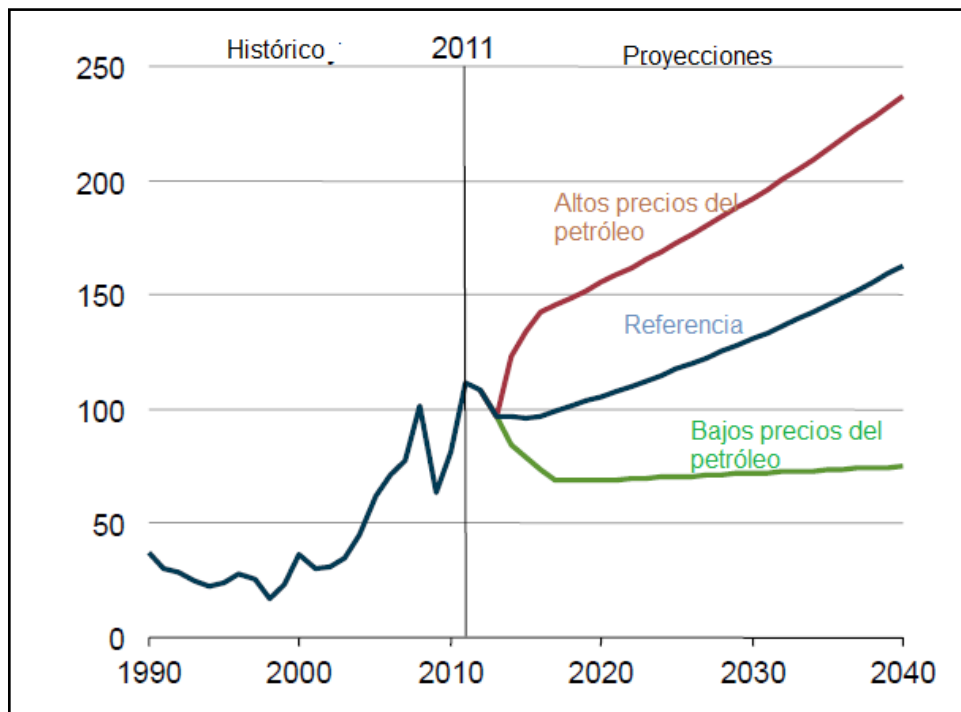


Figura 3.10 Precio Sport promedio anual para petróleo crudo Brent en los tres casos 1990-2040 (Dólares 2011 por barril)

Fuente: Annual Energy Outlook (2013)

Resumen y conclusiones parciales

El estudio muestra que desde su evolución la industria eléctrica se ha visto afectada por diversos factores tales como económicos, políticos, institucionales, medio ambientales; los cuales han originado preocupaciones por diversos actores tales como a nivel gobierno y hacedores de política, las cuales se han reflejado a través de normas más estrictas, convenios, tratados y acuerdos internacionales para el control de emisiones. En el contexto de la investigación las preocupaciones humanas se refieren a los aspectos mencionados anteriormente. En el periodo (1882-1918) la preocupación más importante fue de carácter institucional. En los inicios de la industria eléctrica fue necesario establecer una regulación para dar orden a dicha industria. En el periodo (1919-1945) las principales preocupaciones se originaron a raíz de la Gran Depresión de 1929; este evento desencadenó efectos de tipo económico, político y social. Se establecieron medidas de reactivación económica y se creó la ley sobre Normas Regulatoras de Servicios Públicos en 1935. El siguiente periodo (1946-1972) fue el más favorable para el desarrollo de la industria eléctrica durante tres décadas consecutivas; se caracterizó por el incremento de la demanda, bajos precios de los combustibles y avances tecnológicos. Inician las preocupaciones por el medio ambiente con el Tratado del Club Roma. El periodo (1973-1985) surgieron dos choques petroleros (1973-1979) y los efectos se reflejaron en el incremento en el precio del petróleo, el cual originó un cambio de paradigma en la industria eléctrica. En este periodo inicia la transición de la industria eléctrica; los cambios institucionales se dieron a través de la promulgación de la Ley PURPA-1978. El tema por el medio ambiente fue considerado en el periodo. Finalmente el periodo (1986-2009) se caracterizó por los efectos de la globalización y la ideología dominante a nivel mundial hacia la implementación de reformas (reestructuración, liberalización y privatización). Las preocupaciones por el cambio climático global y el incremento de emisiones de CO₂ son relevantes. Además, la crisis financiera inmobiliaria en Estados Unidos en el 2008, causó preocupaciones acerca del comportamiento del mercado energético, precios de las materias primas,

que condujo al diseño de políticas económicas encaminadas a impulsar nuevas tecnologías.

Los resultados muestran que la evolución de preocupaciones humanas, depende de factores externos y están sujetas a numerosas incertidumbres, las cuales son difíciles de predecir. Tales como los precios de la energía, el crecimiento económico global, los cambios demográficos, las políticas de gobierno y eventos inesperados. La preocupación por el medio ambiente, especialmente en relación con el incremento de gases efecto invernadero y el cambio climático global seguirá siendo crucial en la toma de decisiones políticas por los diversos gobiernos y en las agendas políticas; las medidas se reflejarán a través de nuevos acuerdos, leyes y medidas de mitigación. Además, las preocupaciones institucionales, sociales y económicas, también jugarán un rol importante en las próximas décadas.

Referencias

- [1] Fernández Carlos (2003). Experiencias internacionales en mercados eléctricos liberalizados. **Anales de Mecánica y Electricidad**: 70-76.
- [2] Belfied Robert (1976). The Niagara System. The evolution of fan electric power complex at Niagara Fallss,1883-1896. **Proceedings of the IEEE**, vol 64, No.9; 1344-1350.
- [3] Kelly Kelvin (1995). **Regional power markets, regulating regional power systems**. Ed. poor Andrews Clinton. Ed. Quorum Books, Estados Unidos.
- [4] Hernández Hilda, (2003). La desregulación eléctrica en California. "Análisis de un Fracaso". **Tesis de Maestría**, Jacinto Viqueira (Director), UNAM, México.
- [5] Steiner Fayer (2002). **Regulación, estructura industrial y desempeño en la industria eléctrica**. Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE), Paris.
- [6] Hirsh R (2003). Power Loss, the MIT Press, Cambridge, M.A. in: Environmental Jolts, Institutional Change, and the Creation Entrepreneurial Opportunity in the US Electric Power Industry. **Research Policy**: 185-207.
- [7] Munson Richard (2003). From Edison to Enron. **The Electricity Journal**. Vol 18: 51-61.
- [8] Sine Wesley, Robert J David (2003). Environmental jolts, Institutional Change, and the creation entrepreneurial opportunity in The US Electric Power Industry. **Research policy**: 185-207.

- [9] Mc Donald F (2003). University of Chicago Press, Chicago. In: Environmental Jolts, Institutional Change, and The creation entrepreneurial opportunity in the US electric power industry. **Research policy**: 185-207.
- [10] Ramsay M (2003). Pyramids of Power: The Story of Roosevelt Insull, and the Utility Wars. The Bobbs- Merrill Company, Indianapolis. In: Environmental Jolts, Institutional Change, and The creation entrepreneurial opportunity in the US electric power industry. **Research policy**: 185-207.
- [11] Energy Information Administration /DOE (2000). **The changing structure of the electric power industry**. An update, 2000.
- [12] Cyert, R.M., Dill, W.R., March, J.G (1965). The role of expectations in business decision making. **Administrative Science Quarterly** 2, 306–340.
- [13] Michaels, R.J (1996). Stranded investments, stranded intellectuals. **Regulation** 1, 47–52.
- [14] Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL,(2003). **Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas**, pp137.
- [15] Viqueira Jacinto (2002). Experiencias internacionales de la reforma de la industria eléctrica. El caso de Estados Unidos y Europa. en: **La industria eléctrica Mexicana en el Umbral del siglo XIX. Experiencias y propuestas de reestructuración**. Coordinador (Víctor Rodríguez). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [16] Hirsh R, (1989). Technology and transformation in the American electric utility industry. **Cambridge University Press**, New York.
- [17] Energy information administration EIA/DOE (1996). **The changing structure of the electric power industry**: An Update, 166.
- [18] Hyman S (1998). America's Electric Utilities: Past, present and Future. **Public Utilities Reports Inc**, Arlington, VA.
- [19] Fenn S (1984). **America's electric utilities Under siege and in transation**. Praeger publishers, New York.
- [20] Shackley Simon, Ken Green(2007). A conceptual framework for exploring transitions to decarbonised energy systems in the United Kingdom. **Energy** 32: 221-236.
- [21] Hughes Thomas (1979). The Electrification of America: The System Builders. **Technology and Culture** 20: 124-61.
- [22] Cyert R (1965). M, Dill W. R, March J. G. The role of expectations in business decision making. **Administrative science quarterly**. 2: 306-340.
- [23] Joskow Paul (2000). Desregulation and Regulatory Reform in the U. S. Electric Power Sector. Febrero. **Massachusetts Institute of Technology**, USA.
- [24] Crew M. A (1991). Competition and the Regulation of the Utilities. **Kluwer Academic Publishers**, Boston.
- [25] Primeaux W (1986). Direct Electric Utility Competition: The Natural Monopoly Myth. **Praeger Publishers**. New York.

- [26] Energy Information Administration (1993). The Changing Structure of the Electric Power Industry 1970–1991. **Energy Information Administration**, Washington, DC.
- [27] Viqueira Jacinto (2007). **Energía e Impacto Ambiental**. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. DF.
- [28] Ramírez Adriana, (2005). Las Externalidades en la generación eléctrica. **Tesis de Maestría**, Jorge Islas (Director), UNAM, México.
- [29] Koomey J (1990). Comparative analysis of monetary estimates of external environmental costs associated with combustion of fossil fuels. **Lawrence Berkeley Laboratory**, LBL-28313.
- [30] Koomey J& Krause F (1997). Introduction to environmental externality costs, CRC **Handbook on energy efficiency**, CRC Press, Inc, Berkley, C. A.
- [31] Beder Sharon (2005). **Energía y Poder. La lucha por el Control de la Electricidad**. ISBN: 968-16-7730-7. Primera Edición: pp702.
- [32] Díaz Bautista Alejandro (2005). **Experiencias internacionales en la desregulación y el sector eléctrico**. El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, México, 257pp.
- [33] Niederjohn Scott (2004). The Effect of Regulatory Reform on Employment and Earnings in the U.S. Electricity Sector. **The Electricity Journal**: 76-86
- [34] Edison Electric Institute (EII), (2008). Concerns about the Lieberman-Warner climate change Bill.2008:1-3. Disponible en: www.eei.org/
- [35] International Energy Agency IEA (2006). Energy technologies perspectives: scenarios and strategies to 2050. **Available in: www.iea.**
- [36] De la Vega Ángel (2009). Finanzas y economía ¿por encima de la energía y el medio ambiente? **Energía a debate**. Editada por Mundi Comunicaciones S. A de C.V, Julio-Agosto de 2009, México.
- [37] IPCC AR4 WG1 (2007), Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; and Miller, H.L., ed., Climate Change: The Physical Science Basis, **Contribuciones del Grupo I de trabajo al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.**, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-88009-1
- [38] Dr. Philippe A. Tanguy (2009). **The Future of Energy: A Process Engineering Perspective**.
- [39] Enríquez Harper Gilberto (2012). **Memoria Técnica de Vigésima-Quinta Reunión Internacional de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial, IEEE**, Acapulco, México.
- [40] Nezhad H (2009). **World energy scenarios to 2050: Issues and options**. University Minneapolis.
- [41] Jiménez Sergio y Rodríguez Pilar (2013). Visión del Futuro para el Sector de la Energía 2025. Club de Innovación y Futuro (OPTI) España, pp. 47.
- [42] Energy Information Administration (2013). Annual Energy Outlook 2013. With Projections to 2040. www.eia.doe.gov DOE/EIA-0383(2013). April 2013.

Capítulo 4 ANÁLISIS MULTINIVEL (MLP)

Capítulo 4

A partir de este capítulo inicia la segunda parte de la tesis. El objetivo es realizar un análisis de los capítulos previos (cambio tecnológico, formas organizacionales y preocupaciones humanas), a través de la aplicación de la metodología conceptual “Perspectiva Multinivel” al caso de referencia seleccionado (1970-2009). La pregunta que se plantea es: ¿Cuál o cuáles variables originaron la transición de la industria eléctrica?

El capítulo se divide en dos partes. En la primera parte se explica de manera breve el marco conceptual de la metodología Teoría Perspectiva Multinivel (MLP), integrado por tres niveles (macro, meso y micro). En la segunda parte se aplica la metodología MLP para analizar la dinámica de la transición en la industria eléctrica, en el periodo (1970-2009), ya que en este lapso de tiempo se han presentado los principales eventos con efectos en el desarrollo de la industria eléctrica.

4.1. MARCO CONCEPTUAL DE LA TEORÍA PERSPECTIVA MULTINIVEL

La teoría Perspectiva Multinivel (PML) es una metodología que proporciona un marco conceptual útil para conocer los cambios que ocurren en el sistema, los cuales conducen a la transición. PML se basa en la teoría científica de la transición y representa una importante síntesis de ideas y conceptos, que surgieron de estudios sobre la evolución de la economía y sociología de la tecnología, desde hace varias décadas. PML está integrada por tres niveles: meso nivel o "régimen socio-técnico", micro nivel y macro nivel [1-3].

1) Meso nivel: forma el régimen socio técnico dominante, el cual cumple una función para la sociedad (ejemplo: transporte, suministro de energía); con base en la teoría MLP el régimen está integrado e interrelacionado por el conjunto de tres dimensiones[10]

a) Las redes sociales o grupos de actores: que representan el capital organizacional. En el régimen de electricidad los principales actores son las empresas de servicios públicos, el Ministerio de Energía, los grandes usuarios industriales y grupos especiales de interés.

b) Las reglas formales, cognitivas y normativas: son aquellas que guían y regulan las actividades de los actores. Las reglas formales se refieren a estándares, leyes, regulaciones; las reglas cognitivas se refieren a los problemas de agenda y a los principios rectores o directrices; las reglas normativas se refieren a la relación entre las redes sociales y las normas de comportamiento. Además, comprende la estructura organizacional.

c) Materiales y elementos técnicos: en el caso de la electricidad, incluye los recursos, las redes de transmisión y las plantas de generación.

2) Micro nivel: llamado también nicho tecnológico es el lugar donde se desarrollan nuevas tecnologías, pueden ser pequeños nichos de mercado o nichos tecnológicos; tales nichos tienen la protección del mercado, la cual depende de subsidios públicos o excepción de impuestos. Los nichos actúan como cuartos de incubación donde se desarrollan nuevas tecnologías, que son protegidas para mantener el nicho de mercado seleccionado. Tales tecnologías necesitan de protección porque inicialmente tienen un bajo funcionamiento y un alto precio. La protección viene desde pequeñas redes de actores que tienen la voluntad de invertir en nuevas tecnologías. Los procesos internos en el nicho son: la construcción de redes sociales, procesos de aprendizaje y la articulación de expectativas que guían los procesos de aprendizaje.

3) Macro nivel: también llamado entorno socio-técnico, dentro de la metodología forma el medio ambiente externo, el cual generalmente cambia muy lentamente y tiene influencia en el desarrollo del meso y micro nivel. El concepto también se refiere a tendencias en la sociedad (ej. desarrollo macro-económico tales como los

precios globales del petróleo, tendencias demográficas, cambios sociales, cambios culturales y problemas medio ambientales).

La relación entre los tres conceptos (macro, meso y micro) puede ser entendida como la organización de una jerarquía o perspectiva multinivel PML. Casos de estudio manifiestan que la transición generalmente ocurre cuando el desarrollo de los tres niveles se enlazan y refuerzan uno a otro [4-7].

4.2. La dinámica de la transición en la industria eléctrica: Caso de referencia (1970-2009)

En esta sección se presenta el caso de estudio seleccionado para analizar la transición de la industria eléctrica en el periodo comprendido (1970-2009). El estudio se dirige principalmente a la industria eléctrica de Estados Unidos, ya que fue allí donde han ocurrido los principales eventos que han afectado el desarrollo de la industria eléctrica, con efectos a nivel mundial. También, es importante resaltar que dada la complejidad de información histórica, solamente se destacarán los eventos más importantes. El análisis facilitará identificar los cambios importantes del periodo y su interrelación, los cuales conducen a la transición.

La industria eléctrica se considera un complejo sistema socio-técnico, el cual incluye elementos técnicos y sociales. Elementos técnicos tales como las centrales eléctricas, las redes de transmisión y los sistemas de distribución. Los elementos sociales se refieren redes de actores a las regulaciones, leyes que regulan las actividades económicas y el mercado. La Figura 4.1 muestra los elementos y sus interrelaciones en relación con la industria eléctrica.

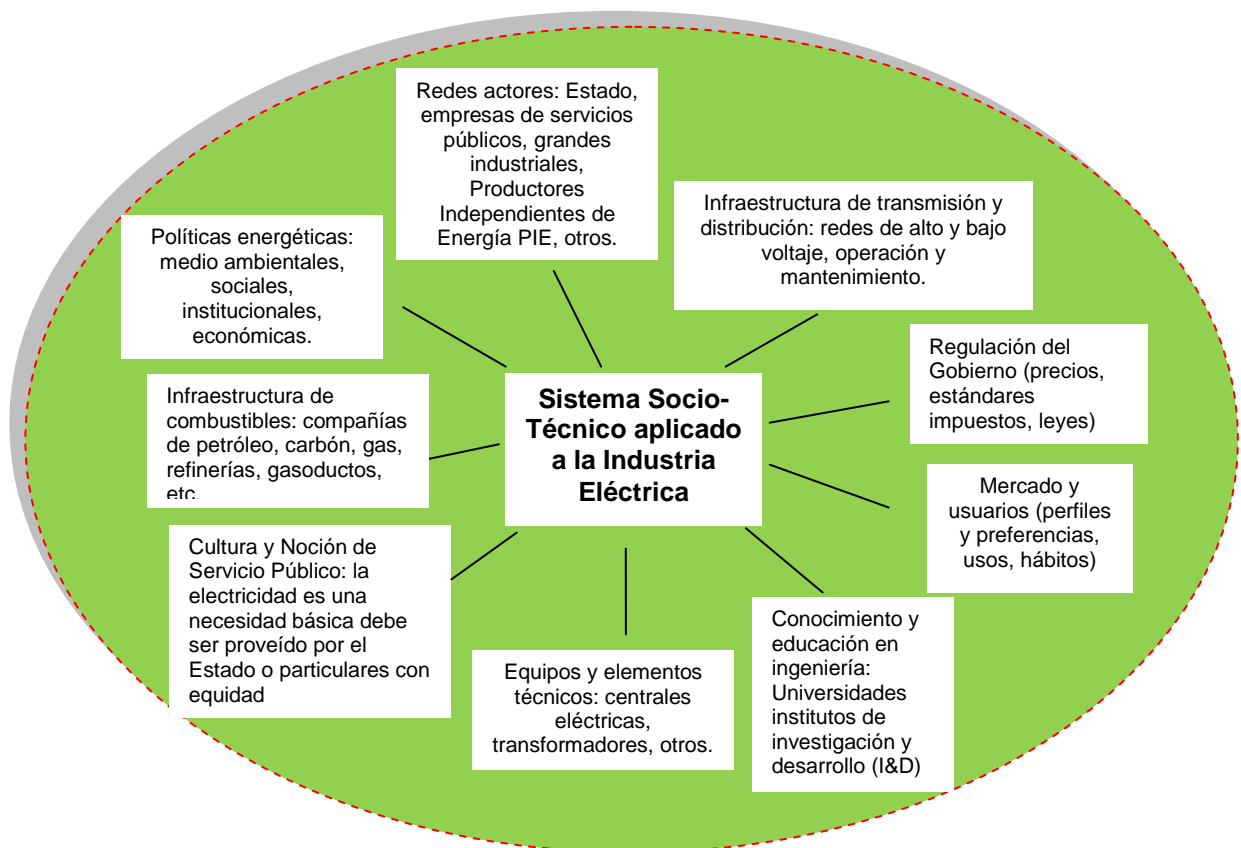


Figura 4.1 Sistema socio-técnico en la industria eléctrica.

Fuente: (Hofman et al., 2004).

Los elementos del sistema socio-técnico son producidos y mantenidos por una jerarquía de grupos sociales: ingenieros, supervisores, propietarios de empresas de servicios públicos; esos grupos interactúan entre sí.

Análisis de la dinámica del régimen de Electricidad (1970- 2009)

Antes de 1970, el régimen de la electricidad fue relativamente estable. Las empresas de servicios públicos, estaban conformadas por un régimen de actores a nivel Federal y de Estado. La organización principal en el régimen fue de autonomía regional y de Estado. Las empresas de servicios públicos privadas tuvieron el control y manejo del sistema de electricidad. La introducción del gas natural en 1960 y las experiencias con la energía nuclear en los 40's cambiaron la percepción de los

actores hacia la mezcla de tecnologías. El gas funcionó como estrategia Nacional del gobierno y cambió el punto de vista acerca del rol del gas en el sistema energético. A mediados de 1960, las empresas de servicios públicos de electricidad optaron por la turbina de gas para la generación de carga máxima en respuesta a los apagones que ocurren cuando la demanda excede la oferta. Después de 1940, los gobiernos empezaron a apoyar financieramente grandes proyectos de energía nuclear [3].

A fines de 1970, se creó el “Club Roma”, e inician las preocupaciones por los límites del crecimiento económico y sus efectos al medio ambiente.

Intervención del gobierno por crisis energética (1973- 1980)

La crisis de 1973 y 1979 forman el medio ambiente exógeno en este periodo, causando efectos significados en el desarrollo del régimen y en el micro nivel. Los gobiernos reaccionaron ante este evento a través de la implementación de medidas, reglas y regulaciones. Dos directrices son importantes en el periodo: proporcionar energía barata para las grandes industrias y la confiabilidad del suministro. Las políticas energéticas se enfocaron hacia la diversificación de fuentes de energía para reducir la dependencia y eficiencia energética para mitigar los impactos medio ambientales [3].

El desarrollo del régimen socio técnico se enfocó a resolver los problemas originados por la crisis, el gobierno presentó al Congreso la ley de Política Nacional como respuesta a este evento. Estableció la ley de Política y Conservación de Energía; ley sobre Plantas de Energía y Uso Industrial de Combustibles; ley de Impuesto sobre la Energía; ley de Gas Natural para responder al incremento de los precios del petróleo y gas natural; asimismo la ley sobre Normas Reguladoras de Servicios Públicos (PURPA 1978) [4].

Después de la primera crisis energética el modelo de organización industrial fue cuestionado en Estados Unidos, la regulación tradicional se había basado en el

supuesto de que la generación es un monopolio natural; el cual fue discutible. Sin embargo, los segmentos de transmisión y distribución tienen que ser regulados, por sus características de monopolio natural, por lo tanto no poseen los mismos argumentos competitivos. El nuevo propósito de la regulación, fue promover la eficiencia económica en generación, transmisión y distribución; mantener una asignación razonable de costos e incentivar la competencia y el acceso al mercado [5]. A partir de entonces inicia la transición en la industria eléctrica, desde una estructura basada en un monopolio regulado e integrado verticalmente hacia una estructura que pueda funcionar con éxito en un mercado competitivo.

El cambio estructural tuvo un gran impacto en la industria eléctrica; se creó ley de Política Energética para regular las industrias de servicios públicos (*PURPA*, por sus siglas en inglés) la cual originó una transformación en el marco institucional e incentivó la competencia en generación eléctrica y apertura del sector al capital privado mediante la participación de nuevos actores llamados "Productores Independientes de Energía". *PURPA* promovió el surgimiento de pequeñas empresas generadoras y obligó a las empresas de servicios públicos adquirir la electricidad producida por generadores calificados, que benefició principalmente a cogeneradores y a pequeños productores por medio de contratos a largo plazo. Además, de los cambios regulatorios y la participación de nuevos actores en el sector; otros cambios importantes en el meso nivel fueron la implementación de políticas y los cambios en las condiciones del mercado.

Los cambios en el meso nivel fueron sustentados por los avances tecnológicos; tales como la cogeneración como un subproducto de los procesos de producción normales. Esto permitió que fabricantes que utilizaban vapor, agua caliente, fuentes de energía eléctrica/ mecánica se convirtieran en productores independientes. Otro avance importante fue la turbina de gas ciclo combinado TGCC. Esta mejora modificó las economías de escala en tecnologías de generación; no fue necesario construir una central de 1,000 MW para explotar economías escala. Las turbinas de gas pueden alcanzar una eficiencia máxima a 400 MW [6]. Asimismo, con una

eficiencia cerca de 50% que no puede compararse con los niveles de eficiencia entre 30% y 40% en plantas convencionales [7].

La ley PURPA también benefició el despliegue de las fuentes renovables de energía, propiedad de pequeños productores con capacidad no mayor a 80 MW [8]. Los productores independientes crearon un nicho de mercado: Antes de PURPA, la cantidad total de energía vendida por los cogeneradores a la red fue insignificante. Las grandes diferencias de precios de la electricidad entre estados fue lo que motivó al gobierno a reestructurar la industria eléctrica [7,9].

Principales cambios en el régimen socio técnico: reformas, tecnologías regulación y actores (1981-2009)

La globalización y la liberalización de los mercados eléctricos son factores cruciales en el desarrollo del macro nivel. Las industrias para poder competir deben tener acceso a insumos de igual o menor precio, calidad y condiciones de servicio, que los de la competencia.

En las últimas décadas la industria eléctrica a nivel mundial, ha sufrido cambios profundos en su estructura institucional, tales como reestructuración, liberalización y privatización. Dichos cambios se han originado principalmente por el progreso tecnológico y la liberalización económica, los cuales han conducido hacia una transformación de la industria, que se ha reflejado en el surgimiento de nuevas estructuras industriales y cambios el contexto del régimen de electricidad (nuevas tecnologías, políticas, regulación y mercado).

Los cambios principales en el régimen socio-técnico, han sido la reestructuración de la industria eléctrica, en los segmentos de la generación, transmisión, distribución y comercialización. Los segmentos competitivos (generación y comercialización) han sido expuestos a la competencia; los segmentos de monopolio (transmisión y distribución) conservan las características de monopolio natural.

Durante la administración del presidente Bush se creó la Ley de Política Energética (EPact, por sus siglas en inglés) en 1992, la cual reformó sustancialmente la ley (PUHCA, por sus siglas en inglés) de 1935. La ley facilitó a las *non-utilities* incorporarse al mercado mayorista. Asimismo promovió la participación de generadores al por mayor exentos de la regulación PUHCA. Asimismo, facilitó la entrada para nuevos productores de energía que deseaban competir construyendo nuevas centrales [5].

Los principios rectores que motivaron las reformas en la industria eléctrica fueron principalmente ideológicos, políticos, económicos y técnicos. La ideología dominante hacia la liberalización y reestructuración de las industrias. Políticos, así como la búsqueda de la eficiencia económica a través de un cambio estructural. Económicos tales como el aumento del tamaño de los mercados energéticos, motivado por el desarrollo de la capacidad de interconexión de los sistemas eléctricos y gasistas. Técnicos en relación con la disminución del tamaño mínimo eficiente en generación y el desarrollo de tecnologías de información las cuales facilitaron el suministro descentralizado.

El cambio estructural en el periodo promovió el desarrollo de nichos tecnológicos, así como la turbina de gas ciclo combinado, por sus ventajas comparativas; la tecnología gasificación integrada en ciclo combinado; tecnologías complementarias tales como (CCS, por sus siglas en inglés); avances en tecnologías limpias en relación con la energía nuclear y fuentes renovables de energía. La Tabla 4.1 muestra el estado de actuales y potenciales tecnologías limpias.

Estado de la tecnología	Combustibles fósiles	Nuclear	Fuentes renovables
Estado de Investigación	Nobel de tecnologías de separación y confinamiento de CO ₂ (CCS)	Fusión nuclear.	Biocombustibles: pyrolysis. Nuevos materiales para sistemas fotovoltaicos.
Estado de Desarrollo y demostración (D&D)	Algunas tecnologías CCS. Gasificación Integrada Ciclo Combinado GICC; gasificación subterránea del carbón; poli generación y proceso <i>Fischer-Tropsch</i> para la producción de hidrocarburos líquidos.	Reactor de IV generación <i>Pebble-bed</i>	olas y mareas; Biocombustibles: gasificación, ventajas y desventajas, transporte de combustibles y modificación de red.
Temprana comercialización	Algunas tecnologías de gasificación y (CCS), retro adaptación de las viejas calderas a Ultra supercritical (USC, siglas en inglés).	Nuevos reactores de fisión.	Algunas turbinas de viento. Calderas de biomasa. PV, biocombustibles y modificación de la red.
Madurez	Ultra supercritical (USC); separación CO ₂	Reactores de fisión existentes.	Algunas turbinas de viento; energía solar pasiva.

Tabla 4.1 Clasificación de actuales y nuevas tecnologías que pueden contribuir hacia la descarbonización.

Fuente: (Shackley, et al., 2007).

Los avances en comunicaciones y sistemas de información también han hecho posible el desarrollo de nichos tecnológicos, a través de sofisticados sistemas de medición y han facilitado el manejo de sistemas muy complejos con un procesamiento múltiple de datos y el despacho de electricidad, así como la supervisión y control de los flujos eléctricos.

En el contexto del macro nivel este periodo se caracteriza por la globalización y la apertura al mercado eléctrico mundial. Firma de tratados, acuerdos internacionales y globales. Además, los problemas medio ambientales relacionados con el incremento de gases efecto invernadero y la preocupación por el cambio climático global. El apagón en Ohio en el 2003, el cual afectó a nueve Estados de Estados Unidos y una provincia de Canadá [5].

4.2.1. Discusión multinivel

Los resultados del análisis multinivel muestran que la transición en la industria eléctrica, inició desde hace varias décadas. La principal aportación del análisis es que la transición de la industria eléctrica es el resultado de la interacción a largo plazo de los cambios presentados en el régimen socio-técnico y micro nivel, los cuales han sido influenciados por eventos presentados en el entorno o macro nivel, tales como la crisis energética de los 70's, la globalización, la liberalización del mercado eléctrico y los condicionantes medio ambientales principalmente.

Los cambios en el meso nivel, se pueden apreciar a través de la reestructuración y liberalización de la industria eléctrica y la apertura al mercado competitivo de la electricidad. También mediante en una nueva regulación, reglas y la participación de nuevas redes de actores llamados "Productores Independientes de Energía" (PIE). Los mecanismos de planeación interna han sido reemplazados por mecanismos de mercado. Las políticas energéticas y los principios rectores también han sido adaptados hacia un nuevo sistema energético sostenible.

El progreso tecnológico y las políticas enfocadas hacia la diversificación energética han favorecido el desarrollo del micro nivel, mediante avances en nuevas tecnologías tales como la turbina de gas ciclo combinado y la cogeneración la cual benefició la expansión de la producción descentralizada. Las fuentes renovables de energía y la energía nuclear también han jugado un rol importante en este proceso, principalmente por los acuerdos internacionales en relación con la mitigación del cambio climático global.

El resultado del análisis muestra que la combinación de factores presentados en el macro, meso y micro nivel, son el resultado del comienzo de la transición de la industria eléctrica. La transición no fue causada por un solo evento, sino por la interrelación de factores presentados en los tres niveles. Una conclusión respecto a

la dinámica de los cambios en la dinámica del régimen es que fue altamente influenciada por el desarrollo del medio ambiente externo.

El caso de estudio muestra que la teoría de la transición PML es una herramienta conceptual útil para el estudio de la transición de la industria eléctrica, considerando las tres variables seleccionadas en la investigación: formas organizacionales (meso-nivel o régimen socio-técnico), cambio tecnológico (micro-nivel) y preocupaciones humanas (macro-nivel). La Tabla 4.2 resume los principales eventos que condujeron a la transición de la industria eléctrica en el periodo (1970-2009).

Resumen del desarrollo del macro, meso y micro nivel en el periodo (1970-2009)		
Desarrollo Macro nivel	Desarrollo Meso nivel	Desarrollo Micro nivel
Crisis energética (1973-1979) Globalización Condicionantes medio ambientales.	Ley PURPA-1978. Ley de Energía (<i>EPact</i> , 1992). Reestructuración, liberalización y privatización de la industria eléctrica. Participación de Productores Independientes de Energía (PIE). Cambios en el marco regulatorio y normativo. Acuerdos y tratados internacionales. Diseño de políticas energéticas enfocadas a un sector energía sustentable y amigable con el medio ambiente.	Turbina de Gas Ciclo Combinado (TGCC). Cogeneración (<i>CHP</i> , siglas en inglés). Generación distribuida. Fuentes Renovables de Energía (eólica, solar, olas y mareas). Avances en energía de fisión nuclear. Tecnología en captura y almacenamiento de CO ₂ (CCS, siglas en inglés).

Tabla 4.2 Principales eventos en el desarrollo de la industria eléctrica en Estados Unidos (macro, meso y micro nivel).

Resumen y conclusiones parciales

La industria eléctrica en Estados Unidos, se caracterizó por un paradigma estable durante el periodo comprendido entre 1935 y 1978. El modelo de monopolio privado regulado fue la estructura industrial dominante en el periodo. Sin embargo, la crisis energética de los 70's, presionó al gobierno hacia un cambio estructural a través o reforma y a los diferentes actores a buscar alternativas de fuentes de energía. En

este contexto, se considera que el proceso de reestructuración de la industria eléctrica empezó en las últimas décadas; un efecto fue la creación de la ley PURPA en 1978. El cambio estructural promovió la apertura en los segmentos competitivos de la industria (generación y comercialización) y la participación de productores privados. Los segmentos no competitivos (transmisión y distribución) conservan las características de monopolio natural.

De acuerdo con la metodología Perspectiva Multinivel se puede observar que los principales cambios se han reflejado en el marco institucional, regulatorio y normativo; formación de redes de actores con nuevos roles, separación de actividades de la cadena productiva e introducción de la competencia lo cual ha facilitado las oportunidades empresariales.

El desarrollo de nuevas tecnologías hacen parte de este proceso, especialmente el despliegue del nicho tecnológico de la turbina de gas ciclo combinado que contribuyó a la rápida expansión descentralizada; además la diversificación energética mediante el despliegue de las fuentes renovables de energía y los avances en sistemas sofisticados de información y comunicaciones. Asimismo, la sustitución y repotenciación de tecnologías, las cuales han sido reemplazadas por las existentes; seguido de ajustes políticos, económicos y cambios en el sistema (infraestructura, regulación, políticas, mercado y usos).

Los resultados muestran que los problemas medio ambientales, especialmente aquellos relacionados con las emisiones de gases efecto invernadero, el cambio climático global también forman parte del proceso de la transición. Sin embargo no representan los principales conductores del cambio, las preocupaciones institucionales, políticas y económicas son relevantes. Asimismo, el cambio tecnológico es una variable significativa que ha marcado y marcará la pauta ampliamente en el desarrollo de la industria eléctrica en las próximas décadas.

Referencias

- [1] Rip, A; Kemp, R (1998). Technological Change. In: Rayner, S; Malone, E.L. (Eds.), **Human Choice and Climate Change**, vol. 2. Battelle Press, Columbus, OH, pp. 327–399.
- [2] Geels, F (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. **Research Policy** 31 (8/9); pp. 1257–1274.
- [3] Geels, F (2007a). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960-2004). **Energy Policy**, 35, pp1025-1037.
- [4] Sine Wesley, Robert David (2003). Environmental jolts, institutional change and the creation of entrepreneurial opportunity in The US electric power industry. **Research Policy** 32, pp.185-207.
- [5] Díaz Alejandro (2005). **Experiencias internacionales en le desregulación eléctrica y el sector eléctrico en México**. Primera edición, Tijuana, Baja California: El Colegio de la Frontera Norte: Plaza y Valdés, México 258 p.
- [6] Joskow Paul (2000). Desregulation and regulatory reform in the U. S. Electric power sector. Febrero. **Massachusetts Institute Technology**. Estados Unidos.
- [7] Viqueira Jacinto (1997). "Las tendencias mundiales a la desintegración de los sistemas eléctricos". En: **La apertura externa en el sector eléctrico Mexicano**, Campos Aragón Leticia, Quintanilla Martínez Juan (eds). UNAM- México, DF.
- [8] Viqueira Jacinto (2002). "Experiencias internacionales de la reforma de la industria eléctrica: El caso de Estados Unidos y Europa", en: **La industria eléctrica Mexicana en el Umbral del siglo XIX. Experiencias y propuestas de reestructuración**. (Coordinador) Rodríguez V. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [9] Shackley Simon, Green Ken (2007). A conceptual framework for exploring transitions to decarbonised energy systems in the United Kingdom. **Energy** 32: 221:236.
- [10] Rob Raven (2007). Co-evolution of waste and electricity regimes: Multi-regime dynamics in the Netherlands (1969–2003). **Energy Policy** 35:2197–2208

Capítulo 5 Estudio de la Industria Eléctrica Mexicana (1970-2009)

CAPÍTULO 5

El estudio de los capítulos anteriores (cambio tecnológico, formas organizacionales y preocupaciones humanas) y la aplicación de la teoría conceptual “Análisis Multinivel”, forman la base fundamental para el desarrollo del presente capítulo. El objetivo es analizar la dinámica de la transición de la industria eléctrica mexicana en los periodos seleccionados (1970-1992) y (1993-2009).

Para alcanzar el objetivo propuesto, el capítulo empieza con una descripción de la evolución histórica de la industria eléctrica para entrar en contexto. Posteriormente se aplica la teoría Perspectiva Multinivel en el periodo anterior a la reforma (1970-1992) y el posterior (1993-2009), para conocer las principales causas y efectos que originaron la transición en la industria eléctrica y la incidencia en su desarrollo. Finalmente se presenta la tendencia esperada de la industria eléctrica mexicana en las próximas décadas, con base en la relación del cambio tecnológico, el modelo de organización industrial y las preocupaciones humanas.

5.1. Condiciones de la Industria Eléctrica antes de la reforma (1970-1992)

En este inciso se presenta la evolución de la industria eléctrica mexicana, con el objetivo de tener una visión clara del desarrollo histórico y conocer los principales eventos que han marcado pautas en su avance.

La industria eléctrica en México inició a fines del siglo XIX, igualmente que en otros países en el mundo. En las tempranas décadas del siglo XIX, el desarrollo de la industria estuvo a cargo de dos compañías privadas la *Mexican Light and Power Company* de Canadá y la *American and Foreign Power Company* de Estados Unidos, las cuales solamente abastecían al 50% de la población. En el año 1937 se creó la compañía Comisión Federal de Electricidad, de propiedad del Estado e inicia una etapa de expansión acelerada de electrificación basada en la inversión pública e inversión privada. La capacidad instalada en el año 1937 fue de 629 MW; el 77.7%

correspondió a centrales hidroeléctricas y el 22.3% a centrales termoeléctricas; la energía eléctrica generada fue 2,110 millones de kW y el consumo de energía eléctrica per-cápita fue de 109 kWh [1]. En el periodo 1937 y 1960, el desarrollo de la industria eléctrica estuvo a cargo de la Comisión Federal de Electricidad y compañías extranjeras. Las funciones fundamentales de la CFE fueron la operación y construcción de plantas termoeléctricas e hidroeléctricas, la operación de las líneas de transmisión correspondientes y venta en bloque de la energía generada a las compañías privadas. Además, el Estado adoptó una política hacia la inversión, solamente las zonas urbanas tenían acceso al servicio de electricidad. En el año 1960 el Presidente Adolfo López Mateos decretó la nacionalización de la industria eléctrica y a partir de entonces el servicio público de electricidad es responsabilidad del Estado por mandato constitucional. El abastecimiento de electricidad del país en 1960 se dio mediante diversos sistemas aislados; con una capacidad instalada del orden de 3,021 MW de los cuales CFE aportaba un 54%, la compañía *Mexican Light Company Limited* un 25%, la compañía *The American and Foreign Power Company* 12% y un 9% otras compañías [3]. Además, únicamente el 44% de la población contaba con acceso a la electricidad, a pesar de los esfuerzos en generación, electrificación y la necesidad de incrementar la oferta de energía eléctrica que el progreso del país requería. Esta situación presionó para que el Presidente Adolfo López Mateos, tomara la decisión de nacionalizar la industria eléctrica mediante la adquisición de las acciones de las empresas concesionarias y decretó la exclusividad de la nación en la generación, conducción, transformación, distribución y abastecimiento de energía eléctrica, que tenga por objeto la prestación de servicio público, mediante la adición de un párrafo sexto al artículo constitucional, publicado en el diario oficial de la federación del 29 de diciembre de 1960 [2,4].

Un aspecto importante de este proceso de nacionalización fue la unificación de frecuencias eléctrica en todo el país (60 ciclos por segundo). Además, el Estado adquirió responsabilidades y compromisos, tales como promover el desarrollo económico, el beneficio social, el empleo y argumentos para considerar la electricidad como un servicio público, entre otros aspectos. Paralelamente al

desarrollo de la industria eléctrica, se creó la industria nacional de equipamiento eléctrico y la realización de programas de apoyo a la industrialización del país, a la electrificación de los sistemas de riego, a la promoción de empleo, entre otros. Además, el gobierno propuso una política tarifaria que se caracterizó por elevados subsidios básicamente para los sectores agrícola y residencial [5].

En el año 1971 se declara de utilidad pública la unificación de la frecuencia eléctrica a 60 ciclos y en el año 1975 se promulga la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y el servicio público queda a cargo de una sola compañía: Comisión Federal de Electricidad. A partir entonces, hasta fines de los 80's, el financiamiento de la expansión del servicio eléctrico se realizó con recursos del gobierno federal, créditos bilaterales, préstamos de la banca internacional y créditos de los proveedores. En 1976 concluyen los trabajos de unificación de frecuencias. La década de los 70's se caracterizó por el inicio de la operación de plantas hidroeléctricas de mayor capacidad, además de otras plantas termoeléctricas. También se dio apertura a la generación de electricidad con base en plantas turbo-gas y combustión interna. En los 80's, aumenta sustancialmente la cobertura en el país, debido al desarrollo de la Compañía Comisión Federal de Electricidad, La cual sobresale por el aumento de diversos proyectos de ingeniería, impulsados por la política energética, que se dirigió hacia la generación termoeléctrica dando inicio a la operación de plantas carboeléctricas. De 1960 a 1988 el financiamiento del sector eléctrico mexicano, se realizó con recursos del gobierno federal, créditos bilaterales, préstamos del Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo y créditos de los proveedores. A principio de los 90's, las restricciones presupuestales debidas a las políticas para el control de la inflación y las nuevas condiciones de crédito estipuladas por los organismos financieros internacionales obligaron a la Comisión Federal de Electricidad a recurrir al mercado internacional de capitales y al financiamiento privado para el desarrollo de nuevos proyectos de generación. De esta manera se dio apertura a la construcción de plantas con nuevos esquemas de financiamiento denominados BLT (Built, Lease, Transfer) y CAT (Construir, Arrendar y Transferir). Además, inicio la operación de la primera central nucleoeléctrica, Laguna Verde. La

Tabla 5.1 resume los eventos más importantes antes de la reforma a la Ley de 1992 [1,6-8].

Año	Eventos	Objetivo
1887 - 1911	Se organizan más de 199 empresas de luz y fuerza motriz (principalmente en los estados de Puebla, Hidalgo, Guanajuato, San Luis Potosí, Nuevo León, Jalisco, México). En 1888 inicia actividades la compañía canadiense <i>The Mexican Light & Power Company</i> , Ltda. Incurción gradual y sostenida de capital extranjero (anglocanadiense, estadounidense y alemán).	Comercializar energía eléctrica en las poblaciones y capitales de los estados. Prestar el servicio de energía eléctrica en el Valle de México. Participar del mercado mexicano de la electricidad.
1914	Creación del Sindicato Mexicano de Electricistas.	Velar por los derechos laborales de los empleados en la industria eléctrica.
1920	Creación de la Comisión Nacional de Fuerza Motriz.	Dar orden a la industria eléctrica.
1926	Se promulga el Código Nacional Eléctrico.	Dar al Estado una herramienta de regulación sobre las concesiones y de esta forma poder establecer los requisitos técnicos de las instalaciones eléctricas
1928	Creación de la compañía American & Foreign Power	Adquirir empresas ya establecidas, integrándolas en un solo conjunto.
1937	Se crea la Compañía Comisión Federal de Electricidad (CFE).	Generar, transmitir y distribuir energía eléctrica con una visión nacional. Expansión de electrificación con base en la inversión pública.
1938 - 1959	Desarrollo del sector eléctrico mexicano a cargo de Comisión Federal de Electricidad y dos compañías extranjeras: <i>Mexican Light & Power Company</i> y <i>American & Foreign Power Company</i> . En 1957 se crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear.	Contribuir con el desarrollo del sistema eléctrico nacional. La Comisión Nacional de Energía Nuclear constituyó otro ente regulador. En 1972 se transformó en el Instituto Nacional de Energía Nuclear.
1960	Nacionalización de la industria eléctrica.	Artículo 27: "Corresponde exclusivamente a la nación generar, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público".
1974	Disolución y liquidación de las compañías: Luz y Fuerza del Centro S. A.; Compañía Luz y Fuerza Eléctrica de Toluca S. A.; Compañía Luz y Fuerza de Pachuca S. A. y Compañía Meridional de Fuerza S. A.	Otorgar facultades a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para adquirir de las compañías la titularidad de sus bienes y derechos.
1975	Se publica la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica. La Comisión Federal de Electricidad asume el monopolio integral del sector eléctrico. Se crea el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).	Establecer la prestación de servicio público de energía eléctrica que corresponde a la nación a cargo de CFE. Realizar y promover la investigación científica, experimental y tecnológica para el desarrollo de la industria eléctrica.

Año	Eventos	Objetivo
1979	Se publica la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en materia nuclear.	Creación de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardia (CNSNS). Garantizar la seguridad y condiciones de protección a la sociedad.
1982	Se crea la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal SEMIP (1982-1994). Inicia una crisis económica en el país, atribuible al modelo de industrialización y excesos de gasto público para sostenerlo.	Delimitar las áreas de los energéticos, la minería y la industria básica estratégica.
1985	Se crea la Comisión Nacional para el ahorro de la Energía (CONAE).	Promover y coordinar estrategias y lineamientos de acción relativos al ahorro y uso eficiente de energía.
1989	El Presidente Carlos Salinas emite el Plan de Modernización Energética 1989 – 1994.	Establecer las líneas generales para integrar la industria eléctrica al proyecto de modernización económica del país
	Se establece una reforma a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.	El objetivo de la Ley fue disolver y liquidar las compañías de participación estatal mayoritaria y asociadas : Luz y Fuerza de Pachuca, S.A., Compañía Meridional de Fuerza, S.A., y Compañía de Luz y Fuerza Eléctrica de Toluca, S.A.
1990	Se crea el Fideicomiso del Programa de Apoyo de Ahorro de Energía Eléctrica. Inicia operaciones la Unidad 1 de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (Estado de Veracruz).	Promover el uso racional de la energía eléctrica en la industria, agricultura y servicios. Incrementar oferta de energía eléctrica.

Tabla 5.1 Eventos antes de la reforma a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica 1992

Fuente: Diario Oficial de la Federación DOF (1917; 1937; 1960; 1975; 1979; 1982); Díaz (2004; 2005).

Reforma a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica 1992

La apertura del sub-sector eléctrico a la participación privada inicia con los acuerdos alcanzados en las negociaciones del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) en 1991; para hacerla compatible con dicho tratado. Las negociaciones terminaron en el primer trimestre de 1992. En 1993 se pactaron los acuerdos entre los países y el 1 de enero de 1994 entró en vigor dicho tratado [1].

El 23 de diciembre de 1992 el Congreso de la Unión aprobó la iniciativa del presidente Salinas, el decreto que reforma, deroga y adiciona diversas disposiciones a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), para incorporar a la inversión privada en la generación de electricidad en actividades que no constituyen servicio público, como complemento de los recursos públicos destinados al

crecimiento del Sector Eléctrico Nacional con el fin de satisfacer el crecimiento de la demanda y liberar recursos fiscales para su aplicación en proyectos sociales. Asimismo, se modificaron las leyes secundarias establecidas en los artículos 27 y 28 de la Constitución Nacional [15]. En congruencia con la reforma estructural el titular del poder ejecutivo federal expidió el reglamento de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 31 de mayo de 1993 con la finalidad de permitir al sector privado nacional y extranjero participar en el segmento de la generación eléctrica bajo seis modalidades que no constituyen servicio público: 1) auto suministro 2) cogeneración 3) pequeña producción 4) producción independiente 5) importación 6) exportación [15]. La Comisión Federal de Electricidad, encargada de la planeación y desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional tiene el control de las actividades de transmisión, transformación, distribución y venta de electricidad [16].

La reforma a la Ley de Servicio Público, se considera como una apertura silenciosa o una liberalización parcial del sector; los cambios en el marco regulatorio y normativo afectaron el modelo de organización industrial, pasando de un modelo de monopolio público regulado o sistema de control central que había prevalecido desde la nacionalización en 1960, a un modelo de comprador único adoptado en 1992 y vigente. La integración vertical se ha mantenido en gran parte; la nueva estructura permite a los generadores privados llamados "Productores Independientes de Energía" PIE generar la nueva capacidad adicional y vender la electricidad únicamente a la red eléctrica nacional cuyo manejo está a cargo de la Comisión Federal de Electricidad, CFE [17]. El modelo de comprador único tiene tres componentes: 1) participación del sector privado generalmente en el segmento de la generación; 2) concesión del estatus de comprador único a la compañía de propiedad del Estado en orden de comprar electricidad venida del sector privado; 3) creación del mercado competitivo a través de licitación pública. El sector privado puede participar en las licitaciones bajo la modalidad de productor independiente [18].

5.2. Condiciones de la industria eléctrica después de la reforma (1993-2009)

La reforma de 1992 causó cambios en el medio ambiente institucional interno y externo, los cuales se muestran a través de la creación y reestructuración de instituciones que regulan el sector. Entre ellas se pueden mencionar la Secretaría de Energía, la Comisión Reguladora de Energía, la Comisión Nacional de Ahorro y Uso de la Energía, entre otras instancias; además las compañías de propiedad del Estado Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro (Disuelta en el año 2009) [19].

Evolución de las tecnologías de generación eléctrica

México es un país que cuenta con un gran potencial de recursos para la generación de energía eléctrica, lo cual ha permitido que las políticas energéticas se dirijan hacia la diversificación energética mediante la implementación de diversos tipos de tecnologías que incluyen la hidroelectricidad, viento, geotermia, nuclear, carbón, petróleo, gas, biomasa, entre otras. Sin embargo, a partir de los 90's la participación en generación eléctrica se ha basado principalmente en plantas ciclo combinado gas natural, disminuyendo la participación de plantas térmicas basadas en combustóleo. Asimismo, se ha disminuido la participación de plantas hidroeléctricas y geotérmicas en el total de la generación [19-20].

En el 2010, la capacidad instalada de generación fue de 51,571 MW de los cuales corresponden 39,664 MW a Comisión Federal de Electricidad y 11,907 MW a Productores Independientes de Energía [16]. La Tabla 5.2 muestra un panorama de información básica acerca de la evolución de la capacidad instalada, composición tecnológica y generación bruta antes y después de la reforma (1990-2010).

	1990	2000	2010
<i>Capacidad instalada (MW)</i>			
<i>Térmica</i>			
Ciclo Combinado CFE	1,667	2,914	6,115
Ciclo Combinado PIE		484	11,907
Otras térmicas*	14,432	20,860	19,959
Nuclear	675	1,365	1,365
Renovables**	8,505	10,247	12,225
Total	25,279	35,870	51,571
<i>Composición tecnológica (%)</i>			
<i>Térmica</i>	64	68	73
Nuclear	3	4	4
Renovables	33	28	23
<i>Generación bruta (GWh)</i>			
Ciclo Combinado CFE	7,487	16,417	37,238
Ciclo Combinado PIE		1,295	77,995
Otras térmicas*	75,434	125,835	78,927
Nuclear	2,937	8,221	8,610
Renovables**	28,463	38,522	33,773
Total	114,321	190,290	236,543

* Incluye carbón, combustóleo/gas, turbogas, combustión interna y dual.

** Incluye hidro, geotermia y eólica.

Tabla 5.2 Evolución de la capacidad instalada (MW) y generación bruta (GWh) en el sector eléctrico Mexicano (1990-2010).

Fuente: Comisión Federal de Electricidad CFE (1991-2010); Secretaría de Energía SENER, (2001-2010).

El sector eléctrico mexicano generó durante el año 2010 la cantidad de 236,543 GWh de electricidad. La principal contribución proviene de centrales térmicas basadas en petróleo, gas o carbón, que representan 82% de la generación; 14% proviene de centrales hidroeléctricas, geotermoeléctricas y eoléticas y un 4% proviene de la central nucleoeléctrica Laguna Verde. De 1999 a 2009, la generación térmica de centrales ciclo combinado se incrementó de 8.6% a 48.4% [30]. En los próximos años podría incrementarse la participación de energía renovable en la generación eléctrica, destacando el potencial que se tiene en el país. En 2009 se crea el proyecto “Corredor eólico del Istmo de Tehuantepec”, con el objetivo de convertir al estado de Oaxaca en productor de energía eólica [31]. Además, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y la Transición Energética, la cual tiene como objetivo incrementar la diversidad de energía renovable, crear mecanismos de incentivos y establecer nuevas funciones para las instituciones [32]. En la figura 5.1 se presenta la generación eléctrica bruta (1990 a 2010).

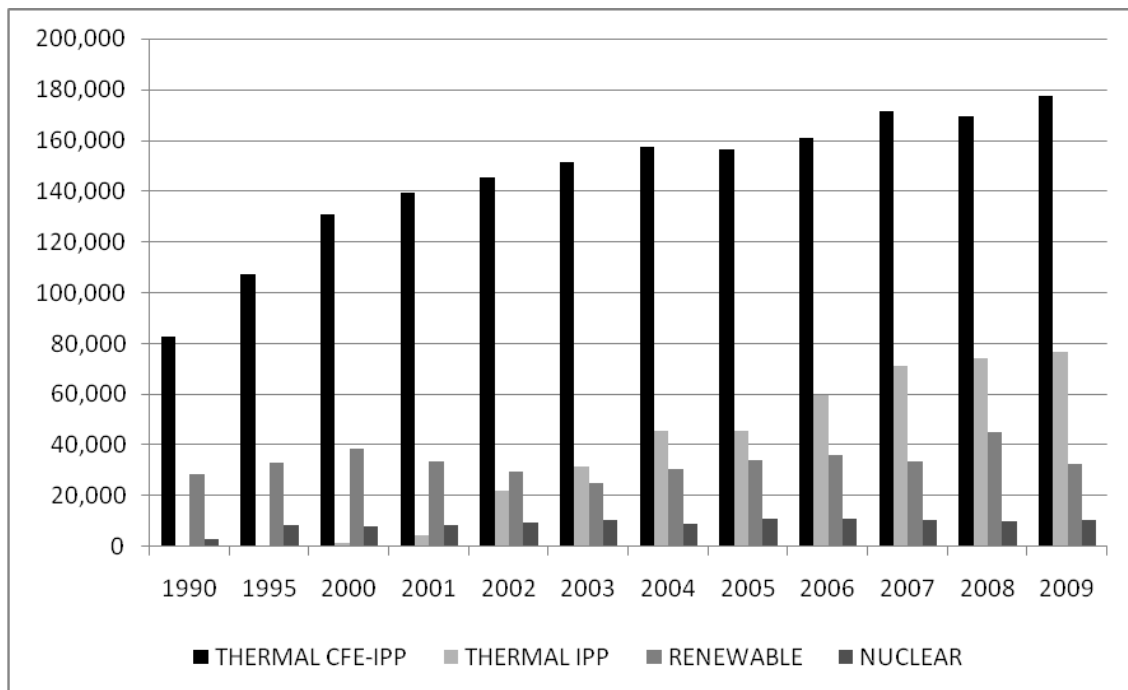


Figura 5.1 Generación eléctrica bruta en México desde 1990 a 2009 (GWh).
Fuente: Secretaría de Energía, SENER (2001-2010).

Evolución de las modalidades de generación eléctrica

En México la ley de Servicio Público de Energía Eléctrica de 1992, ha permitido la generación privada bajo seis modalidades, para ser vendida a la compañía propiedad del estado Comisión Federal de Electricidad que actúa como comprador único, según lo establece el Artículo 36, Fracción III, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Aunque la ley fue aprobada en 1992, la participación de generadores privados inició en el año 2000 (véase Tabla 5.2). En el periodo 2002 – 2009 la producción total de energía bajo las distintas modalidades fue de 648,832.80 GWh de los cuales 66.04% corresponde a Producción independiente; 15.41% autoabastecimiento, 10.74% Cogeneración; 6.24% Exportación; 1.56% Usos Propios Continuos y Pequeña Producción 0% (aunque hubo el potencial para la generación), ver figura 5.2.

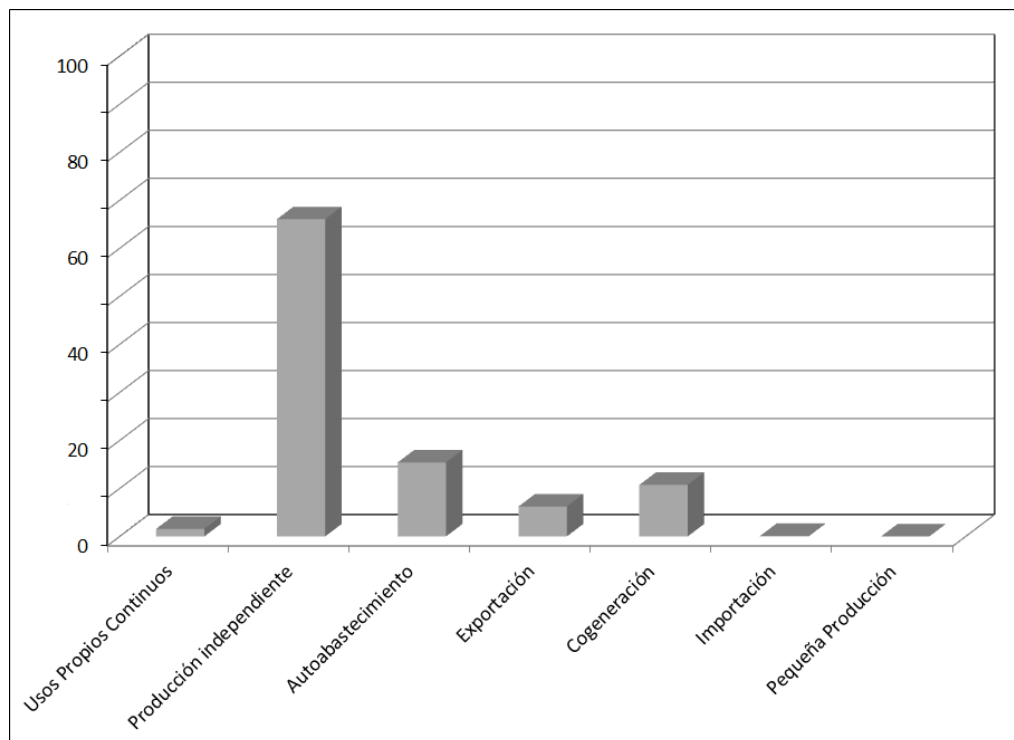


Figura 5.2 Participación de las distintas modalidades en la producción total de energía eléctrica en México de 2002 a 2009 (%).

Fuente: Secretaría de Energía SENER (2001-2010).

Producción Independiente de Energía: en el periodo de estudio la modalidad Producción Independiente de Energía, muestra una tendencia creciente, pasando de 58% en 2002 a 70.2% en el 2009. A partir de la reforma de 1992, el proceso de licitación fue lento y el primer proyecto realizado por los Productores Independientes de Energía finalizó en 1997. Sin embargo, esta situación cambió en 1998, debido a que la Comisión Federal de Electricidad aceleró el proceso de licitación y aumentó la participación de PIE a 3.7 GWh [33].

De 1997 a 2009 la Comisión Reguladora de Energía ha otorgado 24 permisos: 22 para centrales de ciclo combinado y dos para centrales eólicas. De éstas, en 2009 operaban 21 centrales de ciclo combinado con una capacidad autorizada de 12,653 MW. En 2007 inició la operación de la Central Tamazunchale y al cierre de 2009 se encontraba en construcción la Central Norte, en Durango. Los permisos autorizados bajo esta modalidad, operan con la tecnología de ciclo combinado gas natural y con

base en la Ley de 1992, la energía está destinada exclusivamente para la venta a la Comisión Federal de Electricidad [30].

Auto- suministro: en el periodo (2002 a 2006) la modalidad auto-suministro representó en promedio 20% del total generado, con una tendencia creciente. Sin embargo, desde 2007 a 2009 la generación disminuyó 11.7% en promedio, sin mostrar signos de recuperación. En 2009 se registraron 25 nuevos permisos alcanzando un total de 598 permisos administrados, que corresponden a Pemex, sector industrial, comercio y servicios. Se observa que la capacidad autorizada por permisos ha cambiado a través del tiempo. A partir de la reforma de 1992, la capacidad autorizada promedio por permiso otorgado fue de 65.5 MW (año 1999). Aunque en los últimos años, la capacidad promedio por permiso ha disminuido en 7.0 MW. El marco normativo establecido en la Ley de 1992, permite la asociación de empresas y estados o municipios con fines de autoabastecimiento. Sin embargo, existen algunas barreras regulatorias y en las condiciones del mercado para aprovechar los excedentes de energía cuando son superiores a 20MW, probablemente han sido factores para la disminución observada [30].

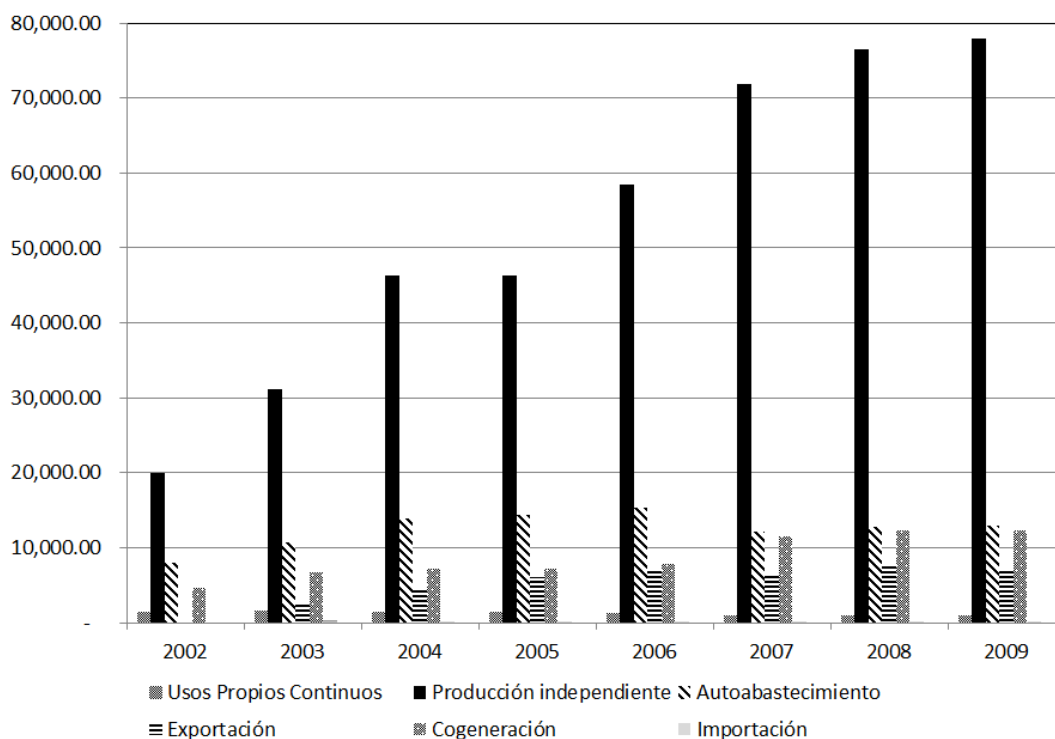
Cogeneración: la cogeneración representa en promedio 10.74% del total generado. Pasando de 4,584.80 GWh en 2002 a 12,343 GWh en 2009. Por definición y por aspectos termodinámicos, los procesos de cogeneración son principalmente aplicables en procesos industriales, tal es el caso de la industria petrolera, petroquímica, azucarera, química, siderúrgica, vidrio, alimentos, cerveza, entre otras. La mayor capacidad autorizada se concentra en Pemex con 2,032 MW y el sector industrial 1,152 MW.

Exportación e importación: La energía exportada representa en promedio 6.24% del total generado. En 2003 iniciaron las actividades de exportación con 438GWh, mantuvo una tendencia leve hasta 2006. La importación de energía de 2003 a 2009 en promedio fue 55GWh. De 2007 a 2009 no hubo una variación notable y la energía exportada fue 6,848.67 GWh en promedio. En cuanto a la modalidad de importación

ha sido poco representativa en comparación con otras modalidades. En 2009 la energía de importación por particulares fue de 39 GWh; asimismo se encontraban siete permisos vigentes con una capacidad autorizada de 3,381MW de los cuales solamente el 39.3% correspondiente a cuatro permisos estaban en operación, también se otorgó un nuevo permiso en el Estado de Baja California para importar de 6 MW. Respecto a otros permisos existe una elevada incertidumbre en cuanto a su realización [30,34].

Pequeña producción: Tal modalidad fue integrada con el fin de promover el uso de fuentes de energía renovables. Sin embargo, la reforma no ha dado ningún resultado en términos de su aprovechamiento; en el periodo de estudio su participación fue nula. Se considera que hace falta adoptar el marco institucional y regulatorio y crear incentivos económicos y fiscales para promover su desarrollo [30].

Usos Propios Continuos: en años recientes se ha registrado una disminución en la generación de energía eléctrica para usos propios, esto se debe a que a partir de la reforma a la Ley de 1992, dejaron de otorgarse permisos y actualmente sólo se reportan los permisos que se mantienen en operación, los cuales corresponden a los de mayor antigüedad, cuyos procesos consisten en generación de electricidad utilizando combustóleo y diesel, así como bagazo de caña, concentrados en las industrias azucarera, papel, minería y textil, entre otras. En 2009 la participación de los energéticos primarios (gas natural, combustóleo y diesel) son considerados en los permisos vigentes y representan el 94% mientras que, la energía eólica tuvo una escasa participación de 0.3%. La figura 5.3 muestra la evolución de la generación eléctrica en México según cada una de las modalidades aprobadas por la Ley de 1992, incluyendo Usos Propios Continuos (UPC).



Nota: La Pequeña Producción no generó electricidad en el periodo analizado.

Figura 5.3 Evolución de la generación eléctrica en México con base en las seis modalidades aprobadas por la Ley de 1992 desde 2002 a 2009 (GWh).
 Fuente: (Secretaría de Energía, SENER 2001-2010).

Propuestas de Reforma estructural

En el año 1999 el Presidente Ernesto Zedillo presentó al Congreso de la Unión, la propuesta de reforma estructural de la industria eléctrica similar al modelo Británico, que comprende una transformación total al marco jurídico constitucional, principalmente la modificación de los artículos 27 y 28 de la Constitución Nacional, para lograr una transformación profunda en la estructura del mercado de energía eléctrica, como primer intento para el cambio. Tal propuesta no fue aprobada por el Congreso de la Unión, los cuales fueron divididos por el enfoque de las elecciones presidenciales y las repercusiones políticas contenidas [30].

En el año 2002 el Presidente Vicente Fox presenta una nueva iniciativa de reforma al Congreso de la Unión con el objetivo de facilitar la inversión privada eliminando las obligaciones de servicio público el suministro de electricidad a los grandes consumidores de energía, promoviendo la inversión privada en la generación para satisfacer la demanda de tales consumidores. La propuesta mantiene la premisa de la no privatización de los activos de las compañías públicas y promueve la apertura de los segmentos de generación y comercialización al capital privado y acceso a las redes eléctricas. Además, propone la transformación de las compañías de propiedad del estado a compañías públicas independientes para operar en el mercado *pool* energía y en el sistema de transmisión eléctrica. La propuesta fue rechazada debido a argumentos contradictorios y no hubo consenso entre los diferentes partidos políticos que integran el Congreso [30]. La Tabla 5.3 resume los eventos principales posteriores a la reforma de 1992.

Año	Políticas y eventos	Objetivo
1992	Reforma a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica LSPEE-1992. Esta reforma forma parte del plan de Modernización Energética 1989 – 1994.	Reforma a los artículos 27 y 28 de la Constitución Nacional. Incorporar la inversión privada como complemento de los recursos públicos destinados al crecimiento del sector eléctrico. Integrar la industria eléctrica al proyecto de modernización energética del país.
1993	Se crea el Reglamento de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.	Se establecen seis modalidades que no constituyen servicio público: auto suministro, cogeneración, pequeña producción, producción independiente, exportación e importación
	Se crea la Comisión Reguladora de Energía (CRE).	Resolver asuntos de regulación en materia de energía eléctrica.
	Firma de Tratado de Libre Comercio de América del Norte (México, Estados Unidos y Canadá).	Apertura de las industrias petroquímica y electricidad, y compras gubernamentales.
1994	Se crea la Secretaría de Energía (SENER), en remplazo de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP). Cambio de razón social: SEMIP a SENER.	Conducir la política energética del país. Prestar el servicio público que venían ofreciendo las compañías en disolución.
	Se crea la Compañía Luz y Fuerza del Centro (LFC)	Ofrecer el servicio público de electricidad en la zona geográfica (Ciudad de México, algunos estados de México, Morelos, Hidalgo y Puebla).
	Desregulación de la industria de gas natural	Otorgar permiso al sector privado para construir, operar y disponer de sistemas de transporte, almacenamiento y distribución, y participar en el mercado de gas natural.

Año	Políticas y eventos	Objetivo
1995	Expedición del reglamento de gas natural	Regular las ventas de primera mano del gas natural y definir los lineamientos para las empresas privadas en actividades relacionadas al gas natural
	Se expide la Ley de la Comisión Reguladora de Energía (CRE).	Facilitar la inversión privada en el sector energético (gas y electricidad); solucionar los conflictos entre sectores públicos y privados. Promover el desarrollo eficiente de las industrias eléctricas, de gas natural y de gas licuado del petróleo.
1996	Se crea la Unidad de Promoción de Inversiones (UPI).	Atender al sector privado para gestionar sus iniciativas y proyectos de generación de electricidad, transporte, distribución y almacenamiento de gas natural, así como proyectos en la industria petroquímica no básica.
1998	Se publica el reglamento a la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica en materia de aportaciones.	Ampliar la participación privada en obra civil e instalación eléctrica para parques industriales, centros comerciales y desarrollos turísticos.
1999	Propuesta de reforma a la ley de Servicio Público de Energía Eléctrica por el presidente Ernesto Zedillo (1994-2000).	Reformar los artículos 27 y 28 de la Constitución Política. No fue aprobada por el Congreso de la Unión.
	Se inicia la reestructuración interna de Comisión Federal de Electricidad, mediante el Programa de Transformación Corporativa	Se crean 20 divisiones de negocios virtuales en las divisiones de generación.
2001	Enmienda al Reglamento Ley Servicio Público Energía Eléctrica 1993.	Eliminar restricciones a la producción de excedentes de electricidad por parte de auto-abastecedores y cogeneradores y permitir la venta a CFE sin licitación.
2002	Propuesta de Reforma a ley de Servicio Público de Energía Eléctrica por el presidente Vicente Fox (2000-2006).	Reformar los artículos 27 y 28 de la Constitución Política. No fue aprobada por el Congreso de la Unión.
2009	Decreto de extinción de la Compañía Luz y Fuerza del Centro.	Solucionar la problemática financiera y administrativa de dicha Compañía.

Tabla 5.3 Eventos posteriores al cambio estructural en 1992.

Fuente: Diario Oficial de la Federación DOF (1994; 1995; 1998; 2009); Secretaría de Energía SENER (2010b).

Resumen y análisis multinivel

Entorno socio-técnico: La industria eléctrica en México, se ha visto afectada por eventos presentados en el entorno, tales como el endeudamiento externo, además de las negociaciones y compromisos con organismos financieros internacionales. Todos estos factores limitaron el gasto público para el desarrollo del sector. A lo anterior se suman los cambios tecnológicos, la ideología dominante del neoliberalismo y la inserción del país en el proceso mundial de la globalización. Este escenario presionó al ejecutivo federal a adoptar la reforma a la Ley de Servicio

Público de Energía Eléctrica de 1992, la cual se considera una liberalización parcial y el inicio de la transición.

Meso nivel o régimen socio-técnico: El análisis muestra que la reforma de 1992, causó cambios en el modelo de organización industrial, de un modelo de monopolio a un modelo de comprador único. Además, el marco regulatorio y normativo fue adaptado en todas las instancias relacionadas. Sin embargo, la reforma no generó garantías para que las empresas existentes de propiedad del Estado se consolidaran. Por ejemplo, la extinción en 2009 de la compañía de la segunda compañía más importante de propiedad del Estado Luz y Fuerza del Centro, puede considerarse una falla de la misma reforma, lo cual debería tomarse en cuenta para la sostenibilidad de los principales actores en el mercado. Esta situación puede mostrar la necesidad de hacer cambios en materia legal, así como en la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica de 1992, en las funciones de la Secretaría de Energía encargada de la política energética y en la Comisión Reguladora de Energía que reglamenta el sector y en la Ley Orgánica de la Comisión Federal de Electricidad. Se requiere reestructurar el marco jurídico e institucional, asimismo disminuir la incertidumbre que se presenta en algunas modalidades para garantizar las condiciones a los actores.

La reforma impulsó seis modalidades de generación eléctrica, de las cuales la Producción Independiente de Energía ha mostrado el mayor dinamismo en cuanto a capacidad instalada, generación y permisos otorgados se refiere, en comparación con las otras modalidades de generación. Esta modalidad muestra una tendencia creciente en el periodo 2002 - 2009, ver figura 5.3. De acuerdo con datos publicados por la Secretaría de Energía, la Comisión Federal de Electricidad, la Comisión Reguladora de Energía y el contenido de la Ley de Servicio Público y su Reglamento, se puede afirmar que los Productores Independientes de Energía se han beneficiado con la reforma, debido principalmente a su vinculación directa con los planes de expansión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y a los esquemas de financiamiento que en esta modalidad se aplican. La expansión de la oferta de

energía eléctrica bajo esta modalidad, se ha llevado a cabo, principalmente mediante centrales con tecnología de ciclo combinado, las cuales presentan una mayor eficiencia y menor impacto ambiental, entre otras ventajas, comparada con otras tecnologías fósiles. Aunque la participación de los Productores Independientes presenta una tendencia creciente en el mercado eléctrico mexicano, en el largo plazo podría verse afectada la oferta debido a la volatilidad del precio del gas natural, el cual se importa, asimismo, se podría poner en riesgo la confiabilidad del sistema.

Respecto a las modalidades de autoabastecimiento y cogeneración, la estructura de la capacidad autorizada por permisos ha cambiado a través del tiempo. En el 2009 el autoabastecimiento registró un incremento, que se refleja en 25 nuevos permisos. Sin embargo, su crecimiento ha sido lento, esto podría atribuirse al monopolio que mantiene el estado en materia de electricidad y a las limitaciones en el marco regulatorio vigente, que no permite la venta de los excedentes de electricidad directamente al mercado de consumo, por lo tanto desde la perspectiva de inversión privada no representan beneficio.

Las modalidades de pequeña producción y el autoabastecimiento deberían ser promovidas por el gobierno a través de incentivos para el abastecimiento de pequeñas comunidades y zonas rurales, aprovechando el potencial que tiene México en energía renovable (eólica, solar, geotermia).

En las modalidades de exportación e importación, su participación en el tiempo ha sido poco representativa y en los últimos los permisos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía presentan incertidumbre para su realización. Esto podría deberse a que el marco institucional vigente no beneficia a la inversión privada. Asimismo, en el caso de los permisos en la modalidad de usos propios continuos, se ha registrado una disminución en la generación eléctrica, debido a que a partir de la reforma de 1992, dejaron de otorgarse permisos y actualmente sólo se reportan los de mayor antigüedad que están en operación.

Gobiernos posteriores han presentado nuevas propuestas a la reforma, en 1999 y 2002 al Honorable Congreso de la Unión, con la finalidad de avanzar hacia un modelo de mercado competitivo, de manera similar a otros países de América Latina (Colombia, Argentina y Brasil), sin embargo dichas reformas fueron rechazadas.

Micro nivel o nicho tecnológico: la reforma ha facilitado la participación de productores independientes de energía, los cuales su mayor participación ha sido mediante plantas ciclo combinado, aprovechando sus ventajas competitivas frente a otras fuentes fósiles. Además, de la mezcla de tecnologías limpias que incluyen la energía nuclear y renovables, con base en la política energética de alcanzar un sector energético más sustentable.

En suma la aplicación de la teoría Perspectiva Multinivel facilitó identificar que la transición en la industria eléctrica mexicana, ocurrió por diversos factores presentados en el macro los cuales influyeron en el desarrollo del meso y micro nivel; más no se originó por una sola causa.

5.3. Horizonte esperado en la industria eléctrica mexicana en las próximas décadas

Esta sección tiene como objetivo analizar cuál podría ser la situación esperada de la industria eléctrica mexicana en un horizonte de largo plazo (2010-2050), desde la perspectiva de las variables seleccionadas en la presente investigación, como son la tecnología, el modelo de organización industrial y las preocupaciones humanas.

Para lograr el objetivo, la sección inicia con una breve introducción de las perspectivas tecnológicas presentadas por la Secretaria de Energía SENER (2012-2026) y la Comisión Federal de Electricidad CFE responsable de la Planeación del Sistema Eléctrico Nacional, consideradas como las principales fuentes de información en todos los trabajos de prospectiva en el país. Asimismo, conociendo la situación actual y los escenarios proyectados (2012-2026) se analizarán dos

escenarios que muestran la tendencia en la mezcla de tecnologías esperadas al año 2050. También, se analizará cuál podría ser la tendencia en el marco regulatorio e institucional de la industria eléctrica con base en el contexto institucional y regulatorio. Finalmente, se mencionan las principales preocupaciones humanas que podrían afectar desarrollo de la industria eléctrica y que deberán ser consideradas por tomadores de decisiones.

5.3.1. Escenarios de Planeación propuestos por la Secretaría de Energía (2012-2026)

La Secretaría de Energía de acuerdo con el Programa de Planeación del Sector Eléctrico Nacional, ha realizado dos escenarios llamados “Inercial y ENE” de conformidad con las directrices de la Estrategia Nacional de Energía ENE 2012-2026, las cuales se basan en tres ejes rectores: Seguridad energética, eficiencia económica y productiva y sustentabilidad ambiental. Los escenarios han sido diseñados con distintas opciones de expansión de capacidad en generación. Ambos escenarios fueron diseñados para satisfacer las estimaciones de demanda, mismas que fueron evaluadas por la Comisión Federal de Electricidad. Los escenarios capturan el potencial de ahorro en el consumo final de energía eléctrica identificado en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía “PRONASE”.

El escenario Inercial se elaboró en el marco de los trabajos del Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico POISE 2012-2026, de conformidad con los Artículos 66, 67, 68 y 69 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE). Dicho escenario integra una participación de 30.3% de capacidad instalada en el Sistema Eléctrico a partir de tecnologías que utilizan fuentes no fósiles y renovables en 2026. Se estima que esta participación estará integrada por 18% de capacidad hidroeléctrica, 8.2% eololéctrica, 1.7% nucleoléctrica y el 2.4% restante correspondiente a la capacidad geotermoeléctrica, solar y biogás.

El escenario ENE, presenta una visión de la expansión de capacidad que permite alcanzar las metas planteadas en lo establecido en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), la Ley General de Cambio Climático (LGCC) y las estrategias indicadas en el Plan Nacional de Desarrollo (2007-2012). Busca incrementar la participación de la generación con fuentes no fósiles a 35% en 2026. Para este objetivo, se elaboraron tres escenarios alternos con diferentes participaciones de tecnologías, denominados: escenario nuclear, escenario de renovables y escenario híbrido. Los dos últimos integran el respaldo necesario para efectos del Margen de Reserva.

La característica común de estos tres escenarios es el cumplimiento de la meta de 65% de generación con fuentes fósiles. El 35% restante utiliza diferentes combinaciones de tecnologías en cada escenario alternativo. La participación de capacidad por tecnologías cambia, en particular, en el escenario híbrido y de renovables, debido a que sustituyen capacidad firme por intermitente, lo que obliga a adicionar capacidad de respaldo.

El escenario nuclear considera una participación de 13.2% de capacidad nucleoelectrónica que sustituiría directamente 11.5% de ciclos combinados en relación con el escenario Inercial, con base en un requerimiento de capacidad total de 93,502 MW para el año 2026. El escenario de renovables, considera una participación de 30.3% de capacidad eoloelectrónica, 14.1% de hidroeléctrica, 1.4% nuclear y 1.9% de otras renovables. Se requiere una adición de capacidad turbogás a fin de cubrir las necesidades de respaldo, que podría alcanzar hasta un 7.9% adicional. De esta forma la capacidad de los ciclos combinados se reduciría hasta alcanzar 32.9% y 10.4% de otras fuentes fósiles sobre un total de 119,072 MW en el año 2026. El escenario híbrido prevé la integración de capacidad eoloelectrónica 25.5%, hidroeléctrica 15% y nucleoelectrónica 3.9%, con participaciones de y sobre un total de 112,296 MW requeridos. Además incorpora 1.9% de otras fuentes renovables. De esta forma se reduciría la capacidad de los ciclos combinados hasta una

participación de 34.8%. El escenario híbrido se seleccionó como escenario ENE, el cual busca crear un balance entre tecnologías y se considera el más factible.

Escenario real 2011

La participación de tecnologías de generación en la capacidad total del servicio público es del orden de 52,512 MW.

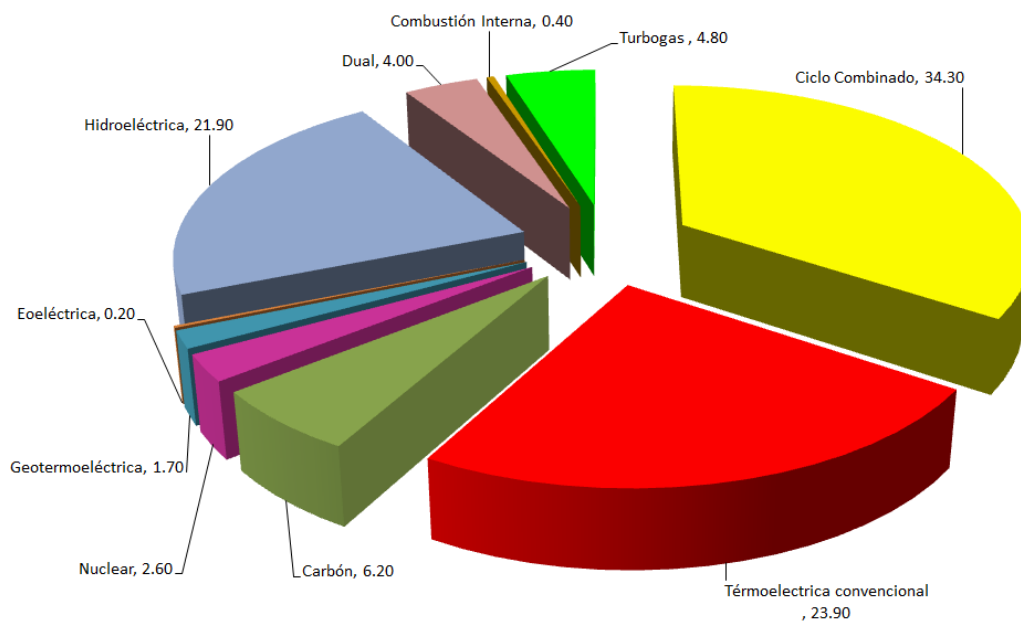


Figura 5.4 Participación % de tecnologías de generación en la capacidad total del servicio público.

Fuente: Secretaría de Energía SENER (2012).

Escenario Inercial al 2026

En 2026, la participación de las tecnologías de ciclo combinado en el total de la capacidad efectiva, será de 51.7%. Considerando todas las tecnologías que operaran a base de gas natural, al final del periodo prospectivo, éstas alcanzarán una participación de 55% respecto a la capacidad total del Servicio Público. En cuanto a las tecnologías llamadas la Nueva Generación Limpia (NGL), alcanzarán una participación de 34.5% de la capacidad total. Las fuentes renovables, incluyendo grandes hidroeléctricas, tendrán una participación de 24.4% en la capacidad total. La

participación de la energía nuclear será del orden de 1.9%, aunque constituye una buena opción para reducir emisiones de gases efecto invernadero, aún su costo es alto. Las tecnologías que operan a base de combustóleo, coque y diésel reducirán su participación a 4.1%. Mientras que el carbón disminuirá su participación en 6.4%.considerado la posibilidad de incorporar centrales a base de carbón con tecnología de captura y secuestro de CO₂, como una opción de generación limpia [31].

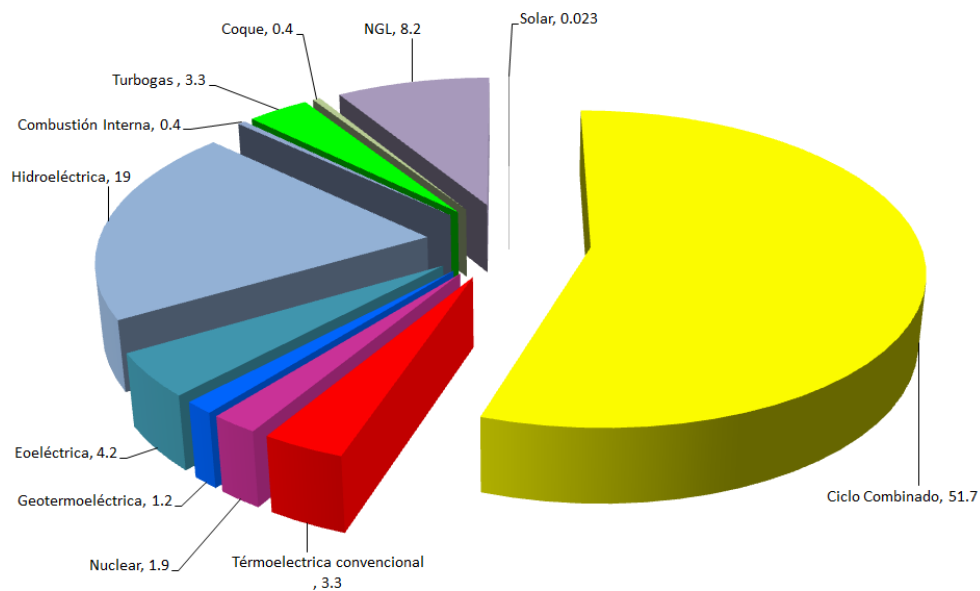


Figura 5.5 Participación de tecnologías de generación en la capacidad total del servicio público % (Escenario Inercial).

Fuente: Secretaría de Energía SENER (2012).

Escenario Estrategia Nacional de Energía (ENE)

En la figura 5.6 se presentan cuatro escenarios para cumplir con la meta de 65% en generación con combustibles fósiles. La primera a la izquierda corresponde al escenario inercial y las demás al escenario ENE (Híbrido con respaldo, Renovables con respaldo y Nuclear), según datos de la SENER. Se puede apreciar que en el escenario inercial, la tecnología Ciclo Combinado tiene la mayor participación con un 53.3%, seguida de la Hidroeléctrica con 18.0% y la Carboeléctrica con 9.7%, por citar las tres tecnologías con la mayor participación. En el escenario ENE, la tecnología

Ciclo Combinado mantiene también el primer lugar. Sin embargo, en el caso de los escenarios Híbridos con respaldo y Renovables el segundo lugar lo ocupan las Carboeléctricas, mientras que en el Nuclear, esta tecnología pasa al quinto lugar. Para el caso de la Hidroelectricidad, en los escenarios Híbrido con respaldo y Renovables con respaldo, esta tecnología ocupa el tercer lugar, mientras que en el Nuclear se mantiene en el segundo.

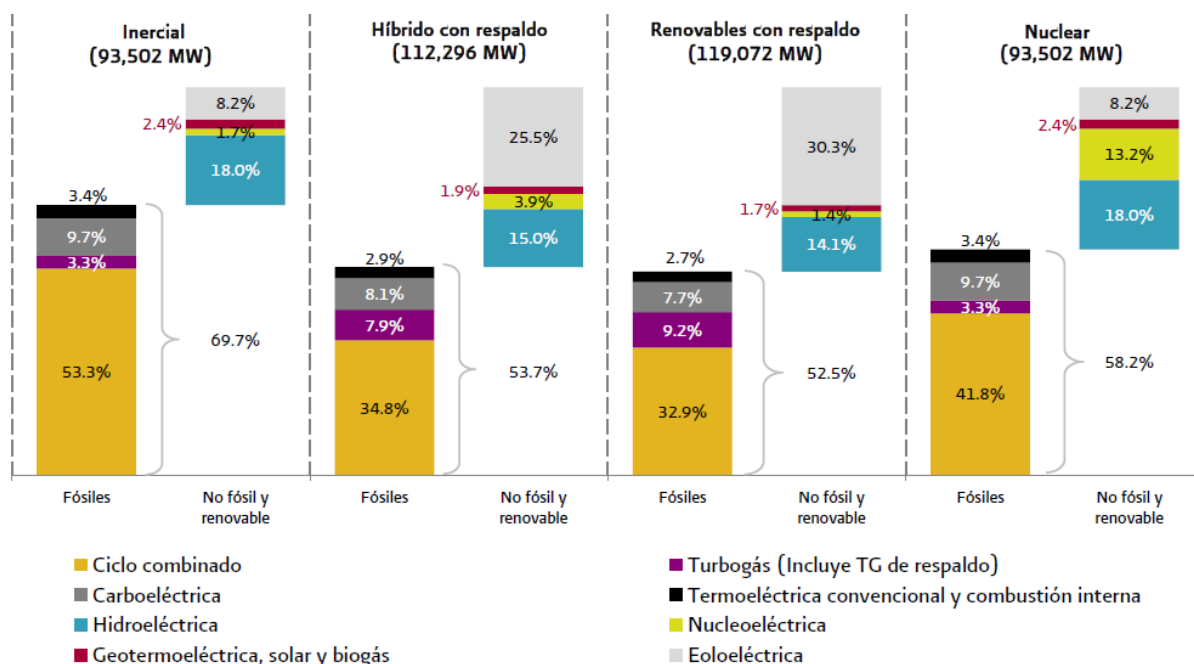


Figura 5.6 Participación de la capacidad por tipo en 2026 para el Sistema Eléctrico
 Fuente: Secretaría de Energía SENER (2012).

Partiendo del escenario base (2010) y los escenarios al 2026, a continuación se presentan dos escenarios 2027 – 2050 (Escenario 1: con base en la Ley LAERFTE y el 2: con base en la energía nuclear).

Escenario 1

Mantiene el escenario de Planeación y el crecimiento con ciclos combinados. También el de Eólicas y a partir del 2027 se estima la capacidad requerida de fuentes renovables para cumplir con las metas establecidas en la ley al 2035 y 2050. Para el análisis económico se derivan dos escenarios a partir del escenario de Renovables:

- Con respaldo de eólicas y solares, mediante ciclos combinados.
- Sin respaldo con aportación de la capacidad disponible de eólicas y solares al margen de reserva operativo.

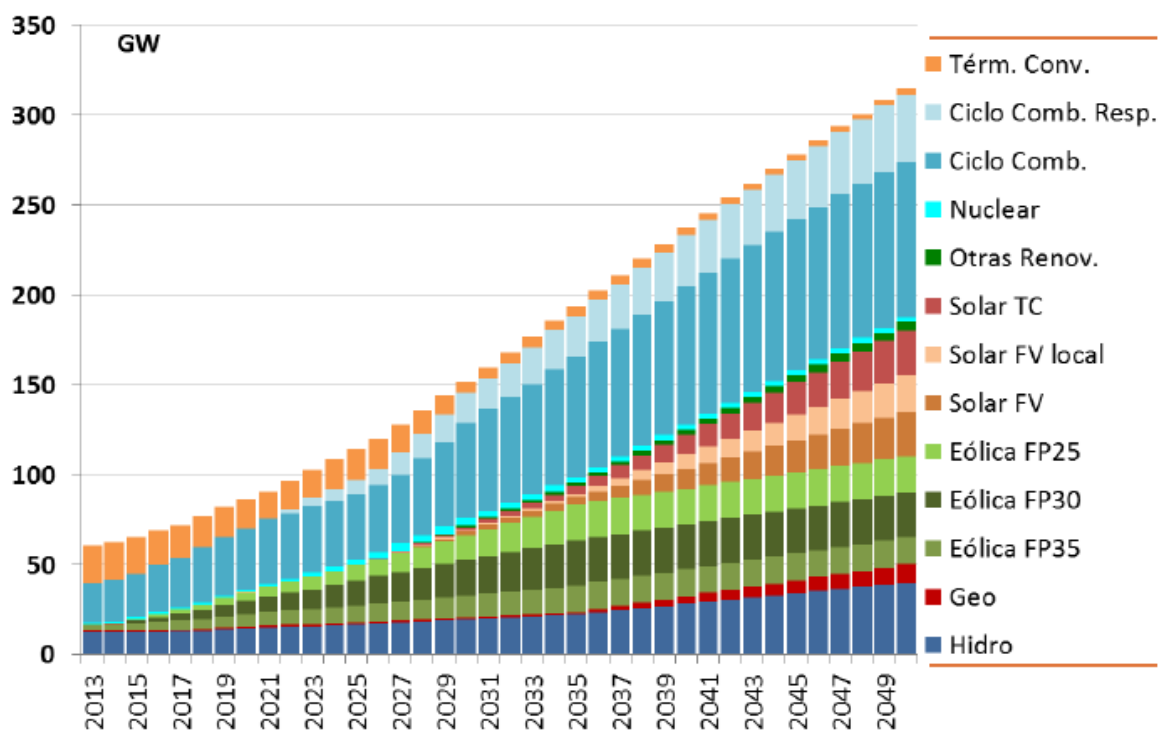


Figura 5.7 Evolución de la capacidad 2013 – 2050 (GW).
Fuente: Castrejón (2013).

El escenario de referencia cumple con la premisa de planeación al costo mínimo, más no con las metas de generación propuestas en la ley referente a generación con

fuentes renovables. En cuanto al escenario de fuentes renovables se puede apreciar que alcanza las metas de generación con fuentes fósiles. Además, logra una reducción de emisiones de gases efecto invernadero y de 46% en el consumo de combustibles fósiles al 2050 respecto al escenario de referencia y al propuesto en 2050; también requiere 165 GW de capacidad instalada adicional a la capacidad disponible necesaria para cubrir la demanda eléctrica. Por otra parte, es indispensable la contribución de las tecnologías de energía solar.

Escenario 2

Se basa en el caso de referencia que considera una planeación al costo mínimo, principalmente con crecimiento de ciclos combinados. Al 2026 se ajusta a la planeación del POISE 2012 – 2026 y al 2050 se minimiza el costo nivelado. Además cumple con la meta de la LAERFTE con base en nucleoelectricas, e incluye la capacidad comprometida y de fuentes renovables del POISE. Se plantean dos casos:

- Caso 1 Nuclear: Nuevas plantas nucleares en número suficiente para cumplir con las metas de la LAERFTE.
- Caso 2 Mixto: El requerimiento de generación de la LAERFTE se distribuye entre nucleoelectricas y fuentes renovables.

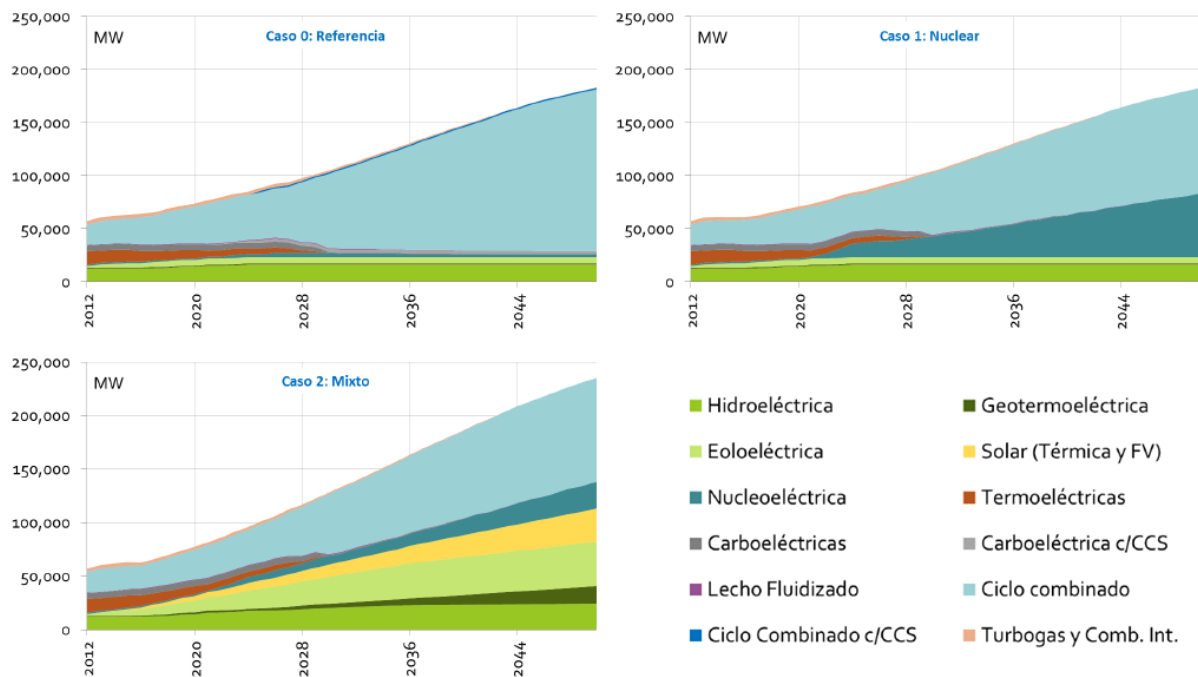


Figura 5.8 Evolución de la capacidad 2012 – 2050.

Fuente: Flores (2013).

El análisis anterior permite concluir que las plantas nucleoeléctricas representan una alternativa interesante para el cumplimiento de la ley LAERFTE. Un escenario de planeación que considere la instalación de nucleoeléctricas tendrá las siguientes características:

- a) Reducción de costos de generación respecto a un escenario de cumplimiento solo con fuentes renovables.
- b) Con un escenario de cumplimiento solo con fuentes renovables no habrían diferencias en la emisión de gases efecto invernadero y ayudaría al cumplimiento de metas de reducción.
- c) Reducción de los impactos de la intermitencia de las fuentes renovables.
- d) Reducción de los requerimientos de capacidad por tener un índice de disponibilidad mayor a las fuentes renovables.
- e) Mayor esfuerzo para la aceptación social respecto a las fuentes renovables.

f) Desarrollo de un plan nacional nuclear y esquemas de financiamiento específicos. Debe mencionarse también que los escenarios de cumplimiento con la LAERFTE no revierten la tendencia creciente de las emisiones de gases efecto invernadero en el sector eléctrico.

5.4. Tendencia en el Marco Institucional y Regulatorio

En la actualidad de conformidad con los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución y los artículos 1 y 7 de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica, el Gobierno Mexicano mantiene la facultad exclusiva de generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer de energía eléctrica que tenga por objeto el servicio público. Facultad delegada a la Comisión Federal de Electricidad exclusivamente para todo el país, desde el 2009 que fue extinta (L y FC). [2, 21].

La misión de la Comisión Federal de Electricidad comprende los siguientes aspectos:

- Asegurar el servicio de energía eléctrica, en condiciones de cantidad, calidad y precio, con la adecuada diversificación de fuentes de energía.
- Proteger el medio ambiente, promover el desarrollo social y respetar los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.

La industria eléctrica deberá regirse por el marco institucional y regulatorio vigente, el cual se basa en las leyes actuales tales como la Ley de la Comisión Reguladora de Energía 1995, Ley de Servicio Público de 1992 y su respectivo reglamento de 1993; y demás leyes y acuerdos nacionales e internacionales. Sin embargo, la tendencia muestra que se requiere ajustes o enmiendas a tales leyes, para garantizar certidumbre jurídica a los inversionistas y asegurar la permanencia de los mismos. Algunos de los retos que enfrenta el país son la modernización, el fortalecimiento de la presencia de instituciones para incentivar la competencia.

La industria eléctrica en las próximas décadas deberá regirse por aspectos consagrados en planes, programas y leyes, los cuales se mencionan a continuación: *Estrategia Nacional de Energía (2013-2027)*.

La Estrategia Nacional de Energía ENE 2013-2027 toma como punto de partida el papel que el sector energético debe desempeñar, para apoyar el crecimiento y el desarrollo económico y social del país. Asimismo los resultados esperados son los siguientes [32]:

- Energía para el crecimiento económico.
- Disminuir la intensidad energética.
- Mantener un superávit de energía.
- Lograr un desarrollo incluyente.
- Apoyar a la población menos favorecida.
- Unificar y consolidar la infraestructura energética.
- Garantizar la integridad y eficiencia en instalaciones.
- Avanzar hacia la transición energética.
- Reducir la huella ecológica del sector.

Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018)

El principal objetivo es llevar a México a su máximo potencial. Se basa en cinco metas nacionales: 1) México en Paz; 2) México Incluyente; 3) México con Educación de Calidad; 4) México Próspero y 5) México con Responsabilidad Global.

En la meta cuatro correspondiente a México Próspero en el inciso 4.6 el objetivo es abastecer de energía al país con precios competitivos, calidad y eficiencia a lo largo de la cadena productiva; para el logro del objetivo se basa en la estrategia 4.6.2 para asegurar el abastecimiento racional de energía eléctrica en todo el país [33].

Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE-2012)

Según el capítulo IV artículo 22, se establece la Estrategia como el mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias, promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

Artículo transitorio segundo de decreto de reforma: Para efectos de la fracción III del artículo 11 de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, la Secretaría de Energía fijará como meta una participación máxima de 65% de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica para el año 2024, del 60% en el 2035 y del 50% en el 2050 [34].

Ley General para el Cambio Climático 2012

En esta Ley se establecen las disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático y reglamenta las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de medio ambiente y desarrollo sustentable. Propone las siguientes metas [35].

- La Secretaría de Energía en coordinación con la Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Reguladora de Energía, promoverán que la generación eléctrica proveniente de fuentes de energía limpias alcance por lo menos 35 % para el año 2024. Al cumplir con la meta establecida en la LAERFTE, también se cumple con esta meta, ya que las fuentes de energía limpias abarcan tanto a las energías no fósiles como aquellas tecnologías con captura y secuestro de CO₂.

- Para el año 2020, acorde con la meta-país en materia de reducción de emisiones, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público en coordinación con la Secretaría de Energía y la Comisión Reguladora de Energía, deberán tener constituido un sistema de incentivos que promueva y permita hacer rentable la generación de electricidad a través de energías renovables, como la eólica, la solar y la minihidráulica por parte de la Comisión Federal de Electricidad.
- Según el artículo segundo transitorio de la ley, el país asume el objetivo indicativo o meta de reducir al año 2020 un 30% de emisiones con respecto a la línea de base; así como un 50% de reducción de emisiones al 2050 en relación con las emitidas en el año 2000. Las metas mencionadas podrán alcanzarse si se establece un régimen internacional que disponga de mecanismos de apoyo financiero y tecnológico por parte de países desarrollados hacia países en desarrollo entre los que se incluye los Estados Unidos Mexicanos. Estas metas se revisarán cuando se publique la siguiente Estrategia Nacional.

5.5. Las preocupaciones humanas en un horizonte de largo plazo

Actualmente y en las próximas décadas las preocupaciones humanas estarán presentes en las decisiones de política que conciernen al sector energía a nivel país. Algunas de ellas son la preocupación por el cambio climático y protección al medio ambiente, demanda energética con menos emisiones de CO₂, SO₂ y NO₂ y gases efecto invernadero, generación de energía limpia, incremento de inversiones en energías renovables, eficiencia energética, sustentabilidad energética, tecnologías limpias, eficiencia e impulso normativo a elementos más amigables con el medio ambiente. Otra preocupación importante es el costo de las tecnologías, la cual puede limitar el uso de las tecnologías alternativas. Las preocupaciones humanas tienen relación con las directrices, estrategias y lineamientos, las cuales están acordes con la política energética nacional.

En el contexto internacional México tiene los siguientes compromisos:

- a) Acuerdo sobre el proyecto de protección del medio ambiente y la competitividad industrial.
- b) Protocolo de Kioto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- c) Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que afectan la capa de ozono.
- d) Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- e) Alianza del Pacífico con Colombia, Chile y Perú.
- f) Acuerdo de Asociación Transpacífico (TPP) con Australia, Brunei, Canadá, Chile, Estados Unidos, Malasia, Nueva Zelandia, Perú, Singapur y Vietnam, con la muy probable incorporación próxima de Japón.

Referencias

[1] Viqueira Jacinto (2007). **Energía e Impacto Ambiental**. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, pp. 400.

[2] Comisión Federal de Electricidad (2010). **Cuarto Informe de Labores**. Disponible en línea: www.cfe.gob.mx.

[3] CFE Comisión Federal de Electricidad (CFE). **Historia de la Industria Eléctrica en México**. Disponible en línea: www.cfe.gob.mx.

[4] Diario Oficial de la Federación (1960). **Decreto por el cual se nacionaliza la industria eléctrica**, Publicado en el Diario Oficial de la Federación, México.

[5] Serrato Gerardo (2003). Inercia institucional y reorganización industrial: el caso de la industria eléctrica en Francia y México. **Coloquio internacional “Energía, reformas, institucionales y desarrollo en América Latina. Universidad Nacional Autónoma de México. Université PMF de Grenoble, México.**

[6] Díaz Alejandro (2004). Cambio estructural y regulación del sector eléctrico mexicano. **Economía Informa**, 351: 14-31.

[7] Díaz Alejandro (2005). **Experiencias internacionales en la desregulación eléctrica y el sector eléctrico en México**, 1 ed. El Colegio de la Frontera Norte: Plaza y Valdez, México.

[8] Vargas Rocío (2010). **El Sector Eléctrico Mexicano: Nuevos Espacios para las corporaciones transnacionales?** Acta Sociológica (54) 119-139.

- [9] Diario Oficial de la Federación DOF(1917). **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**. México.
- [10] Diario Oficial de la Federación DOF(1937). **Ley por medio se crea la Comisión Federal de Electricidad**.
- [11] Diario Oficial de la Federación DOF(1960). **Ley por la cual se nacionaliza la Industria Eléctrica**.
- [12] Diario Oficial de la Federación DOF(1975).**Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica LSPEE-1975**.
- [13] Diario Oficial de la Federación DOF(1979).**Ley reglamentaria del artículo 27 en Materia Nuclear**.
- [14] Diario Oficial de la Federación DOF(1982).**Se crea la Secretaria de Energía Minas e Industria Paraestatal SEMIP, 1982**.
- [15] Diario Oficial de la Federación (1992). **Reforma a la Ley de Servicio Público 1992**.
- [16] Comisión Federal de Electricidad (2010). **Cuarto Informe de Labores**.www.cfe.gob.mx
- [17] Gabriele A (2004).Policy Alternatives in reforming Energy utilities in developing countries. **Energy Policy**, 32 (11) 1319-1337.
- [18] Ruiz B, Rodriguez V, Martinez J(2008). Renewable Energy Sources in the Mexican Electricity Sector, **Renewable Energy** (33) 1346-1353.
- [19] Diario Oficial de la Federación DOF (2009). **Decreto de extinción de la Compañía Luz y Fuerza del Centro**. México, 11 de octubre de 2009, México City.
- [20] Secretaría de Energía SENER (2010b). **Modernización del Servicio de Energía Eléctrica en la zona central del país**, México City.
- [21] Comisión Federal de Electricidad CFE (1990). **Estadísticas (1990-2010)**. Available on <<http://www.cfe.gob.mx>>.
- [22] Secretaría de Energía SENER, (2001). **Compendio estadístico del sector energía 1980-2000**, México City.
- [23] Secretaría de Energía SENER, (2002). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011**, México City.
- [24] Secretaría de Energía SENER, (2003). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2003-2012**, México City.
- [25] Secretaría de Energía SENER, (2004). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2004-2013**, México City.
- [26] Secretaría de Energía SENER, (2005). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014**, México City.
- [27] Secretaría de Energía SENER, (2007). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016**, México City.

- [28] Secretaría de Energía SENER, (2008). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017**, México City.
- [29] Secretaría de Energía SENER, (2009). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024**, México City.
- [30] Secretaría de Energía (SENER), (2010^a). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025**, México City.
- [31] Secretaría de Energía SENER, (2012). **Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026**, México City.
- [32] Secretaría de Energía SENER (2013). **Estrategia Nacional de Energía (2013-2027)**. Disponible en: www.sener.gob.mx.
- [33] Diario Oficial de la Federación 20/05/2013 (2013). **Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018)**. www.dof.gob.mx.
- [34] Diario Oficial de la Federación DOF (2012). **Ley para el aprovechamiento de las energías renovables y el financiamiento y la transición energética**, Publicada el 01 de diciembre de 2012, México City.
- [35] Diario Oficial de la Federación DOF (2012). **Ley General de Cambio Climático**. Publicada el 6 de junio de 2012, México City.
- [36]Castrejón, David (2013). **Opciones tecnológicas para la reducción de GEI en el sector eléctrico de México en el largo plazo**. V Congreso Anual Conjunto de Asociaciones del Sector Energético y XIII Congreso Anual de la AMEE, Acapulco.
- [37] Flores, Marco Polo (2013) **Cumplimiento de la ley de renovables mediante nucleoeeléctricas y su impacto en tarifas y emisiones GEI**. V Congreso Anual Conjunto de Asociaciones del Sector Energético y XIII Congreso Anual de la AMEE, Acapulco.

CONCLUSIONES

Desde el inicio de las civilizaciones la tecnología ha jugado un papel trascendental, en la evolución de la industria eléctrica, lo cual se constata a través del desarrollo de la investigación. Desde los primeros descubrimientos científicos por Faraday, Tesla y el primer sistema eléctrico ideado por Edison en 1882, hasta los avances e innovaciones en todo el proceso de la cadena valor. El desarrollo de las diversas fuentes de energía, ha estado ligado al cambio tecnológico. Una de las principales innovaciones experimentadas por el hombre desde el principio de las civilizaciones fue el uso del fuego. Posteriormente, en el siglo XIX, el carbón fue el combustible más importante para el desarrollo industrial y la naciente industria eléctrica. En el comienzo del siglo XX, paralelamente al descubrimiento del petróleo, surgieron varias aplicaciones eléctricas, tales como el motor hidráulico y eléctrico los cuales contribuyeron al despliegue de diversas tecnologías. A mediados de siglo surgió la energía nuclear comercial, y en la última década, el avance tecnológico y los cambios en el marco regulatorio e institucional contribuyeron al desarrollo de las plantas ciclo combinado.

El progreso tecnológico ha permitido disminuir el costo de la generación e incrementar considerablemente la eficiencia energética. La tecnología de centrales ciclo combinado de gas natural permite operar plantas de menor tamaño. El tamaño mínimo eficiente de una planta de 1000 MW se redujo cerca de 500 MW. Este tipo de planta tiene además un menor tiempo de construcción, entre otras ventajas. También, ha promovido la competencia de productores privados en la generación de electricidad. En cuanto al transporte y la distribución de energía eléctrica, se espera el despliegue e implementación de redes inteligentes basadas en las tecnologías de la información TI y las comunicaciones. No obstante, la tendencia muestra que el concepto de red se mantendrá en las próximas décadas. El adelanto en TI hizo posible el desarrollo de sofisticados sistemas de medición y despacho de electricidad, así como de supervisión y control a distancia de los flujos eléctricos. También, ha facilitado el desarrollo del mercado eléctrico.

Los resultados señalan además que cada día será más óptimo el proceso de adquisición de energía para la venta a los usuarios finales. La eficiencia energética será crucial en los diferentes sectores de consumo. También, gracias a las innovaciones tecnológicas, el consumidor obtendrá mayores beneficios.

La perspectiva tecnológica mundial en un horizonte de largo plazo muestra que los combustibles fósiles seguirán predominando en las próximas décadas, principalmente las plantas ciclo combinado, dado su bajo impacto sobre el medio ambiente, en comparación con otras fósiles. Además, se espera el despliegue de las tecnologías de captura y secuestro de CO₂, y de las tecnologías limpias con base en fuentes de energía renovables y nucleares.

Los resultados muestran que existen cuatro modelos básicos de organización industrial: 1) Monopolio público o privado regulado, 2) Comprador único, 3) Competencia mayorista y 4) Competencia minorista, los cuales han sido adoptados a nivel mundial. Dichos modelos varían de acuerdo al grado de apertura del mercado, es decir, la amplitud con que son abiertos los diferentes segmentos a la competencia. Generalmente, las reformas han impulsado la competencia en los segmentos competitivos (generación y comercialización).

El principal objetivo de las reformas ha sido resolver los problemas en la industria eléctrica. Algunos resultados positivos son: el incremento de la productividad y la eficiencia, la reducción del déficit fiscal, el aumento de las inversiones y una mayor confiabilidad de los sistemas eléctricos. No obstante, se presentó poder del mercado, colusión y reducción de beneficios para el consumidor residencial, debido al incremento en el precio del fluido eléctrico. Además, pérdida de empleo.

De acuerdo con las experiencias internacionales, la industria eléctrica ha cambiado radicalmente, como resultado de la tendencia mundial hacia la reestructuración, privatización y liberalización. En este contexto, Chile fue el primer país en reestructurar la industria eléctrica, pero la reforma más radical se dio en el Reino

Unido, mediante la competencia en el mercado abierto llamado *Nord Pool*. Noruega, Finlandia y Suecia también siguieron el modelo del Reino Unido y los demás países de la Unión Europea avanzaron lentamente en el proceso de liberalización. A finales de 1996 la Comisión Europea emitió la directiva 96/92 que obligó abrir sus mercados eléctricos y ofrecer opciones a los consumidores finales.

En América Latina, países tales como Chile, Brasil, Argentina, también han adoptado reformas y han promovido una mayor competencia. Optaron por el mercado eléctrico con base en el *pool*, similar al adoptado en el Reino Unido.

Los resultados muestran que no existe un modelo único de organización industrial, ni hay consenso sobre qué medidas específicas se requieren para promover la competencia, como tampoco lo hay en la efectividad de las mismas. Según la tendencia, es probable que en las próximas décadas exista multiplicidad de modelos de organización industrial; cada país adoptará un modelo de acuerdo con el diseño y organización de sus instituciones a sus condiciones económicas, políticas, culturales y sociales vigentes en cada país y desafíos.

La evolución de la industria eléctrica mundial, depende de un entorno complejo e incierto que obedece al comportamiento de variables políticas, económicas, medio ambientales, las cuales han condicionado y pueden condicionar su adelanto futuro. Desde esta perspectiva se considera que al 2050 la preocupación medio ambiental, relacionada con el cambio climático y el incremento de emisiones de CO₂ seguirá siendo un factor transcendental en las decisiones de política energética; sin embargo, no será la única, ni la principal conductora del cambio en el modelo energético. Aunque tales aspectos medio ambientales serán tomados en cuenta por los gobiernos en las agendas políticas, las preocupaciones institucionales, sociales y económicas, también jugarán un rol importante en las próximas décadas. Además, tendrán igual grado de importancia.

El análisis multinivel facilitó identificar las principales causas y los efectos de la transición de la industria eléctrica. El progreso tecnológico y la liberalización económica son consideradas las causas más importantes. Además, la ideología dominante a nivel mundial, hacia la globalización y la presión de organismos financieros internacionales hacia una menor intervención del Estado en la economía, contribuyeron a que los justificantes para la existencia de los monopolios eléctricos públicos o privados regulados perdieran fuerza y que se sustituyera gradualmente el paradigma de propiedad estatal centralizada, por un modelo de mercado abierto. En este contexto los países a nivel mundial adoptaron reformas hacia la reestructuración, liberalización y privatización, en las que difícilmente podrían adaptarse las empresas estatales.

Los resultados muestran que las principales causas que originaron la transición de la industria eléctrica mexicana fueron ideológicas y políticas. El cambio estructural se dio mediante la promulgación de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica en 1992, sus respectivas leyes secundarias y reglamento de 1993. Los cambios en el marco regulatorio y normativo se reflejaron en la adaptación de instituciones e instancias que regulan el sector. El principal objetivo de la reforma fue promover la expansión del Sistema Eléctrico Nacional a través de la participación de productores nacionales y extranjeros para cumplir con los planes requeridos. La reforma se considera una liberalización parcial; además, México no avanzó hacia una reforma más radical como en otros países de Latinoamérica debido a aspectos de soberanía nacional, consagrados en la Constitución Política. Igualmente, los resultados de la reforma muestran un progreso parcial. Se requiere un marco regulatorio y normativo claro y transparente y de constantes adaptaciones que asegure certidumbre a los inversionistas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que el contexto de la industria eléctrica en el largo plazo (2050) dependerá básicamente de la evolución e interrelación de tres variables: 1) cambio tecnológico, formas organizacionales y preocupaciones humanas.

Anexo A - Fuentes primarias de energía

Las fuentes primarias de energía se definen como aquellas fuentes tal y como se obtienen de la naturaleza, ya sea en forma directa o después de un proceso de extracción. Dichas fuentes han ido evolucionando paralelamente al desarrollo de la industria eléctrica. Entre las principales fuentes primarias están los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural).

- ***Carbón***

El carbón ha sido utilizado desde la antigüedad. A partir de la revolución industrial, obtuvo una posición de combustible dominante durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX. Asimismo, se considera que fue un indicador de la situación económica mundial. En China, fue utilizado para la calefacción doméstica y para usos industriales como herrerías. En Europa se extraía desde los siglos XI y XII en yacimientos superficiales de cuencas carboníferas de Inglaterra y de la Europa continental era utilizado en hornos de cal como alternativa a la madera o al carbón vegetal. En Alemania y Austria se explotaba el lignito. Los países bajos fueron los primeros que encontraron carbón en Europa, los cuales suministraron combustible a Europa y a otros países cercanos. Inglaterra empezó la producción y suministró a otros países. Además, confió en el carbón como combustible.

La revolución industrial y el desarrollo de la máquina a vapor en el siglo XIX, incentivaron la explotación y la comercialización del carbón. El auge de la revolución necesitó máquinas más efectivas y recursos energéticos hasta la primera guerra mundial la demanda creció constantemente pasando de 750 millones de toneladas en el año 1900, hasta llegar casi al doble en 1914. La gran depresión de los 30's causó un recorte en la producción de carbón en un 40% y no logró recuperarse en los años siguientes. Un factor importante que influyó en el incremento de la demanda del carbón fue el desarrollo de nuevos tipos de energía: la electricidad y el gas para alumbrado, que requerían de dicho combustible para la generación [21].

Las centrales térmicas alimentadas por carbón tienen una capacidad alrededor de 700 a 1,000 MW de electricidad. Como cualquier planta térmica a partir de combustibles fósiles, únicamente el 45% de energía contenida en el carbón es convertida en electricidad. El remanente de energía es expulsado al medio ambiente en forma de calor.

Respecto a las tecnologías mayormente utilizadas se encuentran la de carbón pulverizado, que ha sido utilizada por más de un siglo y aún sigue siendo empleada en las calderas. Según las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía al 2030, la capacidad instalada con carbón en el mundo será de 2,000 GW comparada con 1,119 GW en el 2003. En proyecciones recientes se prevé que el 61% de la capacidad instalada le corresponderá a China con 546 GW; 16.7% a Estados Unidos con 147 GW; finalmente el 10.7% le corresponderá a la India con 94 GW. Los avances tecnológicos en las calderas y en otros componentes de las centrales, han ayudado a producir economías de escala, junto con las mejoras en eficiencia, confiabilidad y menor impacto medio ambiental. En Estados Unidos la máxima eficiencia térmica en centrales³⁵, ha mejorado, desde un 8% en el año 1900 hasta un 40% en 1960. Las mejoras en la eficiencia se deben a los avances en las tecnologías utilizadas en las calderas. En el año 1990, las más eficientes centrales con carbón pulverizado utilizaron la tecnología caldera supercrítica, alcanzando una eficiencia térmica del 42% al 44% en Japón, Alemania, Dinamarca, Países Bajos, y recientemente en China.

Actualmente, el carbón es uno de los combustibles más importantes para la generación eléctrica. China es el mayor consumidor en el mundo, seguido por Estados Unidos y la India. El carbón representa la fuente de energía primaria con mayor participación en el mundo; en el 2005 el 41.3% del suministro mundial de energía eléctrica se generó a partir del carbón. En el 2007, las reservas se estimaron en 847,488 millones de toneladas, las mayores se encuentran en Estados Unidos (28.6%), Rusia (18.5%), China (13.5%), Australia (9%) e India (6.7%) [22].

³⁵ Valor máximo calorífico (Higher Heating Value HHV, por sus siglas en inglés)

A nivel mundial, los recursos de carbón son abundantes, por lo tanto podría contribuir en forma importante al suministro futuro de energía y reducir el riesgo de escasez de energéticos primarios debido a la disminución de producción de petróleo, gas natural y un desarrollo limitado de la energía nuclear. Sin embargo, el aumento de la producción y de la utilización requiere que se resuelvan varios problemas relacionados con el medio ambiente, especialmente las emisiones que se generan durante la combustión [7]. Además, existe un dilema energético: satisfacer las necesidades energéticas de países emergentes como China e India y de los países en vías de desarrollo, sin degradar el medio ambiente o reducir las emisiones gases efecto invernadero, producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles, especialmente el carbón, el cual emite casi dos veces más CO₂ que el gas natural.

El mercado mundial del carbón se ha ampliado como resultado de la crisis energética de los 70's. Los intercambios por vía marítima pasaron de 124 millones de toneladas en 1974 a 269 en 1986, que corresponde al 10% de la producción mundial. Los principales países exportadores son: Australia con 37% del mercado, Estados Unidos con 21% y Sudáfrica con 15%. La importación se concentra en dos zonas: Europa Occidental y el lejano Oriente. Asimismo, el desarrollo futuro del mercado eléctrico del carbón y las abundantes reservas mundiales auguran un crecimiento a mediano plazo; sin embargo, las preocupaciones por el cambio climático global pueden frenar su desarrollo.

- ***Petróleo***

Entre las diversas tecnologías para producir electricidad con derivados del petróleo (diesel y combustóleo) se encuentran las centrales termoeléctricas y las centrales de combustión interna. En dichas centrales, las unidades de generación de energía eléctrica a base de motores de combustión interna, disponen de uno o más cilindros en donde se realiza la combustión; el sistema es similar al motor de gasolina de un automóvil, sólo que a diferencia de éste utilizan diesel como combustible. El motor va acoplado a un generador para producir la energía eléctrica.

Los generadores de combustión interna son de baja capacidad, entre 2 y 6 MW, aunque estos sistemas son más eficientes que los sistemas turbogas. Los generadores de combustión interna son de bajo costo y generan electricidad casi inmediatamente desde el arranque; éstos generadores son muy útiles para alimentar pequeñas cargas y en situaciones de emergencia.

La perforación y extracción de petróleo se inició en el siglo XIX, cuando el Coronel Edwin Drake logró extraer petróleo en un pozo en Titusville Pensilvania [11]. El descubrimiento de importantes yacimientos petrolíferos, principalmente en Estados Unidos, facilitó el desarrollo de la industria automotriz. Paralelamente, se descubrieron múltiples combustibles derivados del petróleo, incluyendo keroseno, gas licuado, gasolina automotriz y lubricantes, gasóleo o combustóleo para las necesidades de calentamiento. Con el auge de la máquina de combustión interna, se incentivó la industria automotriz, que impulsó el desarrollo de la industria petrolera.

En el inicio del siglo XX la máquina a vapor fue sustituida por la máquina de combustión interna; mientras que, el carbón mineral fue reemplazado por el petróleo y sus derivados [8]. El petróleo desarrolló un nuevo nicho de mercado, la utilización como combustible para la generación eléctrica. De esta manera, el petróleo predominó sobre el carbón como fuente de energía primaria. Desde 1920 el petróleo se convirtió en el combustible fósil más usado.

En los 70's la economía energética mundial se vio sujeta a dos choques petroleros; el primero ocurrió en el cuarto trimestre de 1973 y el segundo ocurrió en el primer trimestre del año 1979, que se caracterizó por importantes aumentos en el precio internacional del petróleo. Para enfrentar la crisis, los países industrializados importadores de petróleo, establecieron políticas energéticas que comprendieron acciones sobre la oferta de la energía, como la diversificación energética y sobre la demanda a través de un uso más racional y cambios en los estilos de vida. La implementación de tales políticas, la recesión económica y el aumento de la producción petrolera en varios países, causaron una disminución del consumo

mundial del petróleo y exceso de oferta que presionó los precios a la baja a mediados del año 1981 [7].

A partir de la década de los 80's, varios factores, tales como políticos, económicos y medio ambientales, han influido en la desaceleración gradual del petróleo como energía primaria en la generación eléctrica,.

Una de las principales preocupaciones de los diferentes países y la comunidad científica internacional ha sido acerca de la llegada al "Pico del Petróleo". De acuerdo con la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y el Gas (ASPO por sus siglas en inglés) aunque las reservas probadas se estiman para un periodo de 40 años y han continuado aumentando, no se puede tener certeza sí el crecimiento puede continuar hasta el agotamiento completo en 40 años; ya que se estima que antes del agotamiento total de los recursos, la cantidad dejará de crecer e iniciará un decrecimiento definitivo [23].

Actualmente, las preocupaciones por la seguridad energética, los altos precios de los hidrocarburos y los problemas medio ambientales relacionados con el cambio climático global, constituyen un conjunto de factores que han influido en que la diversificación energética sea propuesta en la agenda de política. Desde esta perspectiva, los combustibles de mayor utilización para generación eléctrica son el gas natural y el carbón, mientras que los combustibles derivados del petróleo tienden a disminuir su participación. A nivel mundial, se estima que el consumo de petrolíferos para generación eléctrica disminuya en un (-1.4%) promedio hacia el 2015, como resultado de los altos precios y los efectos al medio ambiente. Sin embargo, en los países del medio oriente permanecerá como una opción energética viable dada la riqueza petrolera. Igualmente, el consumo se mantendrá en aquellos países que por sus condiciones geográficas y de infraestructura solo dependen de los combustibles líquidos derivados del petróleo para generación eléctrica, así como algunas zonas rurales de Asia donde utilizan generadores a partir de diesel.

- **Gas natural**

La industria del gas se desarrolló de forma diferente en Estados Unidos y Europa. Una aplicación importante fue el gas para alumbrado en el siglo XIX; en 1816 las calles de Baltimore estaban iluminadas con gas. A finales del siglo surgió el alumbrado eléctrico, también el gas era utilizado como fuente energética para la cocción de alimentos y en la industria [8].

En 1908 Holzwork construyó en Alemania una turbina de combustión, que se utilizó para la propulsión de barcos, locomotoras y generadores eléctricos. La industria aeronáutica, fue la que impulsó la aplicación de turbinas de combustión, primero en aviones militares, después en aviones comerciales, utilizando combustibles líquidos. A mediados del siglo XX, se extendió el uso de las turbinas de combustión en instalaciones fijas, las cuales utilizaban gas natural como combustible, principalmente para generar electricidad [8].

Durante el periodo 1935 -1950, en Estados Unidos, las ventas del gas natural casi se cuadruplicaron y representaron más del 90% del total. En 1951, la compañía Transcontinental Gas Pipeline Corporation, terminó la construcción de un gasoducto de 30 pulgadas de diámetro y de 2950 km de longitud para transportar gas, desde la costa del golfo de Luisiana Texas hasta las regiones ávidas de combustible, tales como Nueva York, Nueva Jersey y Filadelfia. En 1955 se decía que cada 23 minutos entraba en producción un nuevo pozo de gas [8].

En el caso de Europa, la explotación del gas natural fue un fenómeno de la posguerra. En el verano de 1956 se descubrió un yacimiento de gas en Groningen, Holanda. En 1970, exportaba gas a países vecinos a un precio muy bajo [8].

En Rusia, los hermanos Nobel habían establecido en 1878 su compañía de Naftas para explotar los campos petrolíferos de Bakú, en Azerbaiyán a orilla del mar Caspio. En 1939, esta región representaba aproximadamente las tres cuartas partes de la producción petrolífera rusa y se hacía algún aprovechamiento del gas asociado.

Después de la Segunda Guerra Mundial, tuvo lugar una expansión: en 1950 la red primaria de gasoductos cubría 2,273 Km, pero en 1971 la red se había incrementado a 68,000 Km y la producción de gas, representaba la producción que obtuvo Estados Unidos en 1955. Rusia exportaba un excedente no sólo a sus aliados del bloque oriental, sino a los países occidentales como Italia y Alemania Occidental [8].

En la actualidad, el gas natural es utilizado principalmente en la generación eléctrica. En centrales generadoras, tales como las centrales de ciclo combinado y las centrales turbo gas. La central ciclo combinado debe su nombre a la combinación de los ciclos termodinámicos Brayton (gas) y Rankine (vapor), es una combinación que utiliza tanto turbinas de gas como turbinas de vapor. Esta configuración permite incrementar la eficiencia térmica de la central termoeléctrica en 54% y logra una disminución de combustible aproximadamente en 25%. Los sistemas de ciclos combinados pueden configurar múltiples turbinas a gas, tales como un sistema con dos turbinas a gas y un sistema con dos turbinas de gas y una de vapor, que logran una capacidad de 220 MW.

Las centrales con base en turbinas de gas se utilizan para generar electricidad en las horas de demanda máxima, o en aplicaciones en donde se requiere disponer de unidades generadoras en tiempos cortos. La turbina de las central turbo gas opera de manera similar a la turbina de vapor de una termoeléctrica.

Los avances en la turbina de gas ciclo combinado (TGCC) han mejorado la posición del gas natural para la generación eléctrica, la producción de calor y electricidad. Mejorar la eficiencia en centrales de generación eléctrica a gas, es un reto de las tecnologías de generación moderna. El último ciclo de las centrales ciclo combinado, pueden alcanzar una eficiencia del 54%. Entre las principales ventajas están: es un combustible relativamente abundante y limpio lo cual hace que sea más amigable con el medio ambiente e ideal para producir electricidad, excelentes rendimientos de los ciclos combinados y bajo costo de inversión de las centrales a gas. Sin embargo, los ciclos combinados son los más caros para separar el CO₂. Actualmente, el gas

natural para generar electricidad representa el 20% de la producción eléctrica mundial, comparado con el 13% registrado en el año 1973.

De acuerdo con la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y del Gas; el pico del gas natural llegará entre el 2020 y el 2030. Para la Agencia Internacional de Energía se ve más lejos. Por tal razón, se estima que se incrementé el gas natural en la generación, llegando a reemplazar el petróleo. Sin embargo, será más costoso por las cuantiosas inversiones en el transporte [23].

En la Figura A.1 muestra la evolución de la energía primaria (1850-2000) [24]. Se puede apreciar desde el auge de la electricidad en el siglo XIX, el carbón ha tenido un rol importante para la generación eléctrica. En los inicios del siglo XX el carbón superó la biomasa; en 1950 el petróleo superó la biomasa; en 1970 el petróleo superó al carbón; en el 2000 el gas natural superó al carbón. La participación de las fuentes renovables ha sido relativamente estable a partir de los 50's. Se concluye que el desarrollo tecnológico ha sido relevante en la evolución de las fuentes de energía primaria.

Nota:

Con base en la investigación realizada fue aceptado para publicación en 2013 el artículo titulado: “*The Mexican Electricity sector: Policy analysis and reform (1992-2009)*” en la revista *Energy Policy*. Imprint ELSEVIER. ISSN: 0301-4215. Impact Factor: 2.743.



Energy Policy

Available online 15 August 2013

In Press, Corrected Proof — Note to users



The Mexican electricity sector: Policy analysis and reform (1992–2009)

Adriana María Ramírez-Camperos^a  , Víctor Rodríguez-Padilla^a, Pedro Antonio Guido-Aldana^b

^a Universidad Nacional Autónoma de México, DEPEFI, Edificio A 1 piso Bernardo Quintana, Circuito Exterior, C.U., Coyoacán, C.P. 04510, Mexico DF

^b Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – IMTA, Paseo Cuauhnáhuac # 8532, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, Mexico

Abstract

This article analyses the cause–effect relation of the structural reform in the Mexican electricity sector, called the Public Electricity Service Act, from 1992 to 2009. One of the main arguments of the reform is to attract private investment in order to reduce the financial load of the government in infrastructure for the development of the National Electric Power System by means of six modalities (Power Self-Supply, Cogeneration, Small Power Production, Independent Power Production, Power Export and Power Import). The article presents the global context of reforms adopted in 1990. The major policies and events are presented in chronological order (before and after reform). In addition, it analyses the new institutional framework, the evolution of modalities, technologies of electricity generation and tariffs. The main conclusion is that the result of reform could be considered a partial progress. The Independent Power Production modality shows greater participation, while Power Self-Supply and Cogeneration are lower. The subsidy policy is maintained. Progress is needed in policies and strengthening, and also in updating regulatory and normative frameworks.

Keywords

Electricity reform; Modalities of electricity generation; Electricity generation

Energy Policy

The International Journal of the Political, Economic, Planning, Environmental and Social Aspects of Energy

Energy Policy is an international peer-reviewed journal addressing the policy implications of energy supply and use from their economic, social, planning and environmental aspects.

Impact Factor:
2.743

5-Year Impact Factor:
3.382

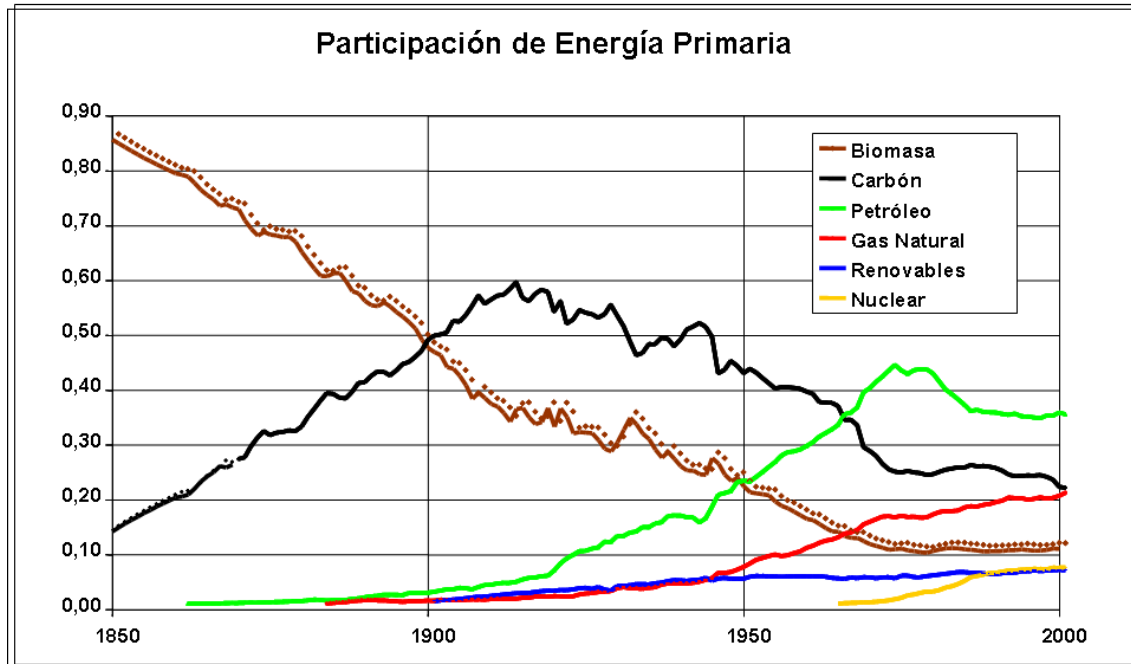


Figura A.1 Evolución de energía primaria (1850-2000).

Fuente: Bouille (2008).

La tecnología en centrales eléctricas

• Generación distribuida

La industria eléctrica empezó utilizando generación distribuida (GD), es decir, la generación situada en la propia red de distribución muy cerca de la demanda. La necesidad de energía eléctrica en una localidad, era satisfecha por la propia municipalidad a través de la instalación de generación distribuida. Más adelante debido al crecimiento de la población y la demanda de bienes y servicios se cambió el esquema a generación centralizada.

El esquema de generación distribuida puede darse en dos modalidades: a través de sistemas aislados en sitios remotos, donde aún no hay acceso al servicio convencional y con sistemas interconectados a la red eléctrica donde ésta se encuentra ya disponible.

En cuanto a las tecnologías de punta que permiten generar electricidad en pequeña escala en forma confiable, segura y de calidad están: la cogeneración, turbinas de

gas, motor de combustión interna, micro turbina, turbinas eólicas, fotovoltaica y celdas de combustible. Igualmente, existen una variedad de recursos disponibles que pueden utilizarse para generar electricidad tales como el sol, el viento, las pequeñas corrientes y caídas de agua, los desechos agrícolas y pecuarios, desechos urbanos sólidos y líquidos entre otros. La viabilidad técnica de estas alternativas ya ha sido probada, tanto a pequeña escala como a gran escala y su viabilidad económica depende de la madurez de las tecnologías para su mejor aprovechamiento.

Actualmente, la generación distribuida se encuentra en la etapa de desarrollo como concepto, se requiere que pasen varios años para que se resuelvan todos los problemas que impidan su aplicación generalizada. Los problemas están relacionados con aspectos económicos, institucionales ambientales, sociales y financieros. Los problemas técnicos se resolverán a través de las inversiones en programas de investigación y desarrollo [38].

- **Cogeneración (calor y electricidad)**

Es la generación combinada de calor y electricidad en la misma central térmica. Las centrales de cogeneración generalmente convierten de 75% a 80% del combustible energético de entrada en energía útil. Muchas centrales modernas alcanzan eficiencias de un 90% o más. Las centrales tienden a ser ubicadas muy cerca de los usuarios, se utilizan principalmente para la calefacción de espacios u otras aplicaciones de calor en la industria. También, ayudan a reducir pérdidas de transmisión y distribución de electricidad. El tamaño de la central es del orden desde 1 kW a 500 MW. La penetración de la tecnología varía de país a país. Dinamarca, Finlandia y los países bajos tienen tasas más altas de penetración. Rusia y China tienen la capacidad más baja de eficiencia y tiene proyectado un crecimiento significativo dada su base industrial creciente [25].

- **Centrales Híbridas**

Son instalaciones que emplean diversos combustibles de entrada simultáneamente, sean todos renovables; o renovables y no renovables. Se caracterizan por estar compuestos por diversos tipos de fuentes de energía, tales como: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, pilas de combustible, mini hidráulica y biomasa. Ésta tecnologías convierten fuentes primarias de energía en electricidad y pueden inyectarla a la red eléctrica convencional; además se puede vender o consumir la energía generada, o pueden no estar conectados a ninguna red, en este caso se trataría de un sistema aislado que podría suministrar electricidad a una granja o zona rural donde no llegue ninguna acometida eléctrica. Las principales ventajas asociadas a estas fuentes de energía son: la menor contaminación ambiental, el ahorro en el consumo del combustible, el suministro eléctrico en zonas aisladas, que facilita el desarrollo económico y social de la región y la utilización de energías renovables. Su principal desventaja es el alto costo de inversión inicial.

Algunos aspectos técnicos de los sistemas híbridos aún están en la etapa de investigación y desarrollo. Hay programas en los que se analiza la integración de diversas fuentes de energía (eléctricas - térmicas) y la entrega de energía a los consumidores. Diversos tipos de sistemas híbridos han sido demostrados en Europa mediante el desarrollo de estudios pilotos. Estos sistemas de demostración proveen electricidad a edificios aislados que no están conectados a la red eléctrica pública.

Anexo B- Glosario

Autoabastecimiento: es la generación de energía eléctrica para fines de autoconsumo siempre y cuando dicha energía se destine a satisfacer las necesidades de personas físicas o morales y no resulte inconveniente para el país.

Ciclo del combustible nuclear: conjunto de procesos relacionados con las centrales eléctricas termonucleares. Es un ciclo cerrado al que se somete al material fisionable usado que puede incluir un reprocesamiento para su posterior utilización.

Cogeneración: es la producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas.

Colusión: acuerdo en que dos o más empresas de un determinado mercado definen que cada una actuará de manera concentrada respecto del resto de las demás empresas. El fin de este tipo de acuerdo es que cada una de las empresas participantes en la colusión, tome control de una determinada porción del mercado en el cual opera y actúa de manera monopólica impidiendo a otras empresas entrar al mercado.

Combustibles fósiles: sustancias combustibles procedentes de residuos vegetales o animales almacenados en periodos de tiempo muy largo, hace mucho tiempo. Son el petróleo, gas natural, esquistos bituminosos, pizarras y arenas asiáticas.

Central eléctrica: instalación donde se efectúa la transformación de una fuente de energía primaria en energía eléctrica.

Cambio climático: se refiere a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Dicho cambio de clima puede ser atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas, que alerta la composición de la

atmósfera mundial y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables.

Cambio tecnológico: en el contexto de la investigación se considera como la continua innovación y difusión de tecnologías, que han surgido paralelamente al desarrollo de la industria eléctrica.

Desregulación: es un nombre poco apropiado. Ningún mercado de electricidad ha sido (o puede estar) totalmente sin regulación. En la práctica, el buen funcionamiento del mercado competitivo necesita ser regulado. Desde la perspectiva económica los mercados eléctricos requieren como mínimo, un mercado organizado para regular el flujo de energía. Igualmente, se necesita monitorear el mercado para evitar comportamientos oportunistas y de monopolio.

Electricidad: forma de energía que se puede considerar relacionada con los electrones y los fenómenos asociados a ellos.

Economías de escala: se presenta cuando al incrementar los insumos de manera proporcional, la cantidad de los bienes y servicios producidos crece más que los factores de producción. Es decir, que los costos unitarios de producción disminuyen a medida que aumenta la producción.

Eficiencia alcativa: habilidad de combinar insumos y productos en procesos óptimos, dados sus precios.

Eficiencia energética: idea general de mejora de comportamiento energético de un dispositivo, proceso o sistema. También cociente entre la energía mínima y la real consumida en un proceso, dispositivo o sistema.

Eficiencia económica: se relaciona con la producción óptima y al consumo de los bienes y servicios.

Exportación: es la generación de energía eléctrica para destinarse a la exportación, a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos. Los permisionarios en esta modalidad no pueden enajenar dentro del territorio nacional la energía eléctrica generada, salvo que obtengan permiso de la CRE para realizar dicha actividad en la modalidad de que se trate.

Fuentes renovables de energía: formas de energía que se reproducen temporalmente con periodos fijos o variables. Incluyen la solar, hidráulica, biomasa, eólica, de las mareas, de las olas y geotérmica.

Formas organizacionales: se definen como los modelos básicos de organización industrial, los cuales han sido adoptados a nivel mundial, desde el modelo de monopolio público o privado establecido en la década de los 30's, hasta los modelos de mercado abierto adoptados a mediados de los 80's. Son los siguientes: 1) monopolio público o privado regulado; 2) comprador único; 3) competencia mayorista; y 4) competencia minorista.

Gases efecto invernadero (GEI): gases atmosféricos que producen el efecto invernadero sobre el planeta tierra. Los principales son: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso y halocarburos.

Globalización de los mercados: las industrias para poder competir deben tener acceso a insumos de igual o menor precio, calidad y condiciones de servicio que los de su competencia.

Importación: es la adquisición de energía eléctrica proveniente de plantas generadoras establecidas en el extranjero mediante actos jurídicos celebrados directamente entre el abastecedor de la energía eléctrica y el consumidor de la misma.

Ley de servicio público de energía eléctrica: la ley fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de diciembre de 1992, en la cual se incorporaron seis modalidades que no constituyen servicio público. Modalidades de: cogeneración, productor independiente, pequeña producción y exportación e importación de energía eléctrica.

Liberalización: la liberalización de un sector de una actividad económica altamente intervenida y regulada por el gobierno, consiste de manera general, en el mismo cambio hacia la regulación del mercado, que es con los principios de libre competencia. Además, es sinónimo de reestructuración. Se refiere a los intentos de introducir la competencia en algunos o todos los segmentos del mercado y eliminar las barreras de entrada al comercio y el intercambio. La Unión Europea, es un ejemplo, ha realizado esfuerzos en virtud de la liberalización del mercado.

Regulación económica: se utiliza para controlar precios, costos, inversión y calidad del servicio, y es instrumento utilizado en áreas donde la competencia no es posible, como son la transmisión y distribución de energía. La regulación debe promover que las empresas participantes en el sector regulado se comporten de manera eficiente.

Privatización: es la venta de activos de propiedad del Estado al sector privado.

Producción independiente: es la generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor de 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la CFE o a la exportación.

Preocupaciones humanas: se refieren a los factores exógenos tales como políticos, económicos y medio ambientales que no dependen de la voluntad de los actores, los cuales han ido condicionando el desarrollo de la industria eléctrica a través de normas más severas, acuerdos y compromisos. Asimismo, dada la gran relevancia de dichas preocupaciones han sido consideradas en la agenda de política por los gobiernos.

Pequeña producción: es la generación de energía eléctrica destinada en su totalidad a la venta a CFE, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor de 30 MW en un área determinada. Al autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW. A la exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.

Poder del mercado: es el poder que tiene un productor de un bien o servicio para influir en el precio por arriba de su costo marginal.

Subaditividad de costos: se entiende cuando una sola empresa es capaz de producir la cantidad que se demanda del bien a un costo menor o igual, al que tendrían dos o más empresas.