



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Economía

La industria eléctrica mexicana: integración vertical y
competencia. Evolución de una industria estratégica para el
crecimiento económico nacional

T e s i s a

Que para obtener el título de

Licenciada en Economía

P r e s e n t a

Pamela Anguiano Mejía

Director de Tesis

Dr. Samuel Ortiz Velásquez



Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*A mi familia: por todo el amor y
el apoyo que recibo siempre...*

Índice

	Página
Introducción	6
1. La industria y el desarrollo económico	14
1.1.Economía del desarrollo	16
1.2.Estructuralismo latinoamericano	18
1.3.Teorías poskeynesianas	21
1.4.Conclusiones preliminares	23
2. La industria eléctrica en el mundo	24
2.1. El desarrollo tecnológico de la industria eléctrica	25
2.2.Modelos de la industria eléctrica	30
2.3.Organización de la industria eléctrica	39
2.4.Panorama de la industria eléctrica en el mundo	54
2.5. Conclusiones preliminares	67
3. La industria eléctrica en México	68
3.1.Desarrollo de la industria eléctrica en México	69
3.2. Reformas a la industria eléctrica	77
3.3. T-MEC / Comercio exterior	85
3.4. Precios de electricidad	89
3.5. Conclusiones preliminares	90
4. Economía de la industria eléctrica	92
4.1. Producto Interno Bruto	94
4.2. Determinantes del crecimiento del producto	95
4.3. Empleos	97
4.4. Relación con otras industrias	99
4.5. Conclusiones preliminares	102
Conclusiones	104
Fuentes	108

Índice de cuadros y gráficos

	Página
Cuadro 1. Industrialización y conocimiento científico.....	27
Cuadro 2. Modelos de la industria eléctrica.....	35
Cuadro 3. Insumos y actividades de un negocio eléctrico.....	53
Cuadro 4. Crecimiento promedio anual de producción de electricidad por fuente de energía 2010-2020.....	57
Cuadro 5. Principales empresas eléctricas en el mundo por valor de mercado, 2021 (miles de millones de dólares).....	58
Cuadro 6. Países con mayor y menor consumo de energía eléctrica 2021 (TWh).....	61
Cuadro 7. Organización de la industria eléctrica en diferentes países.....	66
Cuadro 8. México: tasa de crecimiento anual de infraestructura de líneas de transmisión por nivel de tensión (%).....	76
Cuadro 9. Reforma a la ley de la industria eléctrica de 2021.....	81
Cuadro 10. Tasas de crecimiento del promedio de las tarifas eléctricas.....	89
Cuadro 11. Clasificación industrial relacionada con la industria eléctrica.....	93
Cuadro 12. México: determinantes inmediatos del crecimiento del producto (1992-2021).....	96
Cuadro 13. Coeficientes de encadenamientos de la industria eléctrica.....	101

	Página
Gráfico 1. Innovación tecnológica y economía.....	26
Gráfico 2. Producción de electricidad por fuente 1990-2020 (GWh).....	55
Gráfico 3. Abanico de fuentes de energía eléctrica en el mundo 2020 (%)......	56
Gráfico 4. Mix de producción de Électricité de France 2022 (%)......	59
Gráfico 5. Inversión mundial en la industria eléctrica 2017-2020 (miles de millones de dólares).....	60
Gráfico 6. China, Estados Unidos e India: balanza comercial 1990-2020 (TJ)	62
Gráfico 7. México: tasa de crecimiento de producción de electricidad 2003-2020 (%).....	73
Gráfico 8. México: matriz energética 2021 (%)......	74
Gráfico 9. México: producción de PIEs por CCC (% de generación).....	75
Gráfico 10. México: balanza comercial 1990-2020 (TJ).	87
Gráfico 11. México: crecimiento del PIB nacional y de la industria eléctrica 2004-2022.....	95
Gráfico 12. México: empleos en la industria eléctrica 2003-2021 (puestos de trabajo ocupados).....	97
Gráfico 13: México: remuneraciones medias dependientes de la razón social (pesos por puesto).....	99

Introducción

Actualmente, la electricidad es fundamental para el funcionamiento de nuestras sociedades por ser un bien de consumo final y también por ser un recurso indispensable para la producción de prácticamente todos los bienes y servicios. La industria eléctrica tiene una importancia estratégica para el desarrollo de un país pues un sector eléctrico robusto y confiable permite que se lleven a cabo todas las actividades productivas necesarias para su desarrollo.

En México, la tendencia del consumo de electricidad creció al menos, según el Sistema de Información Energética de la SENER, de 2012 a 2021 a una tasa promedio anual de 2.5% anual, considerando el consumo de los hogares y la electricidad requerida para llevar a cabo los procesos de producción, es decir, el consumo industrial. Para 2020, según datos del Banco Mundial, el 90.4% de la población en México tenía acceso a la electricidad (Acceso a la electricidad, Banco Mundial, consulta 2023).

La electricidad como mercancía tiene las características de ser un bien preferente que no admite sustitutos, que presenta una demanda casi perfectamente inelástica al precio y que, al menos hasta ahora, no es almacenable a gran escala por lo que la potencia eléctrica generada debe ser prácticamente igual a la potencia demandada más las pérdidas del sistema (Hu, Zhaoguang y Hu, Zheng, 2013, p. 10). Así, la demanda de electricidad tiene considerables variaciones pues está sujeta a las actividades de los usuarios, con ritmos diarios, semanales, mensuales y estacionarios. La electricidad es producida a partir de diferentes fuentes y debe suministrarse de manera continua pues las irrupciones causan daños y pérdidas, es por ello que debe suministrarse a través de la interconexión coordinada de sistemas eléctricos.

El sector eléctrico es sumamente importante para los países, pues está directamente ligado con el crecimiento económico y con la seguridad nacional.¹ En la primera mitad del Siglo XX comenzó a usarse el término de seguridad energética en un contexto geopolítico asociado al suministro de combustibles para las fuerzas armadas, pero después adquirió un sentido más amplio cuando los recursos energéticos y la energía por sí misma adquirieron mayor relevancia e importancia. Actualmente, el concepto de seguridad energética ya no se refiere únicamente al abastecimiento y al precio de energéticos y de electricidad, sino también a la seguridad de las instalaciones relacionadas, al cuidado del medio ambiente e incluso, a las condiciones que llevarían a considerar que las instalaciones favorecen a un entorno social sano.

Además, la industria eléctrica se ha colocado en la agenda de la cooperación internacional porque en 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la que se acordó que los países se comprometían a “garantizar el acceso a energía asequible, fiable, sostenible y moderna” (Objetivos de desarrollo sostenible, Naciones Unidas, consulta 2022): un gran reto considerando que más del 10% de la población mundial aún no tiene acceso a servicios modernos de electricidad, por el creciente uso de energías renovables y por el efecto que la industria eléctrica tiene directamente en el cambio climático.

En México se ha generado un volumen importante de trabajos relacionados con la industria eléctrica que van desde las investigaciones sobre aspectos técnicos de la industria pasando por los ámbitos jurídico, económico y político, hasta trabajos que consideran varios de esos aspectos para obtener una aproximación más compleja a la industria eléctrica. Por ejemplo, Viqueira Landa analiza la industria eléctrica en México en un contexto de crisis económica, de apertura comercial y de una reforma a la industria eléctrica.² El autor propone no desintegrar la industria eléctrica de forma vertical pero descentralizarla, creando ocho empresas regionales (las de las ocho zonas que conformaban el Sistema Eléctrico Nacional)

¹ Por ejemplo, Lenin afirmó que el Comunismo era el poder soviético más la electrificación de todo el país. Véase Williams, J.B., *The Electric Century: How the taming of lightning shaped the modern world*, Springer Praxis Books, 2018, Reino Unido, p. 2, [consulta en línea], disponible en [https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/book/10.1007%2F978-3-319-51155-9](https://link.springer-com.pbidi.unam.mx:2443/book/10.1007%2F978-3-319-51155-9)

² Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, Diario oficial de la Federación, 23 de diciembre de 1992.

donde se aceptaría la participación de capitales privados pero siempre coordinadas por un organismo nacional (Viqueira Landa, 1995).

Para Viqueira Landa los riesgos de la desintegración de las fases de la industria eléctrica (generación, transmisión, distribución y venta) con la finalidad de permitir la competencia eran altos por lo que su propuesta consideraba hacer frente a retos ambientales y de uso eficiente de recursos y de energía mediante la descentralización de la industria eléctrica para que cada empresa regional cumpliera con todas las funciones que le fueran encomendadas, haciendo cada empresa más eficiente con respecto a la empresa nacional y operando con recursos regionales.

En el contexto de la Reforma a la Ley de la Industria Eléctrica de 1992 que permitió la participación de privados en la generación a partir del Productor Independiente de Energía (PIE) y los Pequeños Productores (PP) y de la de 2004 que incorporó a la legislación las figuras de cogeneración, autoabastecimiento y mercados de importación y exportación de energía, se realizó un análisis sobre la inversión privada en el sector eléctrico en México en el que Sánchez Salazar, Casado Izquierdo y Saavedra Silva (2004) concluyen que los proyectos de energía eléctrica privados, principalmente bajo la figura de Productor Independiente, no fueron suficientes para satisfacer la demanda creciente de electricidad, que sólo respondieron a los intereses del capital y que, debido a la retirada del Estado en el sector, se abandonó el control de esta área estratégica comprometiendo la soberanía del país y sus posibilidades de desarrollo.

En contraste, Hernández Soto (2005) concluyó que la privatización podría ser una alternativa para mejorar el bienestar global de la economía pues el gobierno federal podría disminuir o eliminar los subsidios a la CFE y se modernizaría la industria, sin embargo, el consumidor sí tendría pérdidas en las primeras fases de apertura y se necesitaría en todo momento un organismo central de operación global que coordine las unidades de operación de forma centralizada. Ahora bien, el autor también considera que no es necesario privatizar la industria eléctrica, sino que el Estado podría permitir la participación del capital privado a través de concesiones primero en la fase de generación y después en las otras etapas de la organización de la industria eléctrica creando un mercado eléctrico y permitiendo la

modernización de la industria para obtener mayores beneficios de la industria eléctrica sin comprometer el liderazgo del Estado en esa área (Hernández Soto, 2005).

En otro artículo de 2007 sobre economías de escala en la industria eléctrica mexicana, se examinan las características que por mucho tiempo hicieron que la industria fuera considerada como un monopolio natural. Se concluye que, debido a los cambios tecnológicos, el concepto de monopolio natural en diversas industrias, incluyendo la eléctrica, se estaba derrumbando y que, mediante participación de la inversión privada se podían liberar recursos destinados a la CFE para gasto social; permitiendo también un efecto positivo en la tasa de crecimiento de la economía (Díaz Bautista y Romero Patiño, 2007).

Por otro lado, Molina Vargas hizo un análisis de la integración vertical de la industria y de la adopción del modelo del comprador único en los años noventa. Concluyó que, aunque existe apertura en la generación de electricidad; dado que los Productores Independientes de Energía (PIE) debían vender su producción a la CFE para que ésta la comercializara al usuario final; no se podía ofrecer al consumidor una tarifa competitiva. Su propuesta fue que existiera otra empresa estatal con el monopolio de transmisión y distribución (sin involucrarse en la generación) para que opere las redes eléctricas y que cualquier generador pueda comercializar su producto (Molina Vargas, 2017).

En el 2013 se dio una reforma energética completada con leyes secundarias en 2014 que ampliaron la posibilidad de participación de la inversión privada en la industria eléctrica mexicana. En la Revista de Problemas del Desarrollo de 2016, Rodríguez Padilla hace un análisis de la tensión entre el Estado y el mercado y afirma que la reforma permitió la participación del capital privado en el mercado eléctrico sin quitarle al Estado su rectoría debido a que el monopolio público no ofrecía las mejores tarifas y a que la apertura aumentaría el crecimiento económico y el bienestar social. Aún así, el autor consideraba que la pieza clave del funcionamiento del mercado eléctrico era la intervención estatal a través de la Secretaría de Energía pues la reforma tampoco llegaba al nivel de apertura que fomentara el interés de las empresas privadas por participar en el mercado eléctrico mexicano (Rodríguez Padilla, 2015).

A través de técnicas insumo-producto, Vaca, Kido y Núñez (2018) concluyen que las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica distribuyen su

producción a 78 de los 79 subsectores de la economía nacional por lo que confirman que es un sector fundamental para la economía porque aunque la industria eléctrica no tiene una gran participación en cuanto al total de la producción, al producto interno bruto, al empleo ni a la remuneración de asalariados, su relevancia radica en que es un subsector estratégico que provee sus servicios al resto de la economía por lo que tiene un alto encadenamiento hacia adelante.

Los autores (Vaca, Kido y Núñez, 2018) consideran que la participación del capital privado en la industria puede demandar menos mano de obra y que las centrales de generación estatales se verían reemplazadas por ser ineficientes frente a las centrales privadas, lo que podría provocar el aumento del desempleo y la falta de recursos públicos para realizar inversiones en infraestructura básica. En su trabajo concluyen que, por ser un sector tan importante para el desarrollo nacional, no se debería privilegiar el mercado eléctrico mayorista mediante la inversión de capital privado, por el contrario, proponen fortalecer la participación estatal.

Además de los artículos académicos, constantemente se publican artículos de análisis y opinión sobre el tema de la industria eléctrica en México, esto se debe a la importancia del sector para el desarrollo nacional, a las innovaciones tecnológicas, a las posturas políticas y al constante movimiento de la industria, no sólo nacional sino también internacional.

Analizar la industria eléctrica es relevante porque constantemente presenta innovaciones tecnológicas y estas innovaciones tienen efectos directos en la producción, transmisión, distribución y consumo de electricidad, así como en las inversiones, en los costos de la electricidad y en la vulnerabilidad o fortaleza de México en materia eléctrica. México es un país con grandes oportunidades para impulsar la industria y para que ésta, a su vez, funcione como motor para el crecimiento económico del país.

Existen varios factores que contribuyen a que el mercado de electricidad sea poco comparable con otro mercado, entre ellos se encuentran la participación estatal en la industria por ser identificada como un área estratégica para los países; la existencia y desmantelamiento paulatino de un monopolio verticalmente integrado; la innovación tecnológica constante que permite cambios que repercuten no solamente en el desarrollo técnico sino también en la dinámica del mercado eléctrico; la particularidad de la electricidad como un producto que no

se puede almacenar (al menos no todavía a gran escala); el efecto que la industria eléctrica tiene en otras industrias, y; que cada una de las fases de la industria repercute en las otras, dificultando la posibilidad de desintegrarlas.

En este trabajo se busca conocer cómo se organiza la industria eléctrica en México, la forma en que interactúan el sector público y el sector privado en la industria y cuáles son las condiciones actuales de la industria que podrían definir su futuro a corto y mediano plazo, particularmente las creadas por la reforma a la Ley de la Industria Eléctrica de 2022.

El objetivo general de este trabajo consiste en examinar la organización de la industria eléctrica en México y su relación con el desarrollo económico. Los objetivos particulares son: desarrollar un marco analítico para examinar la industria eléctrica través de una revisión de autores vinculados a la teoría del desarrollo y el estructuralismo latinoamericano; presentar una perspectiva histórica de la evolución de la organización de la industria eléctrica en el mundo; examinar la evolución histórica, tendencias, importancia y la organización de la industria eléctrica en México, así como la reforma la Ley de la Industria Eléctrica impulsada por el gobierno del Presidente Andrés Manuel López Obrador; examinar el estado de la industria eléctrica en México de acuerdo con la información del INEGI respecto a la industria eléctrica, y; presentar conclusiones y recomendaciones de política encaminadas a mejorar encadenamientos productivos.

La hipótesis fundamental de esta investigación es que la industria eléctrica tiene gran importancia histórica y una fuerte influencia política en el país y es, al mismo tiempo, estratégica para el desarrollo de la economía nacional en tanto que está relacionada con gran parte de las actividades económicas y que presenta mayor dinamismo que el de la economía nacional en su conjunto. Con este análisis se encuentra que la industria eléctrica, a corto plazo, no frena el crecimiento de una economía, pero sí puede significar una limitante de la actividad económica a mediano y largo plazo, que las innovaciones tecnológicas de la industria eléctrica llevan a constantes cambios en su organización y que, en el caso de México, dada la evolución de la industria, se requiere participación y planificación estatal pues un sistema eléctrico robusto es fundamental para el crecimiento económico.

El primer capítulo contiene las herramientas teóricas de la relación entre la industria y el desarrollo económico. Se definen los conceptos de crecimiento y desarrollo económicos y se

revisan algunas ideas de la relación industria-desarrollo a partir de teóricos que se reconocen dentro de los estudios de la economía del desarrollo. Los autores que se revisan son Albert O. Hirschman, Raúl Prebisch y Nicolás Kaldor. Los primeros dos autores realizaron sus estudios considerando las particularidades de América Latina, especialmente Raúl Prebisch. Por su parte, Nicolás Kaldor realiza su trabajo desde una perspectiva poskeynesiana no necesariamente enfocada en América Latina pero sí con la característica común con los primeros dos autores de considerar importante la relación entre industria y crecimiento y desarrollo económico.

El segundo capítulo brinda un contexto amplio de la industria eléctrica, comenzando por sus antecedentes de empresa única verticalmente integrada generalmente propiedad del Estado, las características generales de los modelos actuales de la industria eléctrica y explicando la tendencia hacia su apertura. Se explican las cuatro fases de la organización de la industria eléctrica con especial atención en la generación debido a que es donde se encuentra la mayor competencia no sólo entre empresas sino entre fuentes de generación. Además, se revisa el panorama de la industria eléctrica en el mundo: las tendencias de producción, de consumo, de inversión y de comercio.

En el tercer capítulo se hace un recuento de la evolución de la industria eléctrica en México, desde que la electricidad comenzó a ofrecerse únicamente como producto industrial, pasando por su carácter de servicio público a través de las empresas estatales, el desarrollo de éstas y las posteriores reformas de 1992, 2004 y de 2013 que tendieron a la apertura de la industria como resultado de un proceso de liberalización que inició el país desde su incorporación a la Organización Mundial del Comercio (OMC) y con la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), hasta la reforma propuesta en 2021 que nuevamente le da a la empresa estatal gran influencia en la industria y que busca revertir algunas características de la industria que se otorgaron en reformas anteriores.

Finalmente, el cuarto capítulo muestra un análisis de la industria eléctrica y la importancia que tiene por sí misma para la economía nacional utilizando el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), considerando la rama 2211 que se refiere a generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Se revisa el

crecimiento de la industria, el tipo de empleo que ofrece y se identifican las principales industrias que dependen de la industria eléctrica.

1. La industria y el desarrollo económico

En este capítulo se revisarán algunas teorías que explican la relación entre el crecimiento de la industria y el desarrollo económico. La primera corriente que se revisará es la de la Economía del desarrollo cuyo principal referente es Albert Hirschman. Sus aportaciones son traídas a este trabajo por la idea de los eslabonamientos para lograr el desarrollo. Es decir, consideraba que los gobiernos debían enfocar sus esfuerzos en el crecimiento de una industria con encadenamientos hacia adelante y hacia atrás para estimular el conjunto de la economía nacional.

Por la importancia para la región, se revisará también el estructuralismo latinoamericano que pone en un papel central de la economía a la industrialización en un mundo dividido entre centro y periferia con las particularidades de cada una de estas clasificaciones. Para Raúl Prebisch, fundador del estructuralismo latinoamericano, la industrialización era el único camino para que los países de la periferia elevaran su nivel de vida.

La tercera escuela que se revisará es la de las teorías poskeynesianas, particularmente de Nicolás Kaldor. Para él, la actividad manufacturera crea ciclos de crecimiento económico siendo la industrialización un factor fundamental para el desarrollo económico. Con sus leyes, él confirma que la industria manufacturera es un motor de crecimiento por sus eslabonamientos hacia adelante y hacia atrás.

Las teorías y los autores anteriores se eligieron por la importancia que dan a la industria para el desarrollo económico. En este capítulo se busca desarrollar un marco analítico para examinar a la industria eléctrica y entender, desde una perspectiva teórica, su importancia

estratégica para el desarrollo de la economía nacional por los eslabonamientos que puede establecer con otras industrias.

A lo largo de la historia se han planteado diversas teorías sobre el crecimiento económico como un medio para aumentar la riqueza. Por ejemplo, en el Siglo XVIII para los fisiócratas franceses, la agricultura era la única actividad económica capaz de generar producto neto, por encima de la industria y el comercio. Desde una perspectiva clásica, para Adam Smith el motor económico es la división del trabajo y la especialización. David Ricardo consideraba que para evitar los rendimientos marginales decrecientes y un eventual estancamiento económico, era necesario el progreso técnico y el comercio exterior. Así, las teorías del crecimiento económico responden a los contextos espaciales y temporales en que se formulan.

Para Thomas S. Kuhn la historia de las ciencias en distintas disciplinas no es más que un ciclo de “ciencia normal” y “revolución”, considera que en las etapas de ciencia normal existe entre los científicos un paradigma dominante que une la teoría y el método. Con el tiempo se da una acumulación de anomalías seguida de una revolución con un cambio de paradigma y, como resultado, se llega nuevamente a una etapa de ciencia normal. Sin embargo, como afirma Hirschman, en las ciencias sociales generalmente ante un nuevo paradigma surgen casi de inmediato críticas y reservas por lo que es difícil creer en el conocimiento acumulativo característico de otras ciencias: “La historia de la economía del desarrollo desde 1950 [...] es una historia de progreso si se define el avance intelectual como la pérdida gradual de certeza, la proyección gradual de la medida de nuestra ignorancia, antes oculta por una certeza inicial que se hacía parecer como paradigma” (Hirschman, 1983, p. 1352).

Algunos de los conceptos más importantes para la Economía son el de crecimiento y desarrollo económico. El crecimiento económico se expresa en el aumento del Producto Interno Bruto que es la producción total de bienes y servicios en una economía. Para lograr el aumento del PIB se requiere de recursos y esfuerzos bien dirigidos, así como de progreso en técnicas de producción. Por su parte, el desarrollo económico se refiere a aspectos más amplios que únicamente al crecimiento del PIB. El crecimiento económico ha sido relativamente estable, con tasas de crecimiento bajas pero generalmente positivas que son muestra de una expansión económica. En el mundo existen diversas ideas de cómo conseguir

un mejor desempeño económico, aunque se sabe que no existe un camino único para todas las economías.

Si el crecimiento económico es ya un tema en el que existen acuerdos y desacuerdos, el desarrollo económico es un concepto más complejo pues el crecimiento por sí mismo no implica desarrollo pero, para que exista desarrollo económico, forzosamente tiene que haber crecimiento. La razón más evidente es que si todos los días se incrementa la población, la producción tiene que aumentar también para cubrir las necesidades de consumo de las sociedades.

El desarrollo económico requiere del crecimiento de la economía como primera condición pero también de cierto nivel de bienestar social, determinado por la distribución del ingreso, la sustentabilidad, la equidad, el acceso a la educación, a la salud, a la cultura, a la tecnología, e incluso; de aspectos políticos como el fortalecimiento democrático e institucional, entre otros. El desarrollo económico podría considerarse el objetivo del crecimiento económico pues representa el mejoramiento de las condiciones de vida de las personas, es decir, la forma concreta de percibir el crecimiento económico de una sociedad en su conjunto.

En América Latina, las economías no han logrado alcanzar el crecimiento y, por lo tanto, el desarrollo económico de otras regiones. Las primeras causas se han atribuido a su pasado colonial, a la estructura económico-social de la región y a la dinámica económica que existía cuando la región se incorporó a la economía mundial. Entre las causas más recientes se encuentran los poco eficaces periodos de sustitución de importaciones, seguidos de la implementación de medidas neoliberales y aperturas con falta de planificación, el fuerte intervencionismo extranjero, los altos índices de concentración de la riqueza, problemas estructurales en los sistemas educativos, falta de inversión, problemas de productividad y de competitividad, problemas de seguridad, debilidad institucional, entre otros.

1.1.Economía del Desarrollo

Al final de la Segunda Guerra Mundial comenzó a utilizarse el concepto de desarrollo económico y surgió la Economía del desarrollo porque la Guerra fue la muestra de que la

planificación estatal podía “[...] maximizar la producción, movilizar recursos ociosos, alcanzar el pleno empleo, así como, [...] controlar la inflación y conseguir una distribución más igualitaria de la renta [...]” (Bustelo, p. 107). Además, dados los progresos estadísticos, en estos años fue posible identificar las grandes disparidades de renta en los países del mundo, y; se creó la Organización de Naciones Unidas (ONU) con su Consejo Económico y Social.

Según Hirschman, uno de los principales exponentes de la Economía del desarrollo,

“La Economía del desarrollo aprovechó el descrédito sin precedentes en que había caído la Economía ortodoxa como resultado de la depresión de los años treinta y del éxito, también sin precedente, de un ataque a la ortodoxia proveniente del interior del ‘establecimiento’ de la ciencia económica. Por supuesto, me refiero [AH] a la Revolución keynesiana de los años treinta, que se convirtió en la nueva economía y casi en la nueva ortodoxia en los años cuarenta y cincuenta” (Hirschman, 1985, p. 452).

Hirschman consideraba que el problema del subdesarrollo se debía fundamentalmente a la inmovilidad de los factores y no a la escasez de capital y que para movilizar la economía era necesaria una estrategia de desarrollo desequilibrado sustentada en sectores con alta capacidad de eslabonamientos que generaran presiones en otros sectores: es decir, un multiplicador de inversión que también aumente la capacidad productiva de una economía.

Hirschman estaba a favor de una estrategia de desarrollo desequilibrado pues consideraba que, por el contrario, un desarrollo equilibrado que implica la puesta en marcha de diferentes políticas en varios ámbitos de forma simultánea para alcanzar el desarrollo era una estrategia muy difícil, si no imposible de implementar, en países en desarrollo. Para él, el camino que debían seguir estos países era el del desarrollo desequilibrado, con soluciones secuenciales y no simultaneas, como era propuesto hasta entonces.

Los eslabonamientos a que se refiere Hirschman son un mecanismo fundamental para el desarrollo y la industrialización, también conocidos como enlaces o encadenamientos hacia adelante y hacia atrás. Los enlaces hacia atrás son los que generan inversiones en instalaciones proveedoras de insumos y, los enlaces hacia adelante conducen a la inversión en instalaciones empleadoras de los productos. Hirschman define los encadenamientos como “[...] una secuencia característica más o menos imperativa, de decisiones de inversión que

ocurren en el proceso de industrialización y desarrollo económico [...]”. (Blanco, Luis Armando. 2013)

Hirschman planteó que se podía alcanzar un mayor desarrollo si hay inversiones en proyectos e industrias con fuertes efectos de enlace o encadenamiento hacia adelante o hacia atrás, siendo los efectos:

“fuerzas generadoras de inversiones que se ponen en movimiento, a través de las relaciones insumo-producto, cuando son inadecuadas o inexistentes las instalaciones productivas que aportan insumos a esa línea [n]o utilizan sus productos. Los enlaces hacia atrás conducen a nuevas inversiones en instalaciones proveedoras de insumos y los enlaces hacia adelante conducen a nuevas inversiones en instalaciones usuarias del producto.” (Hirschman, 1983, p. 1357)

Para Hirschman, la inversión es importante porque es un elemento de la demanda efectiva, crea potencial de producción y marca la pauta para nuevas inversiones. Relacionado con la inversión, Hirschman identifica el efecto de complementariedad que sucede cuando una industria se aprovecha de las economías externas creadas por una expansión previa de otra industria; a su vez, la primera industria creará también nuevas economías externas que posteriormente pueden ser usadas por otras nuevas industrias. Hirschman considera que el efecto de complementariedad es “el mecanismo esencial para canalizar nuevas energías hacia el desarrollo económico. Por tanto, uno de los objetivos principales de la política de desarrollo debe ser la de inducir la operación máxima de este efecto” (Blanco, Luis Armando. 2013).

La teoría de los encadenamientos así como el planteamiento del crecimiento hacia adentro fueron centrales en el proceso de industrialización por sustitución de importaciones en varias economías de Latinoamérica. La industrialización fue el objetivo de los encadenamientos.

1.2. Estructuralismo latinoamericano

En la década de los ochenta, la brecha del PIB entre las economías de la región que comprende actualmente la Unión Europea y otras de Asia Oriental y del Pacífico comenzó a

ampliarse de forma significativa respecto a los países de Latinoamérica, en general, y de México en particular. Para explicar el bajo crecimiento de Latinoamérica y para plantear alternativas para el crecimiento se han producido diversos análisis que abordan el problema desde diferentes perspectivas.

Dentro del marco de la Economía del desarrollo, en 1948, bajo el liderazgo del argentino Raúl Prebisch, se creó la CEPAL³ como una organización para ayudar a los países a analizar de forma científica las políticas de desarrollo necesarias para lograr la industrialización de la región, en un contexto de una relación económica internacional asimétrica creada por el comercio internacional, pues los países latinoamericanos, como toda la periferia, importaban una gran variedad de bienes manufacturados y exportaban alimentos y materias primas.

El pensamiento que influyó fundamentalmente los análisis de la CEPAL fue el estructuralismo latinoamericano (1949-1957). Nació como una respuesta a la teoría económica neoclásica que no permitía analizar a los países en desarrollo, particularmente, a los países latinoamericanos.

El estructuralismo latinoamericano parte de los siguientes supuestos:

- Un sistema de centro-periferia heredado de tiempos coloniales pero alimentado por la dinámica reciente de desarrollo y subdesarrollo, siendo parte de un mismo proceso económico internacional.
- Los países centrales y los países periféricos tienen estructuras distintas pues los primeros son homogéneos y diversificados, los segundos son heterogéneos y especializados. La heterogeneidad de los países periféricos se refiere a la coexistencia de una agricultura de exportación de alta productividad y de una agricultura atrasada de subsistencia y la especialización se refiere a la concentración de la exportación en algunos productos primarios, sin una industria, sin diversificación horizontal y sin integración sectorial ni vertical.

³ La CEPAL es una organización emanada de los gobiernos latinoamericanos. Se creó por la resolución 106 (VI) del Consejo Económico y Social. La CEPAL es una de las cinco comisiones regionales de las Naciones Unidas. Se fundó para contribuir al desarrollo económico de América Latina y posteriormente del Caribe con el objetivo de coordinar las acciones encaminadas a su promoción y reforzar las relaciones económicas de los países entre sí y con las demás naciones del mundo.

- Los países del centro y de la periferia integran sus estructuras, aún con las notables diferencias a través de la división internacional del trabajo, siendo unas complemento de las otras.
- Las relaciones entre el centro y la periferia son asimétricas, y la disparidad se ve a cada momento más reforzada, acentuando las diferencias entre desarrollo y subdesarrollo, existiendo uno para el otro haciéndose características inherentes del sistema internacional en su conjunto.
- Rechazo al beneficio mutuo de las relaciones económicas internacionales. En el centro, debido a la fuerza política de los trabajadores y de los empresarios organizados, el aumento de la productividad en las manufacturas no se traducían en menores precios. Así, en los países de la periferia el precio de las manufacturas importadas no bajaba pero sí caían los precios de los productos agrícolas, que sumado a la estructura social de la región, frenaba la productividad laboral, el ahorro y por lo tanto, la acumulación necesaria para la industrialización.

Afirmaba Raúl Prebisch que, dado el desequilibrio internacional, la industrialización era el único camino para que los países de la periferia obtuvieran algún beneficio de los progresos técnicos y elevaran en nivel de vida de sus sociedades. Consideraba que “cuanto más activo sea el comercio exterior en América Latina, tanto mayores serán las posibilidades de aumentar la productividad de su trabajo, mediante la intensa formación de capitales [...]” (Prebisch, Raúl, 1949, p.7); apoyaba la producción primaria siempre que fuera eficaz para aumentar las exportaciones de productos primarios y las importaciones de bienes de capital y consideraba que existía una conexión estrecha entre el desarrollo económico y el comercio exterior.

Para el estructuralismo, el financiamiento externo provee a una economía de divisas y complementaba el esfuerzo interno de ahorro pero, por el concepto de crecimiento hacia adentro que se refiere al desarrollo de industrias nacionales, dicho financiamiento debe ser transitorio, procurando que no aumente con el tiempo pues el capital foráneo podría aumentar las importaciones. La industrialización de las economías es el eje central del estructuralismo y para lograrla, se considera que la planificación Estatal es fundamental, por ser el Estado

quien dicta la política de desarrollo a largo plazo, la planificación no es un sustituto de la economía de mercado, sino un medio para mejorar la eficiencia de la misma.

Para el estructuralismo latinoamericano el desarrollo económico es el aumento del bienestar material expresado en el ingreso real por habitante y en la productividad del trabajo, lo que coincide de forma general con la idea del desarrollo económico de las teorías neoclásicas y keynesianas, logrando el desarrollo hacia adentro, con el establecimiento de industrias nacionales y el desarrollo hacia afuera, incrementando el volumen y el valor de las exportaciones.

Al igual que la CEPAL, el estructuralismo latinoamericano fue objeto de fuerte críticas, los economistas neoclásicos lo acusaron de ser la forma que tomó la influencia del marxismo en América Latina. Por otro lado, los economistas radicales lo acusaron de ser un “[...] apoyo a políticas reformistas y tecnocráticas de desarrollo y productivismo [...]” (Bustelo, P. (1999) p. 200). Actualmente, por la experiencia de diferentes países de la región, se reconoce que la industrialización no es suficiente en América Latina, pues esta sin las políticas correctas puede agravar los problemas de concentración de la renta, exclusión social, aumento de desigualdades sociales y estructurales ya presentes en la región.

1.3. Teorías poskeynesianas

Tradicionalmente, la economía neoclásica considera que la economía de mercado conduce al pleno empleo y que el mercado funciona con perfecta flexibilidad de precios y salarios. Este fue un análisis creado y aplicado en los países europeos que poco o nada explicaban la nueva situación mundial creada a partir de los años treinta y cuarenta. En ese periodo se transitó del liberalismo a un activismo estatal, influido en mayor o menor medida por las ideas keynesianas. La crisis de los años treinta, la Segunda Guerra Mundial y la falta de herramientas analíticas para el subdesarrollo fueron algunas de las razones que llevaron a cuestionar el paradigma neoclásico, que resultó en la formación de una escuela poskeynesiana.

Finalmente, se revisará la perspectiva poskeynesiana de la Economía del desarrollo formulada por Nicolás Kaldor, él analiza los efectos positivos de las industrias manufactureras en una economía en su conjunto, para ellos formuló tres ideas que son conocidas como las leyes de Kaldor:

- La primera ley indica que la tasa de crecimiento de una economía está directamente relacionada con la tasa de crecimiento del sector manufacturero, por lo que identifica a este último como motor del crecimiento por su efecto multiplicador en la economía, es decir, por los fuertes encadenamientos del sector manufacturero hacia adelante y hacia atrás. La primera ley de Kaldor se expresa de la siguiente forma:

$$q_T = a_0 + a_1 q_M$$

$$q_{NM} = a_0 + a_1 q_M$$

Donde q_T es la tasa de crecimiento de la economía en su conjunto q_M la de la industria manufacturera y q_{NM} la de las actividades no manufactureras.

- La segunda ley de Kaldor postula que a un incremento en la tasa de crecimiento de la producción manufacturera le corresponde un aumento en la productividad del trabajo del mismo sector, por el aprendizaje de los trabajadores y por la división del trabajo y la especialización. Se expresa de la siguiente forma:

$$\lambda_M = b_0 + b_1 q_M$$

$$l_M = c_0 + c_1 q_M$$

Donde λ_M es la tasa de crecimiento de productividad del trabajo en la industria manufacturera y l_M es la tasa de crecimiento de del empleo en la industria manufacturera, b_0 es la tasa de crecimiento de la productividad, $c_0 = -b_0$ y $c_1 = 1 - b_1$.

- La tercera ley afirma que la productividad en sectores no manufactureros también aumenta cuando la tasa de crecimiento del producto manufacturero se incrementa y se expresa de la siguiente manera:

$$\lambda_{NM} = d_0 + d_1 q_M - d_2 l_{NM}$$

Donde λ_{NM} es la tasa de crecimiento de productividad del trabajo en las actividades no manufactureras.

El enfoque de Kaldor expresa cómo desde la actividad manufacturera se crean ciclos de crecimiento económico, además; propone la demanda como el motor de crecimiento económico, no la oferta como en los modelos neoclásicos pues el aumento de la demanda produce un incremento de la utilización de la capacidad productiva y de la inversión. Según Kaldor, si se cumplen los supuestos anteriores, entonces una economía está en su camino hacia la industrialización. Kaldor considera la industrialización como una característica común en todos los países desarrollados y por lo tanto, como un factor clave para el desarrollo económico.

1.4. Conclusiones preliminares

Las teorías revisadas son herramientas para entender la relación de la industria y el crecimiento y el desarrollo económico. Particularmente, la organización de la industria eléctrica es parte fundamental para la formulación de una política industrial nacional por la relación que ésta tiene con el resto de las industrias y por el impacto que puede tener no sólo en el sector industrial de un país sino prácticamente en la totalidad de la economía.

La industria eléctrica ha adquirido un papel tan importante en la actualidad porque prácticamente cualquier actividad económica requiere hoy de energía eléctrica, tal vez únicamente dejando fuera algunas actividades primarias de subsistencia. Este uso de la energía eléctrica y la forma en que ha transformado la vida humana puede ser la característica fundamental de la sociedad actual. Las aplicaciones de la energía eléctrica no serían posibles sin todo el desarrollo científico y tecnológico que le permitieron participar de cada aspecto de la actividad económica.

En el siguiente capítulo se revisará el desarrollo de la industria eléctrica en el mundo: su desarrollo científico y tecnológico y su desarrollo en relación con los gobiernos porque la economía política de la industria ha dependido de su desarrollo tecnológico, se revisarán los modelos de la industria, su organización y su estado actual.

2. La industria eléctrica en el mundo

En este capítulo se hará un recuento de los avances científicos y tecnológicos que fueron necesarios para comprender cómo la energía eléctrica se convirtió en un bien de consumo. Se revisarán los modelos de la industria eléctrica comenzando con la primera forma de organización que fue el de la empresa única verticalmente integrada generalmente propiedad de Estado hasta su actual estado en el que es posible la competencia en todas sus fases. Además, se revisará el panorama de la industria eléctrica en el mundo: las tendencias de producción, de consumo, de inversión y de comercio.

El objetivo del capítulo es presentar una perspectiva histórica de la evolución de la organización de la industria eléctrica en el mundo, entendiendo las razones que la hicieron organizarse primero, con una estructura vertical e integrada con una sola figura que cubriera toda la oferta hasta llegar a la situación actual en la que es posible la desintegración de cada una de las fases de la organización, así como la posibilidad de que exista competencia.

La industria eléctrica, al igual que otras industrias, ha evolucionado de acuerdo con las tendencias tecnológicas, económicas y políticas que han sido sus marcos. Por ejemplo, cuando la electricidad comenzó a ser un producto industrial, el resultado del debate en el uso de corriente continua y corriente alterna determinó las estrategias de generación eléctrica. El desarrollo tecnológico permitió la ruptura del modelo verticalmente integrado de la industria, separando las etapas de generación, transmisión, distribución y comercialización, lo que dio pie a la liberalización de la industria. Finalmente, en la actualidad, los esfuerzos tecnológicos de la industria responden a la necesidad de incrementar las fuentes de generación renovables y de abaratar los sistemas de almacenamiento de energía.

Según la Real Academia Española, la industria se refiere a un “negocio o actividad económica” (Industria, RAE, consulta 2019), mientras que un sector se refiere al “conjunto de empresas o negocios que se engloban en un área diferenciada dentro de la actividad económica y productiva” (Sector, RAE, consulta 2019).

Según la Ley de la Industria Eléctrica publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de agosto de 2014, “la industria eléctrica comprende las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como la operación del Mercado Eléctrico Mayorista. El sector eléctrico comprende a la industria eléctrica y a la proveeduría de insumos primarios para dicha industria [...]” (Ley de la Industria Eléctrica, DOF, 2014).

Así, la industria eléctrica es el objeto de estudio de este trabajo pues es el concepto que se refiere a las actividades directamente relacionadas con el suministro de energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización; su planeación, control y dinámica del mercado. El sector eléctrico es un concepto más amplio pues no sólo incluye a la industria eléctrica sino también a las industrias relacionadas con la industria eléctrica, como aquellas de fabricación de maquinaria y equipo tales como motores de combustión interna y de fabricación de componentes y accesorios electrónicos que no están directamente relacionado con las cuatro áreas que conforman fundamentalmente la industria eléctrica.

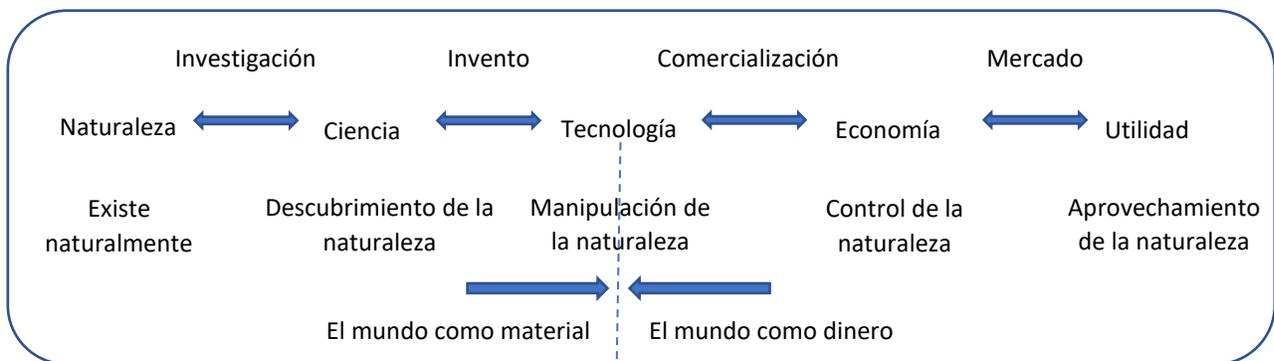
2.1. El desarrollo tecnológico de la industria eléctrica

Actualmente es difícil imaginar un mundo sin energía eléctrica pues su uso es una de las formas más evidentes de cómo la tecnología moldeó al mundo. Antes del S. XX la máquina de vapor era la mejor forma de tener acceso al calor, a la luz y a la movilidad pero tenía algunos problemas, como su tamaño o su inflexibilidad para adaptarse a diversos usos. La humanidad vivió la transición del Siglo XIX del vapor al Siglo XX de la electricidad. Fue el uso de los conocimientos y conclusiones de científicos que la ingeniería y la tecnología pudieron cambiar la dinámica de la vida humana.

Las innovaciones tecnológicas generalmente tienen tres fases: invención, desarrollo y explotación (Digambar M. Tagare, 2011, p.3). El resultado de la innovación tecnológica tiene un impacto sobre la economía. En su libro Ciclos de negocios, Joseph Schumpeter identifica cinco tipos de innovación: la introducción de un nuevo bien a un consumidor; la introducción de un nuevo método de producción de un bien; la apertura de un nuevo mercado; la obtención de una nueva fuente de suministro de un bien, o bien; la implementación de una nueva forma de organizar un negocio que pueda traer consigo una ventaja competitiva (Betz, 2011, p.33). El uso generalizado de la energía eléctrica ha tenido un gran impacto en el desarrollo de la humanidad y, como consecuencia, en la economía porque tuvo efectos en prácticamente todos los ámbitos de la vida de las personas. Cada una de las innovaciones que han hecho posible el funcionamiento de la industria eléctrica como la conocemos hoy, se encuentra en alguna de las cinco categorías que enlista Schumpeter.

La investigación científica permite la creación de inventos que, luego de cierto desarrollo tecnológico, se pueden comercializar en el mercado, provocando el aprovechamiento de la naturaleza. Es con el uso de la tecnología para manipular la naturaleza que la investigación deja el campo de la ciencia y comienza a ser parte de la economía.

Gráfico 1. Innovación tecnológica y economía



Cuadro tomado de Betz (2011) *Managing Technological Innovation: Competitive Advantage from Change*, traducción propia, p. 27

Existen tecnologías centrales o principales (*core technologies*) que, aunque son de una sola industria, sus aplicaciones impactan en diferentes productos y procesos. Generalmente, estas

tecnologías presentan innovaciones de forma muy rápida y son conocidas también como tecnologías estratégicas para la industria. Hay una conexión clara entre ciencia y sociedad y ciencia convertida en innovación tecnológica con efectos económicos, pero el progreso económico y tecnológico no tienen un camino continuo. El conocimiento y la tecnología tienen su propio desarrollo, al igual que la economía y sus ciclos económicos.

Cuadro 1. Relación entre industrialización y conocimiento científico		
Periodo	Descripción	Conocimiento requerido
1770-1800	Inicio de la Revolución Industrial con tecnologías basadas en la máquina de vapor, la producción de acero y el uso de maquinaria en la industria textil.	Comprensión de ciertos principios de física, de gases y de líquidos. Conocimiento de elementos químicos.
1830-1850	Segunda ola de la Revolución Industrial basada en el uso del ferrocarril, de barcos de vapor, del telégrafo y de las lámparas de carbón o de gas.	Conocimiento de la electricidad. Conocimiento del magnetismo.
1870-1895	Tercera ola de expansión económica, con alumbrado eléctrico y uso de energía eléctrica en otras aplicaciones. Uso del teléfono e inicio de la producción de petróleo.	Nuevos conocimientos de la electricidad y el magnetismo. Avances en conocimientos de química.
1895-1930	Cuarta ola de expansión en Europa extendida a Estados Unidos, se da el uso de las nuevas tecnologías en automóviles, aviones, en el radio y en materiales plásticos.	Inención del motor de combustión interna, que requirió conocimientos de química y física. El radio fue posible gracias a los avances en física, electricidad y magnetismo.

Cuadro de elaboración propia con información de Frederick Betz. (2011) *Managing Technological Innovation: Competitive Advantage from Change*

Las relaciones entre ciencia y sociedad, conocimiento y tecnología y tecnología e industria son importantes en este trabajo porque ayudan a comprender cómo los avances tecnológicos moldean el mundo y de forma más específica, como los avances en la industria eléctrica han

llevado a la sociedad que conocemos hoy. En el Cuadro 1 se muestra un resumen de la industrialización europea, sus etapas y los conocimientos requeridos para alcanzarla.

Los productos de alta tecnología⁴ se vuelven mercancías. Las industrias se vuelven maduras cuando los cambios en sus productos o en sus procesos no cambian rápidamente. “Cuando una industria alcanza su madurez tecnológica y sus productos se vuelven mercancías, las ganancias de cada empresa que la componen es determinada por condiciones externas como el número de competidores y la capacidad de producción de la industria” (Betz, 2011, p.50). Así, las empresas de una industria pueden competir primero por innovación tecnológica y después por una estrategia de su producto en el mercado.

La producción de energía eléctrica ha evolucionado a lo largo de la historia. Ya en la Antigua Grecia, Tales de Mileto descubrió que si frotaba ámbar en la piel de un gato podía atraer plumas de ave. Más adelante, en el Siglo XVII William Gilbert utilizó el término de “*electricus*” para referirse a las cualidades de atracción del ámbar.⁵ Después, Francis Bacon utilizó por primera vez la palabra “*electric*” y Sir Thomas Browne utilizó el término “*electricity*”.

“La palabra ‘electricidad’ procede del latín *electrum*, y a su vez del griego *élektron*, o ámbar. La referencia al ámbar proviene de un descubrimiento registrado por el científico francés Charles François de Cisternay du Fay, que en el Siglo XVIII identificó la existencia de dos tipos de cargas eléctricas que posteriormente Benjamin Franklin identificó como positiva y negativa. Las cargas positivas se manifestaban al frotar el vidrio, y las negativas al frotar sustancias resinosas como el ámbar.” (¿Qué es la electricidad, Foro Nuclear, consulta 2019)

Franklin también descubrió que la luz era una forma de energía eléctrica.⁶ Al final del Siglo XVIII se hizo la conexión de magnetismo y electricidad, con sus fuerzas de repulsión y atracción que permitió el desarrollo del motor eléctrico, del telégrafo, del teléfono, del dinamo (generador), del radio, del alumbrado, entre otros.

⁴ Las industrias de alta tecnología son aquellas que se expanden más fuertemente en el comercio internacional y su dinamismo y ayuda a mejorar el desempeño en otros sectores. (Hatzichronoglou Thomas, 4).

⁵ Derivado del latín clásico *electrum* que significa ámbar.

⁶ Gracias a ese descubrimiento, Franklin tuvo las bases para inventar el pararrayos.

Ahora bien, la electricidad se produce por el movimiento e interacción de cargas eléctricas positivas y negativas en materiales conductores. La energía eléctrica se manifiesta en cuatro ámbitos: físico, luminoso, mecánico y térmico. Así, la electricidad es un insumo para actividades secundarias y terciarias y es usada también en las actividades primarias. A mayor desarrollo tecnológico y crecimiento económico, aumenta la necesidad de electrificación de un país.

Desde los Siglos XIX y XX comenzaron a establecerse las primeras centrales eléctricas con diversos combustibles como carbón, petróleo o gas o por la energía cinética producida por el agua. Fue por Thomas A. Edison que en 1882 se instaló en Londres la primera planta generadora, en el mismo año también se instaló otra planta en Nueva York. Ambas plantas sólo podían proveer de electricidad a pequeñas áreas pero, aún así, representaron un importante avance tecnológico.

Para que la innovación tecnológica pudiera ser usada de forma comercial hubo una fuerte competencia entre Thomas A. Edison (financiado por J.P. Morgan conformando el antecedente de la actual General Electric) y Nikola Tesla (trabajando para George Westinghouse) por determinar qué sistema eléctrico terminaría por modelar el mundo moderno, fue lo que se conoció como Guerra de Corrientes, una de las competencias científicas más importantes en la historia. El mayor reto era transportar energía eléctrica a través de grandes distancias. La compañía de Edison debía instalar sus generadores a no más de una milla del lugar de distribución de la electricidad. Fue Nikola Tesla quien ideó motores y generadores que podían funcionar con corriente alterna y producir electricidad que podía viajar distancias más largas y operar motores más grandes. Luego de una intensa competencia científica y comercial entre corrientes, la corriente alterna terminó por ser la forma predominante de generar electricidad⁷ aunque en la actualidad ambas corrientes son usadas en los sistemas eléctricos.

A partir de 1950 comenzó a popularizarse el uso de la energía nuclear en Europa y algunos países asiáticos. Fueron las crisis de medio oriente, particularmente la crisis del petróleo de

⁷ En corriente alterna es sencillo modificar la tensión de la electricidad (alta o baja tensión) mediante el uso de transformadores de potencia; lo que permite hacer viajar la electricidad desde las centrales de generación hasta los lugares donde se consume.

1973 y el inicio de la conciencia ambiental que llevó a la industria eléctrica a buscar nuevas fuentes para producir electricidad de forma eficiente, expandiendo las posibilidades más allá de los combustibles fósiles.

En los años ochenta la turbina de gas comenzó a usarse ampliamente en centrales eléctricas, pues la tecnología se perfeccionó en la Segunda Guerra Mundial y esto permitió a las centrales con turbinas de gas soportar los picos de demanda de electricidad. Fue a partir de esta década que las centrales eléctricas comenzaron a configurarse con turbinas de gas y turbinas de vapor, conocidas como Centrales de Ciclo Combinado (CCC), especialmente en los países que tienen acceso al gas natural.

Durante el Siglo XXI, buscando la forma de que la generación de electricidad no tenga que provocar un efecto negativo en el medio ambiente, se han dedicado grandes esfuerzos a las fuentes de energía renovable: como la energía geotérmica, hídrica, fotovoltaica, solar, energía a partir de residuos y energía eólica, así como a sistemas de almacenamiento de energía que permitirían garantizar el suministro eléctrico independientemente de la fuente de generación. La industria eléctrica hoy se encuentra en la transición de fuentes de generación de origen fósil a las fuentes renovables, con el debate sobre la energía nuclear aún sobre la mesa.

2.2. Modelos de la industria eléctrica

Desde que comenzó la comercialización de la energía eléctrica, la industria ha tenido importantes cambios en sentido similar en diversos países, comenzando con una importante participación estatal con una estructura de empresa única integrada de forma vertical, es decir, con una empresa encargada de las cuatro fases de la industria: generación, transmisión, distribución y comercialización. La razón de dicha integración industrial sin competencia se debía a la idea de que la industria eléctrica era un monopolio natural.

Es importante mencionar que según Sally Hunt, especialista en la industria eléctrica y en los mercados eléctricos, el mercado eléctrico es muy particular, principalmente por las siguientes razones: 1) la electricidad, al menos hasta ahora, no puede ser almacenada fácilmente y a bajo costo; 2) la electricidad fluye según las leyes de la física no según los contratos, y; 3)

para que la electricidad llegue a los puntos de consumo, tuvo que fluir a través de redes estableciendo diversas interacciones dentro de sistemas integrados (Hung-Po Chao. 2003).

Según sus características de integración de las empresas eléctricas y del grado de competencia que permiten en cada una de sus fases, existen cuatro modelos de mercado eléctrico. Las características de los modelos de mercado eléctrico son las siguientes:

- Empresa única verticalmente integrada:

Una sola empresa, pública o privada se encarga de la generación, transmisión, distribución y venta de la energía eléctrica. Este modelo predominó en la industria eléctrica por cerca de 100 años, y aún está presente en algunos países.

Para Hunt existen cinco elementos fundamentales que llevaron a la industria eléctrica a integrarse verticalmente en una empresa única (Hunt, 2002, p. 25 y 26):

- El monopolio natural de la distribución.
- El monopolio natural de la transmisión.
- Los retos técnicos de coordinar las fases de generación y transmisión según la demanda.
- La planeación a largo plazo considerando la coordinación que debe haber entre generación y transmisión.
- Por la tecnología que se usaba en la generación en el periodo donde plantas más grandes generaban electricidad a costos más bajos.

Se consideraba que la industria eléctrica debía estar verticalmente integrada porque un sistema eléctrico que depende de una sola entidad podía resultar más estable y más seguro si las unidades que lo integran estaban interconectadas, así, cualquier problema técnico del sistema, podía evitarse o ser respondido de mejor manera si una sola empresa planificaba y aseguraba el sistema para ofrecer el suministro correcto de energía.

La inversión también fue una causa de que se establecieran empresas únicas verticalmente integradas: en la generación, la industria eléctrica requería grandes inversiones en maquinaria que no podía ser reconvertida en caso de alguna eventualidad, por lo que realizar inversiones en esta industria era una decisión de alto riesgo si se pensaba en un mercado con varios

generadores. Una empresa única verticalmente integrada tenía más incentivos para invertir en la industria eléctrica que una empresa en una industria eléctrica con competencia.

Se argumenta también que la integración vertical permite reducir el riesgo de mercado pues transfiere a los consumidores parte de los costos derivados de los excesos de capacidad. Además, al estar todas las actividades integradas se reduce el riesgo entre las mismas y, al ser un sistema, es posible trabajar en su optimización.

- Comprador único:

Desarmando el modelo de empresa única verticalmente integrada, surgen los productores independientes de electricidad (IPPs por sus siglas en inglés). Estos son generadores que están obligados a vender su producción a la empresa monopólica. El precio de la electricidad está regulado y los generadores privados dependen de los contratos de largo plazo con el comprador único para tomar sus decisiones de inversión. La competencia en la generación se limita a construir plantas y operarlas.

En este modelo, existe una entidad pública o privada que compra electricidad de las empresas generadoras (GenCos) y Productores independientes (IPPs) y la vende a empresas de distribución y a grandes consumidores. A veces las empresas de distribución son parte de la estructura del comprador único. Las compañías de distribución y las comercializadoras deben comprar la energía al que, a su vez, es el comprador único. La única forma de atraer inversión en la generación es a partir de contratos a largo plazo, el plazo generalmente es determinado por el tiempo de vida de la planta, garantizando la venta de su electricidad durante todo ese tiempo. Las tarifas son reguladas debido a la existencia del monopolio de las compañías de distribución (DisCos) y del establecimiento del monopsonio.

- Competencia mayorista:

En este esquema, existe competencia en la generación y los generadores pueden ofrecer su producción a las compañías de distribución y a los grandes consumidores. Los distribuidores de energía pueden venderla a los usuarios finales.

En este modelo se requiere que los generadores envíen los precios y la cantidad de electricidad que pueden proveer en cada hora del día para que la entidad que administra el

suministro envíe las órdenes de despacho al operador del sistema. El operador del sistema tiene un papel fundamental pues es el que finalmente permite la coordinación de las empresas generadoras para proveer energía y de las redes de distribución, es decir, permite el funcionamiento del sistema eléctrico en su totalidad. El operador del sistema predice la demanda y permite a los generadores proveer de electricidad sin que los compradores tengan que celebrar contratos y el precio de esta electricidad es determinado por su costo marginal.

Es un modelo intermedio de competencia entre el del comprador único y el mercado completamente competitivo.

- Competencia mayorista y minorista (mercado completamente competitivo):

En este modelo, cualquier consumidor puede elegir directamente al generador de energía que quiera, generalmente los pequeños usuarios negocian con comercializadores de energía, que pueden ser elegidos por los consumidores sin que exista ningún monopolio legal. Aún en este modelo, la entidad regulatoria puede intervenir en los precios de la electricidad, pero el modelo da a los consumidores la libertad de elegir su proveedor de electricidad como elige entre otros bienes y servicios. En este modelo existen múltiples vendedores y múltiples compradores de electricidad. El modelo requiere de completa separación de las actividades de la industria (generación, distribución, transmisión y comercialización) y debe existir un acceso justo y no discriminatorio a las redes de transmisión y distribución.

De los modelos de la industria eléctrica sólo el primero, es decir, el de la empresa única verticalmente integrada, se encuentra completamente cerrado a la competencia en cualquier etapa de la industria. A partir del modelo del comprador único se permite cierto grado de competencia, pasando por el de la competencia mayorista y llegando al de competencia mayorista y minorista, que es el modelo en que las fuerzas del mercado tienen más influencia. Actualmente, las fases de transmisión y distribución aún son consideradas monopolios naturales, por lo que es necesaria su regulación para poder garantizar que los generadores tengan acceso a estas redes y que los consumidores puedan elegir el servicio que prefieran.

Varias fueron las razones que llevaron a la transición de la empresa verticalmente integrada comúnmente propiedad del Estado a un mercado competitivo. Entre las causas internas y externas se encuentran (Bacon, 2018, p. 5 y 6):

Causas internas:

- Mal desempeño de las empresas estatales expresado en altos costos, suministro ineficiente, acceso inadecuado a la energía eléctrica y mala calidad del servicio.
- La falta de capacidad del Estado de financiar el mantenimiento y la expansión de la industria.
- La tendencia del gobierno de otorgar subsidios en el servicio de electricidad manteniendo las tarifas por debajo de sus costos de producción para evitar decisiones de alto costo político.
- Uso de tecnología inapropiada.

Por su parte, Tagare (Tagare, 2011, p.8) considera que la industria eléctrica, encargándose de las cuatro fases llegó a ser tan grande que no permitía que la empresa única satisficiera las expectativas de sus consumidores.

Causas externas:

- El desarrollo tecnológico.
- Las reformas de los años noventa como respuesta a crisis económicas.
- La necesidad del gobierno de obtener recursos a partir de la venta de los bienes relacionados con la industria a través de las privatizaciones.
- El fortalecimiento de las teorías de libre mercado y la defensa de la competencia en prácticamente todos los sectores de la economía.

Ahora bien, los retos que representó la industria eléctrica fueron diferentes según ciertas características de las economías nacionales. Por ejemplo, en los países en desarrollo las empresas que representaban a la industria, en general, tenían un desempeño pobre, con índices de productividad bajos, servicio de mala calidad grandes pérdidas de sistema, inversiones mal dirigidas, incapacidad de proveer de servicio eléctrico a toda o a la mayor parte de la población, con costos muy bajos que no permitían cubrir los costos de producción ni aumentar las inversiones en el sector, por mencionar algunas características (Joskow, 2003, p. 548).

Cuadro 2. Modelos de la industria eléctrica			
	Competencia	Organización	Consideraciones tecnológicas
Empresa única verticalmente integrada	Una sola empresa pública o privada se encarga de todas las fases de la industria.	Totalmente integrada. La empresa única se encarga de la generación, la transmisión, la distribución y la venta de la energía eléctrica	En la fase de generación, las plantas más grandes generaban electricidad más barata por la economía de escala. La transmisión y la distribución eran un monopolio natural y no se tenían las herramientas técnicas para coordinar la generación y el transporte de electricidad respondiendo de forma inmediata a la demanda. Una sola figura que se encargara de todo era la forma de asegurar un sistema eléctrico estable.
Comprador único	Se aceptan diferentes productores independientes (constructores y operadores de plantas) pero todos debían vender al comprador único que se encargaba de las siguientes tres fases de la industria.	Una entidad pública o privada compra toda la energía a los productores independientes. Si las empresas de distribución son diferentes al comprador único, deben comprarle la electricidad por lo que se mantiene la existencia de un monopolio.	El desarrollo tecnológico permitió que la competencia en la generación fuera viable: las plantas de ciclo combinado redujeron significativamente los costos de la electricidad.
Competencia mayorista	Los generadores compiten para ofrecer su producto a las compañías de distribución directamente y a los grandes consumidores.	Los generadores deben notificar al operador del sistema de su oferta para poder administrar el suministro eléctrico para que la energía esté disponible para todos los usuarios que la requieran.	La tecnología en la generación sigue avanzando. Además, se tienen las herramientas para administrar la electricidad generada por diferentes generadores no coordinados entre ellos para ser entregada a diferentes empresas de distribución y a grandes consumidores.
Competencia mayorista y minorista	Apertura a la competencia en todas las fases de la industria.	Total separación de las actividades de la industria	Lo que en un inicio se consideraba que eran monopolios naturales como la transmisión y la distribución dejan de serlo y se establecen términos para poder pagar el uso de las redes eléctricas.

Cuadro de elaboración propia

Las economías que surgieron luego de la desintegración de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) tenían una gran capacidad de generación de energía eléctrica, pero con costos de venta muy por debajo del costo necesario para cubrir los costos de reposición. Además, dado que algunos países buscaban ser parte de la Unión Europea, para conseguirlo, tuvieron que adoptar las directrices que los otros países europeos ya habían aprobado con relación a sus industrias eléctricas (Bacon, 2018, p. 6).

Finalmente, los países desarrollados tenían un buen acceso al servicio eléctrico en cantidad y calidad, pero los consumidores buscaban precios más bajos y los gobiernos mejores posiciones financieras a corto plazo logradas a través de la venta de bienes relacionados con la industria eléctrica. Además, el uso de nuevas tecnologías como las turbinas de gas o la construcción de plantas de ciclo combinado redujeron los costos de producción y redujeron los beneficios de las economías de escala reduciendo también la necesidad de monopolios verticalmente integrados. (Bacon, 2018, p. 6).

Respecto a la apertura, fue a partir de los años noventa que la industria energética en el mundo comenzó a transitar hacia un modelo de competencia, aunque las discusiones sobre la apertura del sector comenzaron desde los años sesenta y setenta con la economía neoclásica. Las estrategias variaron en diferentes países, pero la finalidad en todos fue la competitividad del sector. La apertura de la industria se consideró como el camino a seguir para reducir los costos de los bienes y servicios relacionados.

Las tendencias de la apertura energética en el mundo tuvieron como base las siguientes directrices (Konstantine y Konstantine, 2018, p. 221):

- Privatización y reestructura de las empresas del Estado.
- La desintegración vertical y horizontal de los negocios de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.
- La libertad de elección del consumidor de proveedor de electricidad.
- La competencia en la generación.
- El establecimiento de un operador del sistema de transmisión.
- El acceso a la red eléctrica de todos los sujetos del mercado eléctrico.

- La regulación de los monopolios naturales de transmisión y distribución con un ente regulador independiente.

Otros autores (véase Bacon, Robert. 2018, p. 11) consideran también otros aspectos como el establecimiento de mecanismos de transición, la reforma regulatoria o la creación de normas para la protección de los consumidores. Sin embargo, existen tres aspectos importantes en los que diversos autores coinciden para la reforma en el sector eléctrico, estos son: la creación de un regulador independiente, la separación vertical y horizontal de la industria y la privatización por completo o en parte de las empresas propiedad del Estado.

En la actualidad, la etapa de la industria eléctrica que en diferentes países es competitiva es la de la generación, pues la transmisión y la distribución aún son considerados monopolios naturales debido a que se construye una sola red de transporte de energía que permite que la electricidad, independientemente del generador, circule desde su origen hasta el punto de consumo. Hasta ahora, con la tecnología que existe, es más conveniente que las redes ya tendidas sirvan a todos los participantes del mercado eléctrico bajo un sistema que permita la vigilancia de estos monopolios naturales.

La competencia en la generación es en la que se pueden obtener mayores beneficios en el mercado a largo plazo, incluso se afirma que la competencia en la comercialización no produciría precios más bajos si la generación no es competitiva (Hunt, 2002, p. 3). Con la competencia se han podido reducir algunos problemas del viejo sistema en la generación como los altamente politizados procesos de inversión, las ineficiencias en el uso de tecnologías, en la construcción y en el mantenimiento de las centrales de generación. Además, se aumentó la capacidad total de generación y en general, se aumentaron los flujos de inversión, pues los gobiernos no podían proveer la cantidad de recursos que los competidores privados invierten.

Ahora bien, es importante recordar que la competencia no es un fin en sí misma, sino que es un medio para que los consumidores puedan obtener mayor provecho de la industria, por ejemplo: la eficiencia del servicio, precios más bajos y relativamente estables, un servicio de energía eléctrica más confiable y la posibilidad de beneficiarse de la incorporación de servicios de valor agregado (Hunt, 2002, p. 4).

Para que el mercado eléctrico pueda considerarse un mercado abierto es necesario que los consumidores y los productores puedan establecer los intercambios libremente, incluso desde una perspectiva minorista, permitiendo que el consumidor pueda elegir entre proveedores de electricidad con cuál contratar su servicio eléctrico, esto se conoce como competencia en distribución. También, debe ser posible transportar la electricidad con precios transparentes de transmisión: la electricidad necesita libre acceso a las redes de transmisión y distribución luego de ser producida. El libre acceso a estas redes quiere decir que cualquier generador puede acceder a ellas al mismo precio, sin discriminación.

Para ser considerado un mercado libre, es necesario desregular los precios de la electricidad y las barreras de entrada al mercado, así como reestructurar las figuras existentes pues las empresas que se encargaban de toda la industria deben separarse y procurar evitar las decisiones discriminatorias. Así, algunas funciones deben separarse, pero otras deben permanecer unidas. Ahora bien, para una desregulación exitosa (no se debe olvidar que el antecedente en general es el de un monopolio) tienen que existir ciertos controles, es por eso que Sally Hunt indica que antes de la desregulación se tiene que trabajar en cinco aspectos básicos (Hunt, 2002, p. 8).

- Análisis de la demanda considerando horarios de consumo y diseñando tarifas del mercado spot.
- Acuerdos comerciales basados en un modelo integrado considerando a los operadores del sistema y los precios locales de energía eléctrica.
- Modelo de negocio de transmisión para mantener el control de las redes de transmisión separado de los generadores. Una opción podría ser el establecimiento de empresas privadas reguladas de transmisión incorporando al operador del sistema.
- Análisis de la oferta; eliminar barreras de entrada, expandir las áreas de mercado a través de redes de transmisión.
- Acceso minorista: Una vez que los mercados de producción funcionen, el paso siguiente es garantizar que los consumidores elijan a su proveedor del servicio eléctrico.

Uno de los grandes retos de la apertura a la competencia de la industria eléctrica es lograr la vigilancia de las actividades que se mantienen como monopolios naturales (transmisión y

distribución), mantener de forma competitiva el funcionamiento del operador del sistema, que tiene control de todas las plantas generadoras y que autoriza las compras de electricidad y hacer funcionar una industria que nació verticalmente integrada, siendo una sola empresa la que debía coordinar todas las actividades, pero que actualmente cuenta con diversos participantes.

2.3.Organización de la industria eléctrica

Los sistemas eléctricos de potencia son un conjunto de dispositivos, equipos e instalaciones que operan para llevar la energía desde la generación hasta consumidor final. La electricidad se produce a partir de sistemas eléctricos que se componen de diferentes fases para satisfacer la demanda de electricidad. Las fases son: generación, transmisión, distribución y comercialización. Las actividades de transmisión y distribución son fundamentalmente de transporte. Generalmente, existen empresas generadoras que tienen que coordinar la producción de energía eléctrica con el resto de las fases de la industria en tiempo real para mantener redes de transmisión y distribución sanas y respondiendo a la demanda de los consumidores.

Generación

Como su nombre lo indica, se refiere a la producción de electricidad a partir de diversas energías primarias, es decir, aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza, como la energía solar, hidráulica, eólica, geotérmica, la biomasa, el petróleo, el gas natural e incluso el carbón. Las plantas de generación convierten diferentes formas de energía en electricidad, es por lo que la energía eléctrica es una fuente de energía secundaria.

Las fuentes primarias de energía se clasifican en dos grandes grupos: renovables y no renovables. Las fuentes de energía renovable se refieren a las fuentes que pueden ser recuperadas en un periodo corto de tiempo,⁸ algunos ejemplos son la energía solar, la biomasa, la energía del viento o del agua. Las fuentes de energía no renovable comprenden

⁸ Algunas veces se utiliza como referencia la duración de la vida humana. Si una fuente de energía se puede renovar dentro de un periodo de vida humano, se considera renovable.

todos los combustibles fósiles y la energía nuclear, son recursos limitados que, al usarse reducen sus reservas en el mundo. Fue a partir de la Revolución Industrial que se intensificó el uso de fuentes no renovables, particularmente, del carbón, pasando por el petróleo y llegando al uso del gas natural en la actualidad (Valadares, 2020).

También es importante diferenciar las fuentes de energía limpia de las fuentes no limpias y no confundir los conceptos de fuentes de energía limpias y renovables. Por ejemplo, la biomasa es una fuente de energía renovable pero no es una fuente estrictamente limpia, pues su aprovechamiento implica la generación de gases que dañan la atmósfera terrestre; por otro lado, la energía nuclear no es renovable pues requiere de uranio para generarse pero, dado que no genera gases contaminantes, puede considerarse como una fuente de energía limpia.

Según la fuente de la que proviene, algunos autores clasifican la electricidad de la siguiente forma:

- Electricidad de fuentes térmicas: Requiere de combustibles fósiles como carbón, derivados del petróleo o gas.
- Electricidad de fuentes hídricas: Se genera a partir de la fuerza del agua en cascadas, ríos y lagos.
- Electricidad de fuentes nucleares: Es la que se produce a partir de la fisión de materiales nucleares.
- Electricidad de fuentes renovables: Surge a partir de la energía solar, eólica, geotérmica, entre otras.

Fue gracias a Michael Faraday que se estableció la relación entre electricidad y magnetismo (electromagnetismo) y fue por ese conocimiento que los motores rotativos se convirtieron en la forma predominante de generación de energía eléctrica. Así, las centrales eléctricas tienen como principal objetivo producir un movimiento rotativo, la única excepción actualmente es la energía fotovoltaica. De forma general, se produce calor y presión para hacer girar una turbina que, a su vez, activa un generador que crea un campo magnético: el generador permite la transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

En la etapa de generación se fija la frecuencia del sistema eléctrico que generalmente es de 50 Hz en Europa y 60 Hz en América. El concepto de frecuencia se refiere al número de

ciclos que se repite una onda por segundo y se mide en hercios (Hz). La frecuencia es un parámetro de control de los sistemas eléctricos necesario para balancear la generación y el consumo. Para evitar daños en el sistema eléctrico, la frecuencia debe mantenerse constante, por ello la necesidad de respuesta inmediata de los generadores ante cualquier cambio en la demanda de electricidad.

Algunas de las centrales de generación eléctrica más comunes son:

- Centrales eléctricas de carbón:

Su popularidad se debe a la gran cantidad de carbón disponible en la naturaleza. El carbón representa una opción atractiva por su bajo costo, por la estabilidad de su precio en comparación con otros combustibles fósiles como el petróleo y el gas y por ser una fuente segura para proveer electricidad. Las desventajas del carbón son el costo de su transporte, pues tiene una densidad de energía⁹ más baja que otros combustibles fósiles, por lo que se utiliza en gran volumen y, de preferencia, se usa en centrales que se ubican cerca de las fuentes de carbón y que es el combustible fósil más contaminante: al quemarlo, el carbón produce dióxido de sulfuro, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono, además, puede contener mercurio.

La forma más común de generar electricidad a partir del carbón comienza cuando el carbón es triturado hasta conseguir que se vuelva polvo, en ese estado se introduce en el sistema de combustión para que el carbón libere su energía química en forma de calor. El calor es recuperado en tubos al interior de un boiler para que transforme el agua en vapor. El vapor de agua se transporta a la turbina de vapor que, en grandes centrales está compuesta por tres elementos: la turbina de alta presión, la turbina de presión intermedia y la turbina de baja presión. La mayor eficiencia se consigue mediante las temperaturas de vapor más altas a mayor presión. Para calcular la eficiencia en una central de carbón se considera la razón de emisiones respecto a las unidades de electricidad producidas.

Las centrales de carbón son relativamente caras en su construcción por las cantidades de hierro y acero que se necesita y por los recursos humanos involucrados. Algunas partes fundamentales de las centrales tienen que ensamblarse en el lugar en el que se van a instalar

⁹ Energía almacenada.

como el boiler y los sistemas de filtrado. La turbina de vapor, por ejemplo, se ensambla en la fábrica del proveedor y es entregada en sitio sólo para su instalación. Sin embargo, por el bajo costo del combustible, la electricidad producida por este tipo de centrales se encuentra entre las más competitivas.

- Centrales eléctricas con turbinas de gas y Centrales de ciclo combinado (CCC):

El uso de gas para la generación eléctrica creció cuando dejó de considerarse al gas como un producto secundario en la producción de petróleo y comenzó a valorarse como un combustible importante. Al inicio de su uso en plantas de generación el precio era bajo y estable, pero con el tiempo esto ha cambiado. Las centrales eléctricas que funcionan con turbinas de gas o de ciclo combinado son de instalación barata, el gas tiene una eficiencia de conversión de energía mayor que el resto de combustibles fósiles y es el combustible fósil que produce menos dióxido de carbono.

En las centrales que generan electricidad a partir de turbinas de gas es posible usar diferentes tipos de gases, pero el más usado es el gas natural. El gas natural está compuesto principalmente por metano. Las mayores reservas de metano se encuentran en el Medio Oriente: 38.4% de reservas mundiales, seguido de Europa y Eurasia que juntas reúnen el 37.8% de reservas y por Rusia que tiene el 21.4% del total (Breeze, 2014, p. 68). Se espera que las reservas de gas natural sean suficientes para cubrir la demanda del combustible por al menos 63.6 años (Breeze, Op. cit., p. 70), aunque en algunas regiones este plazo se reduce. El gas natural se transporta mediante redes de ductos y es así como gran parte del gas natural se comercia internacionalmente. Si no es posible su transporte mediante ductos, entonces se transforma en su forma licuada (LNG).

Las turbinas de gas tienen su origen en la industria aérea en la primera mitad del siglo XX, pero en los años setenta y ochenta fueron utilizadas también para resolver los problemas que los picos de demanda de electricidad producían en el sistema eléctrico. Al darse cuenta de este posible uso, algunos fabricantes de turbinas comenzaron a producir turbinas de gas especialmente para la industria eléctrica, manteniendo la producción de turbinas aeroderivadas y agregando turbinas industriales de mayor tamaño que el de sus antecesoras. Las turbinas de gas son máquinas muy especializadas de alta tecnología por lo que el número

de empresas que las manufacturan es pequeño. Con el tiempo han logrado fabricar equipos más grandes y más eficientes.

En los años ochenta se instaló la primera central de ciclo combinado. Estas centrales funcionan con una o más turbinas de gas y con turbinas de vapor que aprovechan el calor producido por la turbina de gas. Si operan los dos tipos de turbinas combinadas, aumenta el rendimiento del sistema de generación en su conjunto, combinando el ciclo de gas con el ciclo de vapor. La popularización de las CCC coincidió con la liberalización del mercado eléctrico en Europa y en Estados Unidos por lo que muchas compañías del sector optaron por adoptar esta tecnología por sus bajos costos de instalación y por ser relativamente rápida de construir permitiendo un amplio intervalo de tamaño y capacidad de generación.

Actualmente, con el auge de las energías renovables y con el principal reto que éstas representan para el resto del sistema de generación, las centrales de ciclo combinado son una alternativa viable pues pueden responder a la intermitencia de la energía solar o eólica, debido a su capacidad de iniciar su producción y de detenerla de forma más o menos repentina. Para hacer mayor uso de esta cualidad, se ha pensado en configurar las centrales con un mayor número de turbinas de gas más pequeñas, sin embargo, el reto es lograr la alta eficiencia que alcanzan las grandes turbinas industriales.

Considerando la cantidad de energía eléctrica producida, las centrales de carbón emiten más dióxido de carbono que las centrales de gas, sin embargo, por su volumen de generación, los principales emisores de este gas son las grandes centrales de ciclo combinado. Las emisiones se contienen mediante un sistema de recuperación de dióxido de carbono, como se hace también en algunas centrales de carbón. Por su parte, el monóxido de carbono y el óxido de nitrógeno se producen al momento de la combustión del gas, especialmente cuando las turbinas comienzan a operar.

Los beneficios de instalar una central que opere turbinas de gas son los bajos costos de trabajo: por ser un componente de alta tecnología, son enviadas al sitio donde se instalarán prácticamente listas para ser instaladas; los bajos costos de capital en comparación con otras tecnologías, y; los bajos costos de operación. Los puntos en contra de las centrales de gas son los altos costos de las materias primas para fabricar las turbinas, la volatilidad de sus precios y el costo del gas.

- Centrales hidroeléctricas:

Las centrales hidroeléctricas han sido construidas principalmente en países desarrollados. En China y en el sur de América han ganado popularidad recientemente y en África esta fuente de energía aún tiene grandes oportunidades. En una central hidroeléctrica la energía primaria se extrae a partir del movimiento de agua, aunque la modificación de los caudales de ríos se ha realizado desde hace al menos dos mil años, hacerlo para la generación de electricidad comenzó en el Siglo XIX. Respecto a los costos, las centrales hidroeléctricas son de construcción costosa pero producen una de las formas de energía eléctrica más baratas, además pueden ser una fuente segura de energía renovable.

El primer reto es encontrar el lugar adecuado para la instalación de la planta de generación. Por lo general, cuando se trata de grandes proyectos, es decir, plantas con una capacidad mayor que 10 MW, también se requieren largas redes de transmisión. Actualmente, la central hidroeléctrica más grande se encuentra en China, en el Río Yangtze.

Existen dos tipos de centrales hidroeléctricas, las que no requieren de una presa para funcionar y las que sí la requieren. El impacto ambiental de las primeras es menor, al igual que su capacidad de generación. Ahora bien, las presas que permiten el funcionamiento del segundo tipo de centrales pueden ser de diferentes tipos, según las características geográficas y geológicas del sitio en que se instalará la central. Como en las otras formas de generación, el componente más importante de este tipo de centrales es la turbina¹⁰ que permite la transformación de la energía contenida en la fuerza del agua en movimiento rotatorio para activar un generador y así producir electricidad.

Un beneficio de las centrales hidroeléctricas es que éstas también pueden diseñarse para ser reversibles, es decir, de bombeo; así, funcionan como un sistema de almacenamiento de energía pues dados un embalse superior y uno inferior, se puede realizar el bombeo del agua del embalse inferior al superior, generar energía en este proceso y permitir nuevamente la

¹⁰ Para centrales hidroeléctricas se usan tres tipos de turbinas: las turbinas Pelton, que son las más comunes; las turbinas Francis utilizadas para grandes proyectos como la central del Yangtze en China o la de Itaipu en la frontera de Brasil y Paraguay, y; las turbinas de hélice usadas en ríos poco profundos o con flujos lentos de agua.

caída de agua del embalse superior al inferior, convirtiéndose así en centrales gestionables y que pueden almacenar energía en forma de energía potencial.

El desarrollo de centrales hidroeléctricas puede ser complicado, sobre todo si incluyen presas o embalses que inevitablemente provocan un cambio en el medio ambiente y desplazamiento de personas y de vida silvestre. Debido a la falta de un manejo adecuado de estos efectos en varios proyectos, las centrales hidroeléctricas han adquirido mala reputación.

Entre los aspectos que se deben considerar en un proyecto de inversión de una central hidroeléctrica son los restablecimientos de comunidades, una forma de evaluar si la central es viable aún considerando los restablecimientos es obteniendo la razón del número de desplazados entre cada mega watt de capacidad instalada, la decisión de restablecer comunidades se vuelve mucho más compleja si, para la construcción de la hidroeléctrica, se afectan sitios culturales o religiosos.

También debe considerarse la biodiversidad de la zona pues aunque el proyecto no desplace a muchas personas de los lugares que habitan, sí se afectará a la flora y fauna del sitio. Una alternativa es crear hábitats que reemplacen los hábitats que serán dañados con la central hidroeléctrica. Los daños en las especies submarinas también son graves pues las hidroeléctricas impiden el tránsito de las especies y el agua de las presas puede llegar a desoxigenarse, afectando la vida marina.

Existen también efectos geológicos, pues se ha demostrado que las presas y los embalses pueden generar actividad sísmica debido a las altas presiones que provocan en la superficie de la tierra, al menos durante los primeros años de su existencia. Los embalses también pueden provocar deslizamientos de tierra. Otro efecto geológico es la pérdida de sedimentos de los ríos, lo que provoca el aumento de erosión de la tierra y la pérdida de biodiversidad.

La energía que proviene de centrales hidroeléctricas es considerada energía limpia pero algunas centrales producen gas metano, uno de los gases responsables del efecto invernadero. Se produce por el material orgánico situado en el fondo de las presas o embalses donde el agua ha sido desoxigenada. La forma de minimizar la producción de este gas es que en el momento de la creación de las presas o embalses se retire la mayor cantidad de material orgánico como plantas o árboles. Según la compañía canadiense Hydro Quebec la mayor

producción de metano se da entre los tres y cinco años después de la construcción de la central, después de ese tiempo, no produce mayor cantidad de este gas que los lagos naturales (Breeze, 2014, p. 176 y 177).

El costo de construir una central hidroeléctrica es elevado, pero sus costos de operación son bajos. Es por eso que gran parte de los proyectos de inversión de este tipo son financiados por entidades gubernamentales o en conjunto por entidades públicas y privadas a pesar de la liberalización de la industria en los años noventa. Además de su alto costo, las hidroeléctricas no son tan atractivas para la inversión privada pues el tiempo de vida de una central es de aproximadamente 100 años por lo que el costo evaluado al inicio del proyecto es muy alto.

- Centrales nucleares:

La energía nuclear es posiblemente la forma de generación más controvertida. La energía se libera de las reacciones químicas de fusión o fisión nuclear del uranio que comenzó a desarrollarse con fines comerciales, por la gran cantidad de energía que genera.¹¹ Los átomos de uranio son bombardeados con neutrones para producir que se rompan produciendo uranio 236 y provocando una reacción en cadena que sucede en el reactor nuclear. La generación nuclear se basa en la idea de que la reacción en cadena de la fisión nuclear puede ser controlada. La energía liberada produce el calor necesario para calentar un fluido, generalmente agua para lograr el movimiento de una turbina.

La primera planta nuclear se construyó en la URSS en 1954 permitiendo el auge de la energía nuclear en los años setenta, década en que Estados Unidos, adquirió 200 reactores nucleares sólo para generación de electricidad (Breeze, 2014, p. 353); y países como Reino Unido, Francia, Alemania, Japón siguieron también con la tendencia de energía nuclear.

Los accidentes de Three Mile Island (1979) y el de Chernobyl (1986) hicieron que la opinión pública tuviera una mala percepción de la energía nuclear, en EEUU en la década de los ochenta se canceló la construcción de cerca de 100 centrales nucleares (Breeze, 2014, p. 354) pero mantuvieron en funcionamiento las que estaban construidas; otros países prefirieron eliminar por completo la fuente nuclear de su abanico de opciones de generación como

¹¹ Un kilogramo de uranio puede generar 140 GWh de energía que equivalen a la producción total de una planta de carbón de 1,000 MW operando al límite de su capacidad por 6 días.

Austria o Italia; y también hubo países que siguieron generando y desarrollando la energía nuclear como Francia, Bélgica, Finlandia o el Reino Unido en Europa, y; Japón, Corea del Sur o China en Asia.

Se pensaba que, gracias al desarrollo de la tecnología, con todas las medidas de seguridad de operación pero también de construcción y mantenimiento que en la actualidad existen para Centrales Nucleares, la energía nuclear podía nuevamente popularizarse en el Siglo XXI, sin embargo, por el sismo y el tsunami que en 2011 sucedieron en Japón que afectaron a una central nuclear, la confianza nuevamente decreció y con ella las posibilidades para el resurgimiento de este tipo de energía.

Entre las principales preocupaciones relacionadas con la energía nuclear se encuentran su relación con las armas nucleares, por el plutonio que generan los reactores en mayor o menor medida, y los desechos nucleares, que a la fecha, no tienen una forma completamente segura de tratamiento. Así, la guerra nuclear, los accidentes nucleares, la contaminación nuclear y el terrorismo son sólo algunos de los conceptos que las sociedades relacionan con la energía nuclear.

Respecto a los costos, la construcción de una central nuclear es considerablemente más cara que la construcción de una planta de carbón o de ciclo combinado, sin embargo, el costo del combustible es bajo, por lo que, considerando ambos factores, la energía nuclear, considerando el costo por MWh, puede tener un costo tanto o más bajo que el de una central de carbón o de ciclo combinado.

- Energía eólica:

Es la forma de energía renovable más popular después de la energía de centrales hidroeléctricas. Se produce por el viento que pasa sobre las aspas de un aerogenerador produciendo un movimiento rotativo que acciona el generador. La energía eólica depende del viento por lo que puede ser impredecible y por lo tanto, difícil de administrar en un sistema eléctrico.

Las turbinas eólicas tuvieron su desarrollo tecnológico a partir de la crisis del petróleo. Actualmente las turbinas en tierra tienen una capacidad de 3MW, mientras que las que se encuentran en los océanos alcanzan los 5MW. Pueden tener rotores de más de 120 metros de

diámetro y aspas de más de 60 metros construidas de fibra de vidrio y recientemente de fibra de carbón. La energía eólica de generadores ubicados en los océanos comenzó a popularizarse al final de la primera década del Siglo XXI. Los países europeos junto con Estados Unidos, China, Corea del Sur y Japón son quienes más han recurrido a este tipo de tecnología.

Entre los retos técnicos se encuentra el control de la velocidad del rotor, la intermitencia de la producción de electricidad por lo poco previsible que puede ser el viento, las dificultades del transporte y el mantenimiento de las estructuras del aerogenerador ya sea en tierra o en el mar. La energía eólica es administrada en conjunto con energía de respaldo que proviene, comúnmente, de combustibles fósiles. Para reducir al máximo la intermitencia de la energía eólica se construyen parques eólicos extensos en diferentes lugares para alimentar una misma red.

El costo del establecimiento de un parque eólico es elevado, sin embargo, los costos de operación son bajos y los costos de combustible son nulos. La competencia en el mercado de turbinas eólicas ha aumentado, lo que ha permitido que los precios de los equipos se reduzcan. Los parques eólicos en los océanos tienen un costo de instalación más elevado que los que se encuentran en la tierra; si es técnicamente posible, la energía se incorpora a la red eléctrica al momento que se produce, pero si el parque eólico se encuentra lejos de la red, se tienen que instalar redes de transmisión. Considerando lo anterior, actualmente, la energía eólica es más cara que la producida por combustibles fósiles y que la renovable producida a partir del agua.

- Energía solar:

Existen principalmente dos formas de generar energía eléctrica a partir del Sol, una es conocida como energía solar térmica que se genera en plantas solares. Las plantas solares se ubican en lugares que reciben de forma constante grandes cantidades de luz solar como desiertos y zonas áridas. La energía del sol se transmite a un fluido puede ser líquido (agua) o gaseoso (gas natural) en forma de calor y se lleva a una turbina convencional de vapor o de gas. La luz del sol es concentrada mediante espejos para lograr la intensidad necesaria para calentar el fluido y que este pueda iniciar su proceso de generación.

La energía eléctrica a partir del sol también puede ser fotovoltaica, ésta es otra forma de capturar energía solar y convertirla en electricidad a través de celdas solares. Es la única fuente de energía que no requiere un movimiento rotativo para generar electricidad. Los paneles fotovoltaicos reciben energía solar y la transforman, gracias a sus características de semiconductor, directamente en energía solar. Es una forma simple y duradera de crear electricidad.

La energía solar es considerada una de las fuentes más caras de generación, especialmente la que proviene de dispositivos fotovoltaicos, sin embargo, los costos de las celdas solares se han ido reduciendo en los últimos años, siendo China el país que en la actualidad ofrece costos de equipos para generación de energía solar fotovoltaica más bajos que el resto de sus competidores. Por otro lado, el costo de instalación de las centrales térmicas solares varía según el tipo de tecnología que se elija.

- Centrales de incineración de basura:

La fuente de energía de estas centrales son los desechos generalmente urbanos que no pueden ser reciclados y que son incinerados para reducir su volumen. El calor producido en la incineración produce vapor para activar una turbina de vapor. El mayor beneficio de este tipo de centrales no es la producción de electricidad sino el volumen de basura que una central puede procesar. Generar electricidad a partir de desechos no es barato, de hecho, son las centrales térmicas más costosas, pues además del equipo de generación e incineración se requiere de una inversión importante en sistemas de control de emisiones.

- Centrales de biomasa:

La biomasa es un combustible derivado de plantas y animales, se compone de maderas, restos de animales, de actividades agrícolas, de basura urbana e incluso de algunos desechos industriales, aunque recientemente también se han establecido cultivos de biomasa. La biomasa sigue siendo una de las principales fuentes de energía en países en desarrollo para producir calor y para cocinar.

Las plantas que generan energía a partir de biomasa generalmente se encuentran cerca de industrias que pueden proveer del combustible: Se quema la biomasa para recolectar el calor, producir vapor e iniciar el movimiento de la turbina de vapor. Aunque en el proceso se

generan gases tóxicos, la biomasa es considerada por algunos como una energía netamente limpia pues el dióxido de carbono producido en la combustión es reabsorbido en la producción de nueva biomasa, es decir, es limpia por su balance neto de CO₂. Frente a las energías renovables tiene la ventaja de que no es una fuente intermitente.

Las plantas que funcionan a partir de biomasa tienen costos similares de instalación que las plantas de carbón o de gas, sin embargo, son menos eficientes (debido a la baja densidad energética del combustible), por lo que el costo total de la electricidad es más elevado, al menos que se tenga una fuente constante de abastecimiento del combustible, como una fábrica de papel, por ejemplo.

- Energía geotérmica:

Es la energía que se crea a partir del calor de la tierra que aumenta entre 17 y 30 °C cada kilómetro de profundidad. Las centrales geotérmicas generalmente se instalan en regiones de alta actividad volcánica, cerca de aguas termales y géiseres, por las condiciones geográficas específicas necesarias para explotar este tipo de energía, no es accesible para todos los países. Aún así, es una fuente atractiva de energía porque el vapor directamente salido de la Tierra es usado para poner en movimiento la turbina de vapor. Las fuentes de energía geotérmica más usadas para explotar de forma comercial son las que se generan a partir de vapor de agua con temperaturas por encima de los 200 °C, las rocas calientes e incluso el magma como fuentes para generación de electricidad aún requieren de un importante desarrollo tecnológico.

La energía geotérmica es considerada una fuente limpia de energía, aunque tiene un desarrollo costoso por las dificultades técnicas de encontrar regiones apropiadas para establecer campos geotérmicos pero tiene costos de combustible y de operación muy bajos. Para la evaluación de proyectos a partir de energía geotérmica, se deben considerar costos de exploración, de desarrollo y de instalación de la planta (Breeze, 2014, p. 256). El costo de la electricidad producida por una planta geotérmica depende principalmente del capital requerido para construir la planta.

Transmisión

En sus inicios, las redes de transmisión de la industria eléctrica eran simples y de corta distancia desde su punto de generación. Para lograr la transmisión en la industria fue

necesario el conocimiento y manejo de la corriente continua, de la corriente alterna, la Ley de Ohm y las Leyes de Kirchhoff para poder calcular voltajes, resistencias y corrientes.

El gran logro de la fase de transmisión fue la posibilidad de usar redes eléctricas que transporten corriente alterna de alto voltaje, manteniendo siempre la misma frecuencia. Al aumentar la distancia entre los puntos de generación y los de consumo se hizo necesario aumentar el voltaje de la electricidad para reducir la corriente y las pérdidas de electricidad en su transporte causada por las resistencias.

La red de transmisión de electricidad consiste en las líneas de transporte de energía de alta tensión. En esta etapa se transporta la energía desde las plantas generadoras a través de las redes de alta tensión y se procura disminuir tanto como es posible, las pérdidas de transmisión asegurando la correcta gestión de la carga¹², es decir, el equilibrio entre el suministro de electricidad que las plantas generadoras vierten en la red y la demanda.

Distribución

De las líneas de alta tensión, las estaciones transformadoras reducen el voltaje de la electricidad para convertirla en media y baja tensión para que pueda ser entregada al consumidor final. Las subestaciones están generalmente al aire libre, cerca de las centrales o cerca de las ciudades, es en esta etapa en la que existen mayores pérdidas en el transporte de electricidad.

La red de distribución de la electricidad tiene líneas de distribución de media y de baja tensión que llevan la electricidad hasta los puntos de consumo. Algunos autores como Sally Hunt consideran que en la etapa de distribución es más difícil la apertura de mercados que en la de transmisión por la existencia de redes complejas de distribución, por lo que se mantiene como una estructura monopólica. Algunos países permiten la competencia rentando a operadores privados segmentos geográficamente limitados, pero con fuertes controles estatales.

Aunque existen diferentes métodos de calcular el costo del transporte de la electricidad (transmisión y distribución) generalmente se consideran factores como la depreciación de las

¹² Conocida también con su término anglosajón *load management* o *demand-side management*.

redes, el costo del capital, costos de operación y de mantenimiento, costos de las pérdidas, entre otros.

Comercialización

La comercialización de la electricidad varía según el modelo eléctrico en que se genera, por ejemplo, en un mercado con un comprador único, los consumidores deben adquirir la electricidad con ese único comprador, que adquirió la electricidad considerando no los costos de generación sino los contratos que debe cumplir, utilizando sus redes de transmisión y de distribución.

En el modelo de competencia entre generadores, estos mandan sus ofertas a las compañías de distribución y a los grandes consumidores para que, basados en el precio, compren la electricidad que más les convenga. Las compañías de distribución y los grandes consumidores pagan por el precio ofrecido por los generadores más un costo del uso del sistema.

Finalmente, en el modelo de competencia del mercado eléctrico, los generadores ofrecen la electricidad a través de operaciones OTC (Over The Counter) o de Power Exchange a los grandes proveedores de electricidad que, usando las redes de transmisión y distribución reguladas, pueden ofrecer electricidad a los consumidores, incluso a los minoristas, permitiendo que éstos elijan su proveedor de servicio eléctrico.

Para el establecimiento de la industria eléctrica es importante considerar todos los insumos y actividades que deben estar disponibles. Algunos de los insumos básicos para cada una de las fases de la industria se muestran en el cuadro 3. Entre las actividades principales asociadas al negocio, en la generación, por ejemplo, es necesaria la operación de las centrales, los mantenimientos de los equipos principales y la comercialización de energía en el caso de la existencia de un mercado eléctrico mayorista; en la fase de transmisión y distribución se pueden nombrar la planificación y el mantenimiento de redes, el monitoreo de flujos de calor y electricidad y la revisión de medidores. En algunos casos, los recursos humanos empleados son altamente especializados.

Cuadro 3. Insumos y actividades de un negocio eléctrico			
	Generación	Transmisión	Distribución
Insumos primarios	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible. • Turbinas y generadores. • Tecnología para el cuidado del medio ambiente. • Operación y mantenimiento (O&M). 	<ul style="list-style-type: none"> • Cables. • Postes. • Sistemas de monitoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cables. • Postes. • Medidores. • Sistemas de facturación. • Tecnología de centros telefónicos.
Insumos secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • Otros equipos para las centrales. • Químicos. • Servicios generales y administrativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores. • Interruptores y otros equipos eléctricos. • Tecnologías y protocolos de diseño de mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tranformadores. • GPSs. • Administración de la carga para hogares.
Actividades primarias	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones. • Mantenimientos de rutina. • Mantenimientos mayores. • Comercialización de energía y optimización de emisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación. • Monitoreo de flujos de electricidad y calor. • Respuesta a las emergencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación. • Mantenimiento. • Revisión de medidores. • Centros telefónicos. • Servicio al cliente.
Actividades secundarias	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de combustibles. • Actividades químicas. • Tratamiento de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poda de árboles. • Mantenimiento de la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de la comunidad. • Poda de árboles.

Información tomada de Bullinger Christopher D. y Shetty, Akshay A., 2004, p. 57,

traducción propia

2.4. Panorama de la industria en el mundo

La producción de electricidad en el mundo creció de 1990 al 2020, 125% y, aunque según el Banco Mundial actualmente el número de personas sin acceso a energía eléctrica es el menor desde 2010, aún existen 733 millones de personas sin acceso a electricidad en el mundo, la mayoría de ellos se localiza en África, al sur del Sahara. Los países que mayores avances han tenido en el aumento de su capacidad de generación son India, Bangladesh, Kenia y Myanmar (Tracking SDG7, Banco Mundial, 2020 y 2022).

Según el séptimo objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, se espera que para 2030 exista acceso universal a la energía sustentable, reconociendo la importancia de la energía¹³ pero también la necesidad del cuidado del medio ambiente. El séptimo objetivo del desarrollo sostenible implica el trabajo en cinco áreas: El acceso a la energía como factor para reducir la pobreza y mejorar el acceso a la salud y a la educación; el apoyo a energías renovables, para acelerar la transición a la energía sustentable; la eficiencia energética, que se espera pueda duplicarse para el 2030 permitiendo a los consumidores ahorrar y a las empresas ser más competitivas; inversión, principalmente en proyectos de energía renovable o de bajas emisiones de carbono, y; desarrollo tecnológico para permitir la innovación en el sector.

Las fuentes principales de energía desde 1990 hasta 2019 han variado como resultado del desarrollo tecnológico, de las tendencias hacia una producción de electricidad menos contaminante e incluso por factores políticos. Por ejemplo, en términos absolutos, el uso del petróleo casi se ha reducido a la mitad, con un porcentaje de participación en la matriz energética mundial del 11% en 1990 al 2% en 2020. Ahora bien, por sus costos políticos, la energía nuclear pasó de representar el 17% de la energía total en 1990 a producir únicamente el 10% en 2020. Por su parte, las energías fotovoltaica y eólica ni si quiera figuraban en la matriz energética en 1990, en 2020 juntas generan el 9% de la energía total. Aún hay trabajo

¹³ En palabras del Secretario General de la ONU Ban Ki-moon, “Energy es the Golden thread that connects economic growth, increased social equity, and an environment that allows the world to thrive”. El Secretario General de la ONU lanzó la iniciativa de Sustainable Energy for All en el año 2011.

por hacer pues las renovables se encuentran después del carbón que se mantiene en el primer puesto desde 1990, del gas natural y de la energía nuclear (véase Gráfico 2).

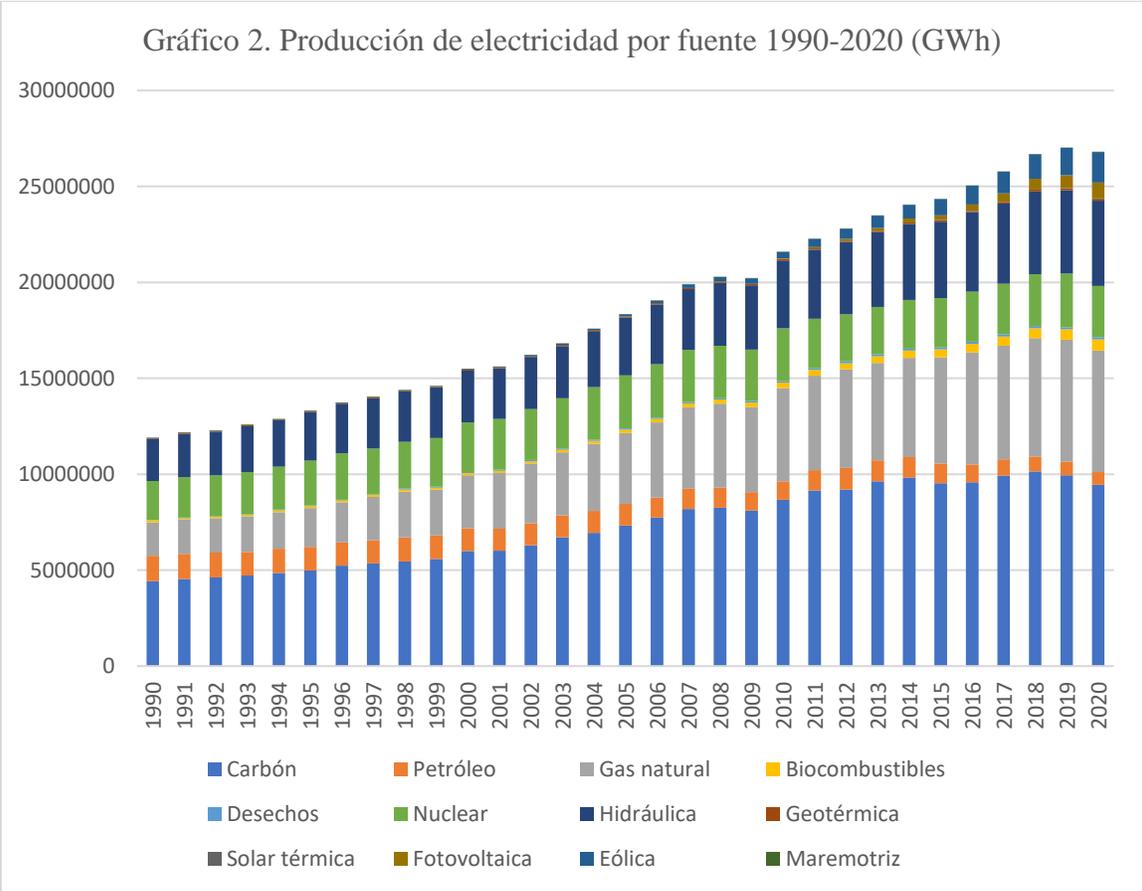


Gráfico de elaboración propia con datos de la Agencia Internacional de Energía, consulta 2023.

El carbón tuvo una tendencia de crecimiento constante desde 1990 hasta 2009, que fue el primer año en que se redujo la cantidad de energía generada a partir de esta fuente, sin embargo, dicha reducción no sólo se presentó en el uso del carbón sino en la producción total de electricidad y la tendencia de crecimiento se recuperó en 2010. Así, la explicación de esta reducción responde más a factores de crisis económica que a un esfuerzo consciente de utilizar menos carbón en la economía.

A partir de 2019 nuevamente se puede ver un decremento de la energía generada a partir del carbón pero a diferencia de 2009, aunque se estaba viviendo una crisis sanitaria que ha tenido como consecuencia una crisis económica, la producción total de energía no disminuyó, por lo que la participación del carbón en la matriz energética mundial, se redujo de 38% en 2018 a 35% en 2020. Aún no existen los datos para confirmar si la tendencia de la reducción del uso del carbón es real o sólo fue una respuesta al contexto de crisis.

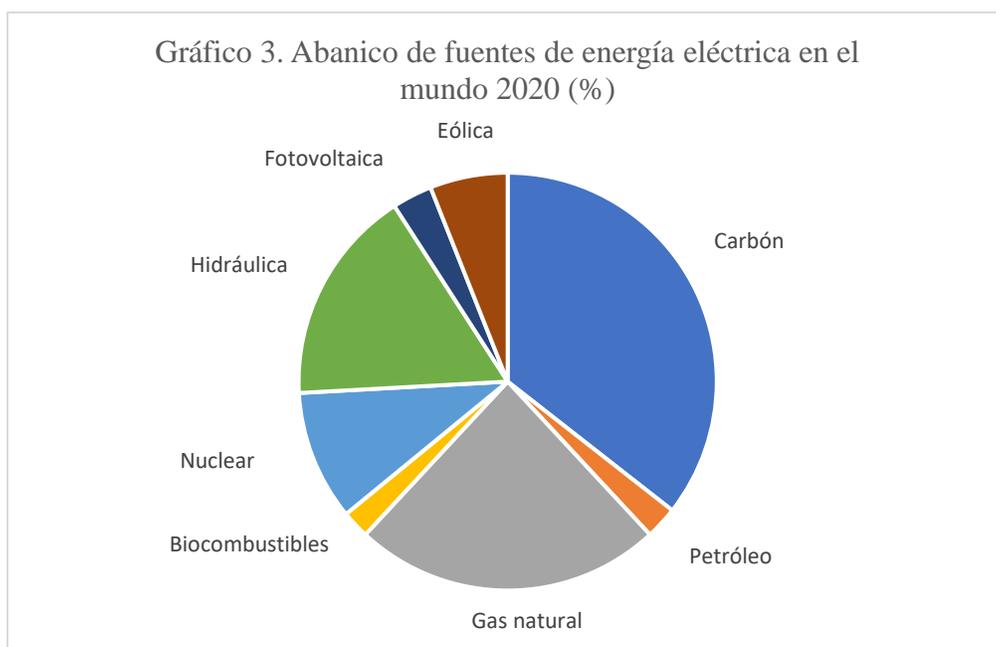


Gráfico de elaboración propia con datos de la Agencia Internacional de Energía, consulta 2023.

Aún con la reducción porcentual del uso del carbón, éste se mantuvo en 2020 como el principal combustible para la generación eléctrica, seguido del gas natural, de la energía hidráulica y de la energía nuclear. En quinto puesto se encuentran las energías renovables: eólica y fotovoltaica, después le siguen el petróleo, los biocombustibles y otras fuentes que no representan ni el 1% del total de producción de electricidad.

El gas natural ha adquirido mayor importancia como combustible para crear electricidad, sobre todo, a partir del desarrollo tecnológico de las turbinas de gas y aunque sigue siendo

una fuente de energía fósil, de entre ellas, es la menos contaminante y por lo tanto, la posible fuente de respaldo para las renovables. Además, debido a que generalmente se instalan turbinas de gas en conjunto con turbinas de vapor, las centrales de ciclo combinado se consideran muy eficientes. Infortunadamente, la economía mundial aún está basada en el carbón (véase gráfico 3).

Por su parte, las fuentes de energía que mayor crecimiento reportaron del 2009 al 2020 fueron las fuentes renovables en conjunto: la energía solar térmica y fotovoltaica y la eólica con un porcentaje de crecimiento anual promedio de 31.79% (véase cuadro 1), siendo la generación fotovoltaica la que más ha crecido con un porcentaje promedio de 46.15%.

Cuadro 4. Crecimiento promedio anual de producción de electricidad por fuente de energía 2010-2020	
Fuentes de energía	% de crecimiento promedio anual
Carbón	1
Gas natural	3
Nuclear	0
Hidráulica	3
Renovables (solar y eólica)	30
Petróleo	-3

Cuadro de elaboración propia con datos de la IEA, consulta 2023.

La industria de la energía se encuentra en constante desarrollo tecnológico, innovando para mejorar la eficiencia y para reducir las emisiones de gases tóxicos, mejorando sus políticas de seguridad y evaluando los mejores proyectos de inversión con la búsqueda de los mayores beneficios para sus capitales, recordando que la industria eléctrica, particularmente en su fase de generación es intensiva en capital.

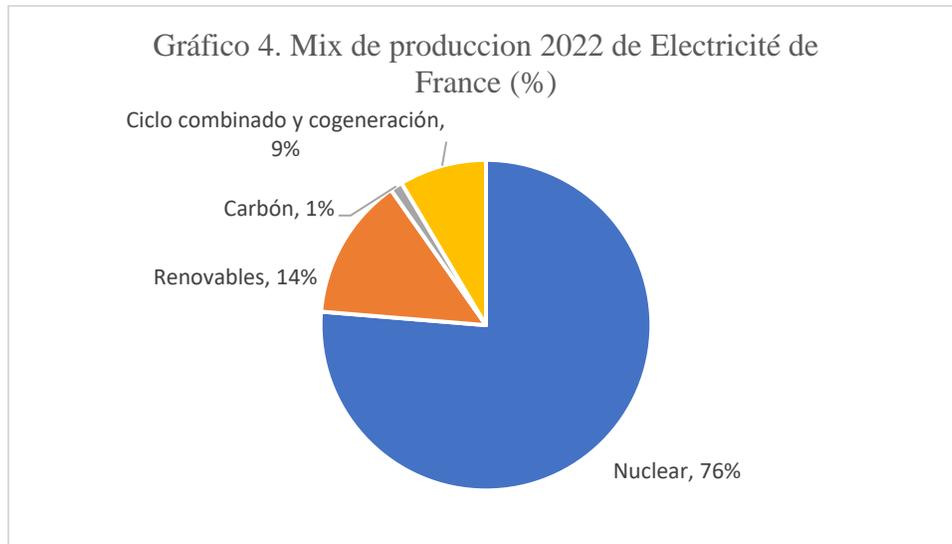
Las empresas que conforman la industria eléctrica en el mundo se ubican principalmente en Estados Unidos y Europa son mayoritariamente de capital privado y se caracterizan por la constante innovación (véase Cuadro 2). Algunas empresas se dedican especialmente a la instalación y operación de centrales de generación a partir de fuentes renovables, como es

Enel que, aunque tiene algunas centrales que todavía funcionan con combustibles fósiles, actualmente su mayor mercado se encuentra en las renovables; otras, como la China Yangtze Power, se dedican a la instalación, generación y operación de energía hidroeléctrica.

Cuadro 5. Principales empresas eléctricas en el mundo por valor de mercado, 2021 (miles de millones de dólares)			
Empresa	\$	Nacionalidad	Negocio
NextEra Energy	158.8	Estadounidense	Privada
Enel	105.4	Italiana	Privada
Iberdrola	86.4	España	Privada
Duke Energy	77.4	Estadounidense	Privada
China Yangtze Power	71.4	China	Estatad
Southern Company	68.7	Estadounidense	Privada
Dominion Resources	66.2	Estadounidense	Privada
Exelon	45.1	Estadounidense	Privada
Électricité de France	44.4	Francesa	Estatad
National Grid	44.3	Británica	Privada

Cuadro de elaboración propia con información de Statista con valores de 2021, consulta 2023

Junto con la empresa estatal china, Électricité de France (EDF) es una empresa propiedad del Estado. Se creó como un monopolio estatal integrado verticalmente para el suministro de electricidad, sin embargo, en 2008, en Francia el mercado comenzó su transición de apertura a la competencia, por lo que al día de hoy, EDF compite con otros generadores y ha logrado mantenerse como una empresa estatal incluso con mejores ganancias que algunas grandes empresas privadas transnacionales, con presencia en diversos países de América, Asia, Europa y África y aunque opera con diversas fuentes de energía renovable y no renovable, su mayor fuente de generación es la energía nuclear (véase gráfico 3).



Cuadro de elaboración propia con datos de Électricité de France, consulta 2023

Ahora bien, las inversiones en la industria eléctrica dependen de forma muy importante de las políticas y decisiones de gobierno. Según la International Energy Agency, más del 95% de las inversiones en la industria eléctrica se incentivan mediante regulaciones y contratos. En general, las inversiones en centrales de generación a base de carbón se han reducido en los últimos años, especialmente por las tendencias energéticas en Asia.

Las inversiones en la industria eléctrica en todas las áreas disminuyeron en 2020 por las restricciones en movilidad y los cierres de emergencia: se retrasaron los programas de transporte global y de construcción de centrales, además, se modificó la demanda de energía eléctrica y las políticas de compras de las empresas (véase gráfico 4).

El aspecto del almacenamiento no había sido tan necesario hasta que se consiguió cierto nivel de desarrollo en las energías renovables. El almacenamiento es fundamental para el crecimiento de las fuentes limpias de energía y, por lo tanto, de la obsolescencia de los combustibles fósiles, al menos de los más contaminantes. Como se ha hecho hincapié a lo largo de este trabajo, una de las características, al menos hasta hoy, de la energía es que no se puede almacenar a gran escala, por lo que ésta se vuelve una característica determinante para el modelo de la industria.

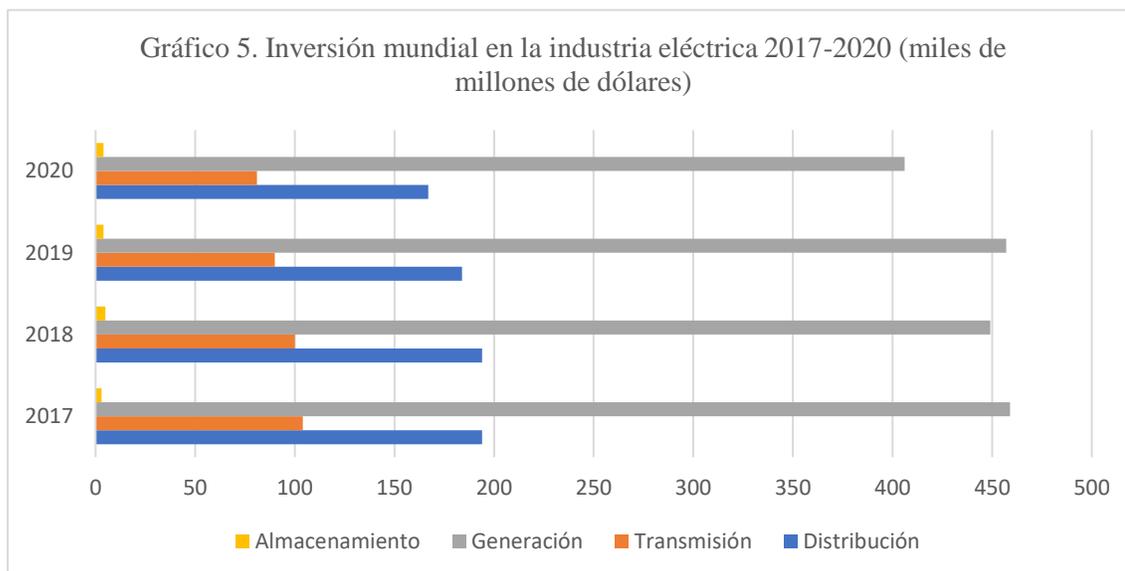


Gráfico de elaboración propia con datos de la IEA

Según la UNCTAD, el déficit de inversión anual en energía eléctrica en los sectores de generación, transmisión y distribución de electricidad hasta 2020 alcanzan de entre 370 a 690 mil millones de dólares para poder alcanzar el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU; el monto del déficit de inversión anual para el décimo tercer objetivo que se refiere a la mitigación del cambio climático a través de infraestructura en energías renovables, investigación y tecnología de bajas emisiones asciende a un monto de entre 380 y 680 mil millones de dólares (Informa sobre las inversiones en el mundo 2020, UNCTAD, 2020, P.61).

En 2020 se mantuvo el crecimiento de la inversión en la industria eléctrica con un aumento de inversión de 7% respecto a 2019 dirigida principalmente a energías renovables, almacenamiento de energía y redes de distribución (World Energy Investment 2022, IEA, 2022, p.32). Factores como las cadenas de suministro, el aumento de los precios de las materias primas y la inflación han provocado que por primera vez, en 2022, los precios de la energía renovable aumenten (World Energy Investment 2022, IEA, 2022, p. 39). Aún así, siguen siendo más atractivas que las energías provenientes de fuentes fósiles por los altos costos del carbón, del gas y por los problemas logísticos y políticos que enfrentan los países importadores de combustibles fósiles en el contexto de la invasión a Ucrania. En 2021 las

inversiones en plantas de generación hidroeléctrica y nuclear tuvieron también un importante crecimiento. China ha sido desde 2015 el país que más contribuye a este tipo de proyectos debido a los largos periodos de construcción que se describieron anteriormente.

Durante 2021 y 2022, las inversiones en redes de transmisión siguen aumentando sobre todo en países desarrollados, sin embargo, esta fase de la industria se ve afectada por el incremento en los costos del cobre y del aluminio. Aún en este contexto, China y las economías europeas tienen planeado un incremento en sus redes de transmisión y distribución como respuesta al aumento de las energías renovables (World Energy Investment 2022, IEA, 2022, p.52).

Respecto al consumo de energía eléctrica este varía considerablemente entre las economías del mundo. En el cuadro 6 se muestran las economías que mayor y menor consumo de electricidad tienen, el valor representa el balance entre la producción de electricidad y el comercio exterior de la misma. El consumo mundial de energía eléctrica en 2018 fue de 23,105 TWh.

Cuadro. 6. Países con mayor y menor consumo de energía eléctrica en 2021 (TWh)			
Mayor consumo		Menor consumo	
China	7714	Nigeria	30
Estados Unidos	3869	Nueva Zelanda	39
India	1355	Portugal	49
Rusia	963	Uzbekistán	54
Japón	916	República Checa	61
Brasil	579	Argelia	72
Canadá	562	Kuwait	73
Corea del Sur	553	Colombia	76
Alemania	503	Chile	79
Francia	441	Bélgica	83

Cuadro de elaboración propia con información del Anuario estadístico mundial de la energía, consulta 2023

En 2020 hubo una reducción en la demanda global de electricidad según datos de la IEA, aunque se espera que en los datos de 2021 se muestre un nuevo incremento de al menos 3% sobre todo por las necesidades económicas de economías emergentes tales como

China e India. Se espera también que la tendencia de las energías renovables creciendo más que la energía proveniente del carbón se mantenga.

Un reto para las energías renovables es asegurar que sus cadenas de suministro sean confiables, seguras y sustentables pues para poder instalarse requieren de ciertos minerales como el litio, el cobalto, el grafito, el aluminio, cobre y algunos otros metales raros. Por lo que crear políticas y regulaciones que incentiven el desarrollo sostenible y responsable de las industrias de estos metales y en general, de sus cadenas de suministro, es básico para la industria eléctrica.

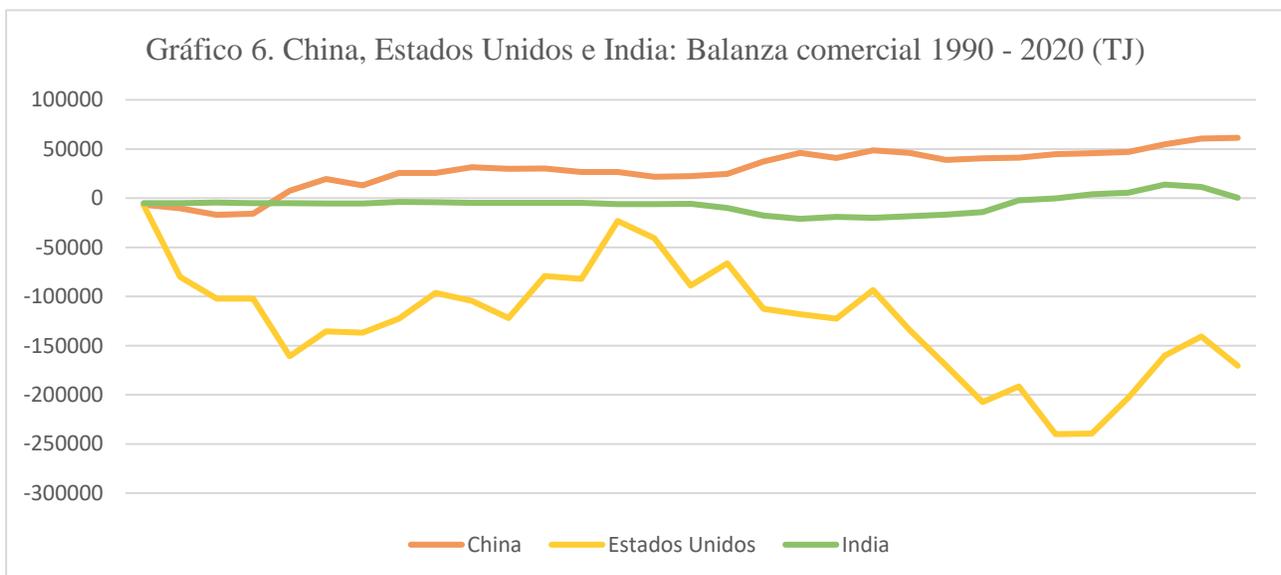


Gráfico de elaboración propia con datos de la IEA, consulta 2023

Respecto al comercio internacional de electricidad, cabe mencionar que para poder importar o exportar electricidad deben existir redes de transmisión de electricidad que permitan que la energía generada en un país sea transportada a otro para su distribución y consumo. La Unión Europea, por ejemplo, siendo el proyecto de integración más profundo en la actualidad, cuenta con un mercado eléctrico común, el mercado interior de la energía. Los países europeos comenzaron la apertura de su industria eléctrica en 1996 y desde entonces se ha trabajado en esa sentido. Los Estados de la Unión Europea tienen la responsabilidad de garantizar la competencia en los mercados nacionales y los consumidores pueden elegir al

suministrador de electricidad que prefieran. En el gráfico 5 se muestra la balanza comercial de China, Estados Unidos e India por ser los principales consumidores de electricidad.

Como puede verse en el gráfico 6, China es un país exportador de electricidad al menos de 1994 y se ha mantenido así desde entonces. Por su parte Estados Unidos es un importador de electricidad con una tendencia creciente de importaciones de energía. El gráfico anterior muestra la gran capacidad instalada de China e India que, aún siendo grandes consumidores de electricidad, son también exportadores.

Ahora bien, los países han organizado su industria eléctrica de diferentes formas según su desarrollo histórico, político, tecnológico y económico. Como afirma Steiner en el documento publicado por la OCDE “Es difícil extraer conclusiones generales de política a partir de los trabajos empíricos existentes dirigidos hacia reformas de largo alcance en un solo mercado o de discusiones anecdóticas sobre cambios regulatorios en países específicos, porque ninguno de estos tipos de estudios separan los efectos de la reforma regulatoria de las condiciones específicas de los países” (Steiner, 2002, p.4).

Por ejemplo, el principal combustible para generación eléctrica de India es el carbón que, de hecho, es del tipo menos eficiente (se requiere mayor quema de carbón para producir cierta cantidad de electricidad) y de los más contaminantes. India también produce electricidad por plantas nucleares y tiene gran potencial de generación de energía hidráulica, fotovoltaica y eólica. La industria eléctrica en India es regulada por el gobierno central y por los estados y compiten empresas públicas y privadas en cada una de las fases de la industria. Según datos del Banco Mundial, el principal reto de la industria eléctrica en India es producir electricidad a partir de fuentes renovables (World Bank, 2010).

De acuerdo con la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA)¹⁴ las empresas eléctricas en Estados Unidos pueden ser gubernamentales (municipales, estatales o federales) o privadas. Las tres principales fuentes de electricidad son el gas, la energía nuclear y la hidroeléctrica. Hasta la década de los noventa, en Estados Unidos la electricidad ya podía ser producida por empresas privadas pero con tarifas controladas. La crisis del petróleo de los

¹⁴ Organización creada junto con la implementación del TLCAN por el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte como muestra del compromiso de los tres países para el mejoramiento de la protección ambiental. Desde el 2020 la CCA se rige por el Acuerdo de Cooperación Ambiental resultado del TMEC.

que aumentó el precio de los combustibles, los altos costos de las inversiones de la energía nuclear, el desarrollo de las turbinas de gas y otras experiencias de liberalización en Reino Unido, Nueva Zelandia y Noruega llevaron a Estados Unidos a la desregulación de la industria.

Actualmente, son principalmente los estados los que regulan la industria eléctrica en Estados Unidos. El nivel federal tiene algunas herramientas como leyes sobre emisiones, incentivos fiscales o presupuesto destinado a investigación tecnológica. En los 90, cuando se implementaron algunos esfuerzos de liberalización ocurrió la crisis de California que produjo precios altos y problemas en el suministro por lo que algunos estados detuvieron la tendencia como precisamente California, otros como Oklahoma nunca implementaron ningún cambio y otros continuaron con los esfuerzos como Florida (Fagan, 2006). Actualmente, los estados tienen, en su mayoría, empresas locales (privadas o estatales) verticalmente integradas con precios de electricidad relativamente bajos por la práctica de *fracking* (Gómez y Sanz, 2019). Los precios de la electricidad cuentan, en su mayoría con regulaciones al margen de ganancia (regulación de precios basada en costos).

Por su parte, Suecia es uno de los países más ambiciosos respecto a sus objetivos en la relación de generación de electricidad con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Suecia es uno de los mayores consumidores de electricidad del mundo, duplicando la media de consumo de la Unión Europea. La mayor parte de su energía es nuclear e hidroeléctrica aunque recientemente está apostando por la energía eólica (Reartes, 2020). Una de las ventajas para el crecimiento de la energía eólica es la regulación sueca que sólo establece límites de ruido y de altura.

Hasta antes de 1996, la industria eléctrica en Suecia no estaba integrada ni nacionalizada por ley, sin embargo, existía una empresa estatal (Vattenfal) que controlaba varias plantas generadoras y el sistema de transmisión. En 1996, tomando como ejemplo la experiencia noruega que segmentó las cuatro actividades de la industria y liberalizó la generación y el suministro, Suecia reorganizó su industria. La transmisión y la distribución quedaron en manos de la empresa estatal Svenska Kraftnät. Con esta reforma se creó un mercado eléctrico (que después se unió al Noruego), se separaron las actividades de la industria, se permitió la venta directa de energía para todos los usuarios, incluyendo los residenciales, y; la empresa

estatal se convirtió en un generador orientado a la comercialización. En 1999 los precios fueron completamente liberados y se dio la creación de un mercado eléctrico junto con Noruega y, posteriormente, con Finlandia y Dinamarca (García y Palacios, 2006).

Francia tuvo que abrir progresivamente su mercado por la Directiva Europea 96/92/CE a partir de 1999. La directiva permite mantener empresas verticalmente integradas y que las redes de transmisión y distribución, por ser monopolios naturales sean controlados de forma centralizada. La principal empresa eléctrica es la ya mencionada Électricité de France (EDF) cuya principal fuente de generación es la nuclear. Es una empresa de capital mixto, mayoritariamente privado, verticalmente integrada que compite con otras empresas. Las tres principales empresas eléctricas en Francia son junto con EDF, Engie y Total Energies. Las últimas dos también están verticalmente integradas pero ambas tienen operaciones de gas natural en todo el mundo (Serrato, 2003).

A diferencia de los países revisados, Japón depende del exterior para obtener los combustibles que necesita para la generación de energía. Además, por su geografía, es difícil lograr la interconexión con otros países y el territorio montañoso dificulta la construcción de parques eólicos o fotovoltaicos (Casado, 2016). Antes del terremoto y tsunami de Fukushima, al menos un tercio de la energía de Japón provenía de fuentes nucleares, superado sólo por Estados Unidos y Francia (Bustelo, 2011, p. 2).

Al menos hasta 2015 prácticamente se detuvo la producción nuclear pero recientemente, con el contexto de la crisis sanitaria, la invasión a Ucrania y los compromisos de reducción de emisiones, Japón retomó desde 2022 la instalación de nuevos reactores nucleares. El país tiene la segunda mayor capacidad instalada de energía hidroeléctrica, sólo detrás de China. Japón cuenta con una organización industrial completamente liberalizada: en cada una de sus fases compiten empresas privadas, incluso en transmisión y distribución con diversos esquemas de integración. Al igual que Estados Unidos, la industria eléctrica en Japón se distingue por tener monopolios privados regionales sujetos a regulación (Steiner, 2000, p.9).

Cuadro 7. Organización de la industria eléctrica en diferentes países			
País	Principales fuentes de generación (en orden de participación)	Organización industrial	Otros comentarios
India	Combustibles fósiles, particularmente carbón.	Mercado completamente liberalizado, con participación de empresas estatales.	Desde el 2000, India es responsable del más del 10% del aumento de la demanda mundial anual de electricidad.
Estados Unidos	Combustibles fósiles y nuclear.	Los estados tienen la capacidad de establecer sus políticas eléctricas si van en el mismo sentido de las leyes federales.	País líder en investigación relacionada con energía: almacenamiento, energía nuclear, captura de gases efecto invernadero, entre otros, son los temas de las investigaciones.
Suecia	Nuclear y combustibles fósiles.	Mercado completamente liberalizado, el Estado posee una importante compañía eléctrica de Europa verticalmente integrada: Vattenfall.	País líder en la reducción de gases efecto invernadero. Fue el primer país en establecer un precio a las emisiones de carbono y tiene el precio más alto de carbón en el mundo. Suecia es parte del mercado nórdico de electricidad. Desde 2003 implementó un sistema de certificados para fomentar la generación a partir de renovables. Suecia es exportador de electricidad.
Francia	Nuclear y combustibles fósiles	Mercado abierto a la competencia en el mercado mayorista y en la comercialización. Las empresas eléctricas pueden estar verticalmente integradas.	Francia establece las medidas de apertura comercial de acuerdo con los compromisos que adquiere por pertenecer a la Unión Europea. En 2023 el Estado francés compró las acciones de inversionistas privados de EDF.
Japón	Combustibles fósiles y nuclear.	Mercado completamente liberalizado con empresas desintegradas verticalmente por ley.	Desde 2020, Japón ha fomentado a través de leyes la inversión en redes de transmisión y distribución, también fortaleció la figura del coordinador del mercado eléctrico y busca fortalecer la interconexión de la red para poder integrar las renovables y garantizar la seguridad energética.

Cuadro de elaboración propia con información de la International Energy Agency.

2.5. Conclusiones preliminares

La industria eléctrica tiene características muy particulares que impiden que sea comparada con algún otro servicio: su organización industrial, sus características técnicas, su antecedente como monopolio natural, su carácter estratégico para la economía, su impacto y relación directa con el tema ambiental, su relación con la seguridad nacional y sus implicaciones políticas son sólo algunos de los factores que hacen de la industria eléctrica una industria única con sus propios retos y posibilidades.

La apertura de la industria ha permitido que surjan grandes empresas transnacionales dedicadas a la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica y que éstas compitan y cooperen con las empresas nacionales que estaban generalmente administradas por el Estado, por lo que se crean nuevas relaciones entre sector público y privado que se profundizan al tiempo que se les permite mayor participación en la industria eléctrica.

En este capítulo se hizo un recuento de los avances científicos y tecnológicos que fueron necesarios para que el desarrollo de la industria eléctrica alcanzara el nivel que tiene actualmente. Aún existen grandes retos por resolver como el uso de las redes para permitir la incorporación de energía proveniente de fuentes renovables o el almacenamiento a gran escala. El aumento de la producción de energía junto con la reducción de emisiones que contribuyen al calentamiento global es el gran objetivo de la industria.

La organización de la industria eléctrica ha evolucionado de acuerdo con las necesidades de demanda y con el desarrollo tecnológico que ha permitido algunos cambios importantes en la oferta. Como se explicó a lo largo de este capítulo, también factores políticos y económicos han influido en su organización. La revisión del contexto internacional es importante para entender el desarrollo de la industria eléctrica nacional que se revisará en el próximo capítulo.

3. La industria eléctrica en México

En este capítulo, después de revisar el desarrollo de la industria en el mundo, se busca realizar un análisis histórico y estructural de la evolución, tendencias, importancia y la organización de la industria eléctrica en México, así como la reforma la Ley de la Industria Eléctrica impulsada por el gobierno del Presidente Andrés Manuel López Obrador. Durante el desarrollo del capítulo se demostrará la importancia histórica de la industria eléctrica así como la fuerte influencia que la política tiene en su desarrollo.

El capítulo incluye un recuento de la evolución de la industria eléctrica en México, desde que la electricidad comenzó a ofrecerse únicamente como producto industrial, pasando por su carácter de servicio público a través de las empresas estatales, el desarrollo de éstas y las posteriores reformas de 1995, 2004 y de 2013 que tendieron a la apertura de la industria como resultado de un proceso de liberalización así como una revisión de la reforma planteada en 2021 que nuevamente le da a la empresa estatal gran influencia en la industria y que busca revertir algunas características de la industria que se otorgaron en reformas anteriores.

La electricidad es un insumo necesario para la producción de prácticamente todos los bienes y servicios, además es un servicio de consumo final. La industria eléctrica tiene como antecedente ser un monopolio natural, con economías externas y es particular por las características de su producción: la electricidad como bien público, que no se puede almacenar y que por lo tanto se produce al mismo tiempo que se consume.

Por la evolución del conocimiento económico y tecnológico relacionado con la industria eléctrica, a lo largo del tiempo, se han dado cambios en su regulación, en su organización y en el tipo de propiedad. Así, generalmente los países adoptan alguno de los dos modelos

eléctricos que de forma general son: la industria eléctrica como un monopolio estatal verticalmente integrado o la industria eléctrica formada por empresas privadas reguladas. México se encuentra actualmente en la definición del tipo de modelo de industria eléctrica que va a impactar en el entorno económico del país debido a la importancia de dicha industria.

3.1.Desarrollo de la industria eléctrica en México

La electricidad como producto industrial llegó a México en 1879 con una planta termoeléctrica que abastecía de electricidad a una fábrica textil en Guanajuato. En 1889 se instaló la primera planta hidroeléctrica en Chihuahua, para entonces, la electricidad se usaba únicamente para la industria. Durante el régimen de Porfirio Díaz, la energía eléctrica adquirió su carácter de servicio público para la Plaza de la Constitución, la Alameda Central, Paseo de la Reforma y otras vías principales en Ciudad de México.

La Revolución Mexicana y la Constitución de 1917 situaron al Estado como propietario de tierras y aguas, así como de minerales y de todas las riquezas del subsuelo, como garante de la soberanía nacional y de la explotación de los recursos naturales. Fue en 1923 con el gobierno de Álvaro Obregón que a través de la Comisión Nacional de Fuerza Motriz se inició con el interés de diseñar una política nacional de energía eléctrica basada en tres consideraciones: 1. Es deber del Estado velar por los recursos hidráulicos del territorio; 2. Es necesario diversificar las fuentes de producción de energía, y; 3. El Estado debe intervenir en el manejo de las empresas que producen energía para la venta porque suministran servicios públicos. En 1926, la Comisión tomó el nombre de Comisión Nacional de Fuerza Motriz y en 1933 se decretó que la generación y la distribución de la electricidad eran actividades de utilidad pública.

En 1937 existían empresas que proveían de energía eléctrica al país, entre las que se encontraban The Mexican Power and Light Company, The American and Foreign Company y la Compañía Eléctrica de Chapala. Las empresas privadas tenían concesiones para operar y lo hacían sólo en áreas geográficas limitadas por sus capacidades técnicas. El 14 de agosto de ese mismo año, cuando únicamente el 38% de la población en México contaba con

electricidad generada por las tres empresas mencionadas, se creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE) cuyo objetivo sería “organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con la finalidad de obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales” (Historia de la CFE, CFE, consulta 2022). La creación de la CFE representó el interés del gobierno por llevar electricidad a todo el país y no sólo a los centros económicos o a las zonas industriales.

La CFE comenzó a construir plantas generadoras y atender redes de transmisión y distribución, siendo el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán¹⁵ su primer gran proyecto. En 1960, la CFE generaba el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada del país, la Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12% y el resto de las empresas el 9%. En este contexto y con únicamente el 44% de la población con acceso a la electricidad. Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica el 27 de septiembre de 1960. Para 1980 la capacidad instalada ya era de 17,360 MW (Gaceta de la Comisión Permanente del Senado de la República). La CFE y la Compañía de Luz y Fuerza del Centro tenían el monopolio de la industria eléctrica y las tarifas de la electricidad se fijaban según los análisis de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Para comprender la dinámica de la industria eléctrica en México es muy importante conocer la historia de la CFE, una de las instituciones más importantes del país. La CFE es una empresa productiva del Estado, propiedad del gobierno federal, con un marco regulatorio basado en la Carta Magna y con diversos ordenamientos legales que la regulan y que sirven como lineamientos para su administración. Como en otros países, la industria eléctrica en México, su regulación y los alcances de la empresa estatal han cambiado a lo largo del tiempo.

Con la creación de la CFE fue posible la consolidación del Sistema Eléctrico Mexicano y, en 1960, la nacionalización de la industria. La CFE y la compañía de Luz y Fuerza del Centro, cuyos antecedentes se remontan a la Mexican Light and Power Company Ltd., fueron las empresas del Estado que se encargarían de la electrificación del país. Tenían un gran reto,

¹⁵ Ubicado en el municipio de Valle de Bravo en el Estado de México como respuesta a las políticas de desarrollo que estaban incentivando a las industrias en la región centro del país y que no contaban con energía eléctrica suficiente para su desarrollo.

pues debían responder e impulsar al mismo tiempo el crecimiento de México garantizando energía eléctrica a todos los usuarios; aumentando las inversiones para hacerlo posible y adaptándose a los cambios en la industria para eficientar la producción.

Junto con el de los hidrocarburos, el sector eléctrico fue, durante los años en que el Estado era el único encargado de su gestión, el sector que más ingresos fiscales representó para el país: las industrias nacionales y el desarrollo del país giraban en torno a ellos. Dichos sectores representan también íconos de la soberanía nacional, por lo que las reformas que les afectan están influenciadas no sólo por factores técnicos o económicos, sino también políticos.

La Constitución de 1917 en su artículo 28 trata sobre los monopolios. Cuando se nacionalizó la industria eléctrica, dicho artículo fue modificado elevando a calidad constitucional la exclusividad de explotación de ésta por parte del Estado; se incorporó a la Carta Magna como un monopolio estatal, reconociendo a la Nación como la única capaz de generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica y prohibiendo posteriormente las concesiones. Sin embargo, a partir de 1992 se inició un proceso de reformas a la industria eléctrica con tendencia a su apertura para permitir la competencia que desde entonces se ha profundizado.

En 1986, México se incorporó al Acuerdo General de Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT por sus siglas en inglés) y en 1994 entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, ambos fueron hechos fundamentales para la transición del país a su apertura comercial. Desde entonces, las industrias nacionales se abrieron a la competencia y a la inversión privada, tanto nacional como extranjera, la industria eléctrica no fue la excepción.

Con el proceso de apertura que comenzó con Miguel de la Madrid en 1988 se planteó como objetivo la reducción del déficit fiscal, lo que implicó una reorientación del gasto público, y una menor asignación de recursos a las empresas del Estado, lo que provocó una menor inversión que se tradujo en falta de mantenimiento a las instalaciones y falta de recursos para mantenerlas en condiciones óptimas.

En 1992, en el marco de una apertura comercial del país iniciada con el ingreso de México a la Organización Mundial del Comercio y posteriormente profundizada con la firma del

TLCAN, se expidió la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica de 1992, con la que se permitieron algunas formas de participación en la industria eléctrica por sujetos diferentes a las compañías estatales existentes en ese momento, como la producción para uso propio, la cogeneración y se creó la figura de los Productores Independientes de Energía, con lo que se inició la transición de un modelo de una empresa estatal verticalmente integrada a uno de comprador único, dejando como área estratégica reservada al Estado el servicio público, y excluyendo de este los siguientes supuestos:

- La generación de energía para el autoabastecimiento, la cogeneración y la pequeña producción;
- La generación de productores independientes para su venta a la CFE;
- La generación de energía para su exportación derivada de la cogeneración, la producción independiente y la pequeña producción;
- La importación de energía por personas físicas o morales destinada al abastecimiento para uso propio; y,
- La generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica.

En 1999, Ernesto Zedillo presentó una propuesta para modificar los artículos 27 y 28 constitucionales con la finalidad de abrir el mercado eléctrico a la competencia y en 2002 con el Presidente Fox ya se hablaba de un nuevo cambio de modelo, de comprador único a un modelo de mercado, sin embargo, ninguno de los dos intentos prosperó.

En 2013, en el marco del Pacto por México, se dio una importante y simbólica reforma constitucional que abrió la industria a la competencia especialmente en la generación, permitiendo que empresas privadas produjeran electricidad y otros servicios y los vendieran a través del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) con diversas figuras participantes. En la actualidad, debido a una nueva reforma a la Ley de la Industria Eléctrica que fue el recurso al que recurrió el Presidente Andrés Manuel López Obrador por no alcanzar los votos suficientes en el Congreso para hacer una reforma constitucional, el futuro del MEM y de la industria eléctrica nacional en general, aún no es claro.

Algunos analistas consideran que esas reformas, así como la posterior de 2013 con el gobierno priísta de Enrique Peña Nieto, responde a los intereses de Estados Unidos y de las empresas transnacionales y no a una necesidad del mercado nacional; sin embargo, en el mundo debido a los cambios tecnológicos, las industrias eléctricas nacionales que estaban típicamente formadas por una única empresa propiedad del Estado, comenzaron a permitir la competencia primero en la generación y después en la comercialización. El método que utilizaron algunas empresas estatales para abrir el mercado fue la privatización y la participación del capital privado en proyectos de inversión, sin que la privatización fuera el objetivo sino una herramienta para lograr mercados eléctricos más eficientes.

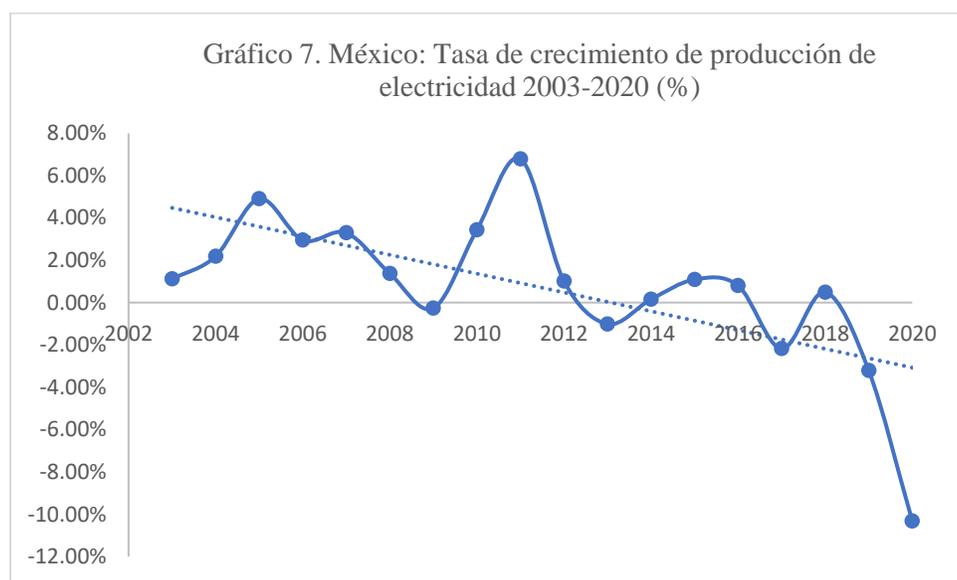


Gráfico de elaboración propia con información del Sistema de Información Energética

Según información del Sistema de Información Energética, la tasa de crecimiento de la producción de energía eléctrica en México ha variado a lo largo del tiempo sin presentar un comportamiento sostenido al menos en el periodo del que se presenta información que va de 2003 a 2021; aunque, la tendencia de producción de electricidad es negativa (véase gráfico 7). Ahora bien, según el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2015-2029 se proyectaba un aumento de la demanda en ese periodo de 4% anual, mientras que en el documento “Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031” se proyectaba un crecimiento anual

medio de demanda de electricidad de 3%. Ambos son documentos publicados por la Secretaría de Energía durante el sexenio de Enrique Peña Nieto. En el documento Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2021-2035 también se estima una tasa media de crecimiento anual de la demanda de 3% para el periodo de estudio. Así, la tendencia de producción de electricidad no coincide con el pronóstico de la demanda. La mayor caída se dio en 2020 con una caída de producción respecto al año anterior de más de 10%.

Respecto a las fuentes de energía, en 2021, último año del que se tiene información en el Sistema de Información Energética, la matriz energética se compuso de la siguiente manera:

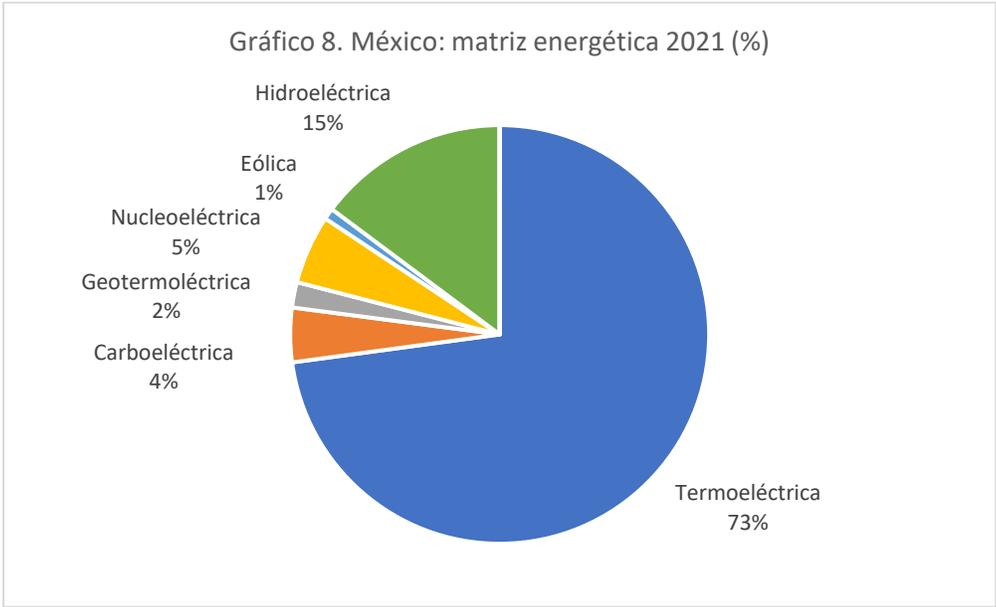


Gráfico de elaboración propia con información del Sistema de Información Energética, consulta enero de 2022.

La generación termoeléctrica se compone de la electricidad generada por ciclo combinado que representa el 84% del total; por vapor, que produce el 12%; por turbo gas, que representa el 3% de la producción termoeléctrica, y; por combustión interna, que alcanzó el 1%. Así, la principal forma de generación en 2020 fue el ciclo combinado.

En la matriz de generación nacional, el ciclo combinado es fundamental al menos desde el año 2002 que es el primer año del que se tiene información en el Sistema de Información Energética. También, la participación de los Productores Independientes de Energía ha

ganado importancia a lo largo de ese periodo, alcanzando hasta el 33% de la producción total de energía eléctrica del país a través del proceso de ciclo combinado (Véase gráfico 9).

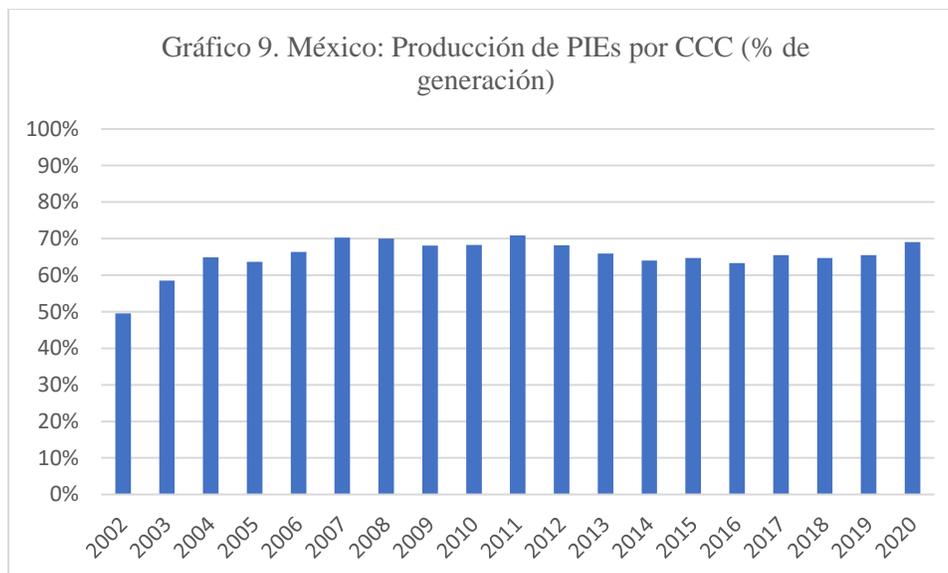


Gráfico de elaboración propia con información del Sistema de Información Energética

Respecto al consumo de combustibles, el combustible que más consumía CFE en 2004 era el combustóleo, seguido del carbón, del gas natural y del diésel. En el año 2020, el principal combustible para generación fue el gas natural, en segundo lugar el carbón, en tercer lugar el combustóleo y finalmente el diésel¹⁶. Un aspecto fundamental de los combustibles es su densidad energética, pues de este valor depende la cantidad de energía que se puede generar por cada unidad de masa de los combustibles. El combustible con mayor densidad energética es el uranio usado en centrales nucleares, seguido del hidrógeno, del gas natural, el diésel y el combustóleo, la gasolina, el gas licuado, el queroseno, el etanol y el carbón. Según el documento Prospectiva del Sector Eléctrico 2021-2035 no existe la intención de modificar la matriz energética en los próximos años, pues se afirma que el consumo energético de México

¹⁶ La comparación se hizo tomando como unidades de medida las siguientes: combustóleo, litros; diésel, litros; carbón, kilogramos, y; gas natural, metros cúbicos.

está basado en combustibles fósiles pues así se han cubierto las necesidades energéticas del país. Esta proyección no es una buena noticia para el medio ambiente.

Respecto a las redes de transmisión, éstas han mostrado un ligero crecimiento, sin embargo, no es suficiente para las necesidades de transporte de la electricidad generada hacia los centros de distribución.

Cuadro 8. Tasa de crecimiento anual de infraestructura de líneas de transmisión por nivel de tensión (%)		
Nivel de tensión	2018-2019	2019-2020
Transmisión 161 a 400 kV	1.4%	0.1%
400 kV	1.8%	0.0%
230 kV	1.1%	0.2%
161 kV	0.0%	0.0%
Transmisión 69 a 138 kV	0.2%	0.1%
130 kV	0.0%	0.0%
115 kV	0.2%	0.1%
85 kV	0.0%	0.0%
69 kV	0.0%	0.0%
Total	0.8%	0.1%

Cuadro de elaboración propia con datos tomados de Programa de ampliación y modernización

En 2020 algunas líneas de transmisión operaron al límite máximo operativo debido a las altas demandas de electricidad en verano, las bajas demandas en días hábiles y en los fines de semana de invierno, las bajas de demanda diarias, la indisponibilidad de generación por restricciones en el suministro de gas natural, la calidad del gas natural, el retraso de los mantenimientos programados en la generación y por interrupciones forzadas.

3.2.Reformas a la Industria Eléctrica

Reforma de 2013

En 2013, durante el gobierno del Presidente Enrique Peña Nieto se dio, junto con otras reformas en el marco del Pacto por México, la Reforma Energética que impactó al sector de hidrocarburos y al de la industria eléctrica. Una de las características más importantes de la comunicación que se dio en torno a ésta fue la de “modernización sin privatización” aplicable a las dos empresas del Estado más importantes: La CFE y PEMEX.

Entre los objetivos de la Reforma se encontraban: 1) bajar las tarifas eléctricas y el precio del gas; 2) lograr tasas de restitución de reservas de petróleo y de gas superiores al 100%; 3) aumentar la producción de petróleo y de gas natural; 4) Aumentar un punto porcentual del PIB para 2018 y 2 puntos para 2025; 5) crear medio millón de empleos antes de 2018 y 2 millones y medio para 2025, y; 6) sustituir las centrales eléctricas más contaminantes con tecnologías limpias y de gas natural (Reforma Energética, Gobierno de la República).

Los principales problemas que se identificaron y que se intentaron eliminar con la reforma de 2013 fueron: a) los altos costos de la electricidad que representaba un freno para la economía en su conjunto; b) las fuentes de generación caras y sucias, siendo el combustóleo y el diésel las principales, y; c) la falta de un mercado competitivo, que lleva a la falta de inversión en la industria, con problemas tales como la falta de fomento de energías renovables, la falta de inversión en redes (que impiden el crecimiento del uso de energías renovables y que cuyo mal funcionamiento se traduce directamente en pérdidas) e incluso problemas operativos que impactan en la facturación del servicio eléctrico.

Con el objetivo de reformar la industria eléctrica, se modificaron los artículos 27 y 28 de la Constitución. El artículo 27 se reformó para reconocer que la Nación mantiene la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como la transmisión y distribución de energía eléctrica; para mantener la prohibición de otorgar concesiones en estos ámbitos pero con la posibilidad de celebrar contratos con particulares para que lleven a cabo el financiamiento, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica. Por su parte, el artículo

28 reformado permitió que la inversión privada participara en la generación y en la comercialización; ya no sólo como productor para vender exclusivamente a CFE. Con esta reforma se termina con el modelo del comprador único. Para la regulación de este nuevo modelo, se expidió la Ley de la Industria Eléctrica (LIE).

Respecto a los organismos reguladores, la Reforma Energética de 2013 fortaleció a la Comisión Reguladora de Energía (CRE) pues se volvió un órgano Regulador Coordinado, dependiente del poder ejecutivo, pero con personalidad jurídica propia autonomía técnica y de gestión y dejó de ser un organismo desconcentrado de la Secretaría de Energía.¹⁷ Por su parte, el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) que pertenecía a la Comisión Federal de Electricidad, se volvió un organismo público descentralizado encargado del control operativo del sistema eléctrico nacional.¹⁸

La estructura del mercado eléctrico es una de las prioridades de la reforma, a partir de 2013 se crean las figuras de generadores y suministradores, ya en 1992 se había permitido la participación privada en la fase de generación de electricidad pero sólo bajo las figuras de Productores Independientes de Energía (PIE) y de pequeños productores que al final aún dependían del presupuesto y de la capacidad de diseño y ejecución de la CFE y su energía sólo podía usarse para venta a CFE, para exportarla o bien, para autoabastecerse. Los generadores a partir de 2013 pueden vender su energía directamente a los suministradores o bien, a los usuarios calificados, figura creada también en el 2013.

Los usuarios calificados son aquellos consumidores de electricidad que rebasan cierta capacidad de consumo y que cuentan con un registro ante la CRE, por lo que pueden comprar su energía directamente en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) o bien, comprarla a través

¹⁷ La CRE fue creada mediante Decreto Presidencial de octubre de 1993 como órgano administrativo desconcentrado de la entonces Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal para otorgar permisos de generación eléctrica abiertos por la reforma de 1992, en 1995 se le dio a la CRE autonomía técnica, operativa, de gestión y de decisión.

¹⁸ El decreto de la creación del CENACE se publicó el 28 de agosto de 2014. Tiene como funciones garantizar el acceso indiscriminado a la red y operar el Mercado Eléctrico Mayorista mediante el despacho de energía con criterios de asignación óptima de recursos del Sistema Eléctrico Nacional, así como de encargarse de la planeación de la expansión de redes de transmisión y de establecer los requerimientos para las nuevas interconexiones.

de suministradores calificados para evitar los costos de la operación de la participación directa en el mercado.

Con la incorporación de los nuevos participantes del mercado, se crea el Mercado Eléctrico Mayorista que busca que los precios de la electricidad reflejen los costos de su producción: se establecen precios spot para participantes mayoristas: generadores, comercializadores y usuarios calificados y permite que se celebren contratos a largo plazo negociados libremente por los participantes. El mercado spot y el mercado de contratos permiten que los generadores compitan entre ellos.

La LIE clasifica a los usuarios como calificados y de suministro básico. Los usuarios de suministro básico son atendidos por la CFE que se pensó que debía adquirir su energía por subastas para garantizar mejores costos de energía a los usuarios. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público fija las tarifas a usuarios de CFE suministro básico, lo que permite la estabilidad de precios para usuarios de bajo consumo. Por su parte, la CRE fija las tarifas de transmisión y distribución, con lo que se asegura que estas actividades se desempeñen con base en incentivos para reducir costos.

Aunque la transmisión y la distribución se mantienen como áreas reservadas al Estado, la reforma permite que la CFE celebre contratos con privados para el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación, ampliación, modernización, vigilancia y conservación de la infraestructura para dichas redes. La transmisión y la distribución se mantienen como servicios públicos prestados por la CFE y sujetos a la regulación de la CRE. La comercialización también quedó abierta al sector privado para que los usuarios se beneficien de la competencia según el tamaño de su consumo.

En 2013 se incorporan a la legislación los certificados de energías limpias: La SENER debe establecer la cantidad de energía que debe producirse a partir de fuentes limpias para poder conseguir un certificado. Todos los suministradores y usuarios calificados deben obtener la proporción de energía limpia que se establezca y acreditarán su cumplimiento a través de la compra de Certificados de Energías Limpias que se otorgan a los generadores con fuentes limpias. Este esquema garantiza la demanda por los nuevos proyectos de energías renovables y les asegura el ingreso requerido para financiar sus inversiones.

De forma resumida, estos son los puntos más relevantes de la Reforma Energética de 2013 relacionados con la industria eléctrica:

- El Estado conserva la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional.
- Permite la participación de privados en la transmisión y en la distribución de la electricidad junto con la CFE.
- Se le retira al Estado la responsabilidad exclusiva de la construcción de grandes plantas generadoras.
- Se crean las figuras de generador, usuarios calificados y empresas de suministro.
- Se forma el Mercado Eléctrico Mayorista.
- Se crean los certificados de energías limpias.
- Se establece el Centro Nacional de Control de Energía como un organismo público descentralizado para ser regulador del MEM.
- La CFE se mantiene como el suministrador para pequeños y medianos usuarios domésticos e industriales.
- Se permite la celebración de contratos entre generadores y usuarios calificados o empresas de suministro a mediano y largo plazo.

Reforma de 2021

En 2021, el Presidente Andrés Manuel López Obrador presentó dos esfuerzos por reformar la industria eléctrica del país: por un camino Constitucional y por una Ley Federal. La reforma constitucional fue presentada en la Gaceta Parlamentaria de la Cámara de Diputados el 1 de octubre de 2021 y rechazada en abril de 2022 pues no alcanzó la mayoría necesaria en Cámara de Diputados.

El objetivo de la Reforma Constitucional era elevar a rango constitucional la responsabilidad de la CFE de la totalidad del sistema eléctrico considerando a la generación, la transmisión, la distribución y la comercialización como partes de un mismo proceso indivisible; reconocer a la CFE como el único distribuidor de energía en el país y garantizarle un porcentaje de participación en la generación de electricidad independientemente del costo de ésta, y; eliminar al organismo regulador, incorporar a la CFE al CENACE y desconocer los

mecanismos que permite la ley que la propuesta tacha de ilegales como los contratos de compraventa de electricidad o los permisos de autoabastecimiento.

La propuesta de reforma constitucional incluye la modificación de los artículos 25, 27 y 28 en los siguientes términos:

- Art. 25. Se reconoce al Estado como el encargado de preservar la seguridad y la autosuficiencia energética y del abasto a toda la población. Se modifica el carácter de la CFE como empresa productiva del Estado y se vuelve un organismo del Estado.
- Art. 27. Se reconoce como una capacidad exclusiva de la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica.
- Art. 28. Se establece que la industria eléctrica es una unidad indisoluble y es un área estratégica del Estado. La CFE se vuelve responsable del Sistema Eléctrico Nacional y se elimina a la Comisión Reguladora de Energía como un órgano regulador dependiente del poder Ejecutivo.

Por su parte, la reforma a la Ley de la Industria Eléctrica se presentó en septiembre de 2020 mediante una iniciativa preferente enviada a la Cámara de Diputados por el Presidente. Dicha reforma fue aprobada y se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 9 de marzo de 2021. Los cambios que se presentaron fueron los siguientes:

Cuadro 9. Reforma a la Ley de la Industria Eléctrica 2021			
Tema	LIE 2013	LIE 2021	Artículos reformados
Central eléctrica legada	Se considera una central eléctrica legada como aquella que fuera propiedad del Estado en condiciones de operación y cuya construcción y entrega se haya financiado a través de inversión directa.	Se considera una central eléctrica legada como aquella propiedad del estado, aunque no esté en condiciones de operación sin importar su financiamiento	Artículo 3, fracción V.

Continuación...			
Tema	LIE 2013	LIE 2021	Artículos reformados
Central eléctrica legada	Se considera una central eléctrica legada como aquella que fuera propiedad del Estado en condiciones de operación y cuya construcción y entrega se haya financiado a través de inversión directa.	Se considera una central eléctrica legada como aquella propiedad del estado, aunque no esté en condiciones de operación sin importar su financiamiento.	Artículo 3, fracción V.
Contratos de Cobertura Eléctrica con Compromiso de Entrega Física.	No existe esta figura.	Se crean este tipo de contratos, exclusivamente para suministradores de servicios básicos (actualmente sólo la CFE tiene este carácter). En ellos el generador presenta al CENACE los programas de generación de las centrales eléctricas que formen parte del contrato mediante ofertas de programa fijo en el MEM.	Art. 3, fracción XII y XII bis.
Contrato legado para el suministro básico	Opción de contrato que tenían los suministradores de servicios básicos con precios basados en los costos y contratos respectivos de energía eléctrica y productos asociados de centrales eléctricas legadas y centrales externas legadas.	Mismo tipo de contrato que el de la LIE de 2013 pero se agrega el compromiso de entrega física	Art. 3, fracción XIV.
Acceso a la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución	El servicio público debe garantizar el acceso a las redes de transmisión y distribución en términos no indebidamente discriminatorios.	Se agrega la condición de que el servicio público debe garantizar el acceso a las redes de transmisión y distribución en términos no indebidamente discriminatorios siempre que sea técnicamente factible.	Art. 4, fracción I.

Continuación...			
Tema	LIE 2013	LIE 2021	Artículos reformados
Orden de despacho de energía eléctrica	El servicio público debe ofrecer energía eléctrica, potencia y servicios conexos al MEM basado en costos de producción conforme a las reglas del mercado cuando sea técnicamente factible y sujeto a las instrucciones del CENACE.	Se agrega el criterio de que el servicio público debe ofrecer energía eléctrica, potencia y servicios conexos al MEM basado en costos de producción conforme a las reglas del mercado pero garantizando primero los contratos de cobertura eléctrica con compromiso de entrega física y después las energías limpias.	Art. 4, fracción V.
Criterios para resolver sobre permisos otorgados al amparo de la LIE	La CRE está facultada para otorgar los permisos de la LIE, así como de resolver sobre su modificación, revocación, cesión, prórroga o terminación.	La CRE está facultada para otorgar los permisos de la LIE, así como de resolver sobre su modificación, revocación, cesión, prórroga o terminación y se agrega que debe considerar los criterios de planeación del Sistema Eléctrico Nacional establecidos por la Secretaría.	Artículo 12, fracción I.
Prioridad en redes de transmisión y distribución a la energía de centrales legadas	Los Transportistas y los Distribuidores son responsables de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución y operarán sus redes conforme a las instrucciones del CENACE,	Los Transportistas y los Distribuidores son responsables de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución y operarán sus redes conforme a las instrucciones del CENACE, quien considerará la prioridad en el uso de estas redes para el despacho de las Centrales Eléctricas Legadas y las Centrales Externas Legadas con compromiso de entrega física.	Artículo 26
Contratos de suministradores de servicios básicos	Los Suministradores de Servicios Básicos celebrarán Contratos de Cobertura Eléctrica a través de subastas que llevará a cabo el CENACE	Los Suministradores de Servicios Básicos tendrán la opción de celebrar Contratos de Cobertura Eléctrica a través de subastas que llevará a cabo el CENACE.	Artículo 53

Continuación...			
Tema	LIE 2013	LIE 2021	Artículos reformados
Del CENACE	El CENACE tiene entre otras, las facultades de determinar la asignación y el despacho de las centrales eléctricas, de la demanda y de los programas de importación y exportación para satisfacer la demanda del Sistema Eléctrico Nacional, así como de recibir las ofertas y calcular los precios de la energía eléctrica y productos del MEM.	Al despacho de las Centrales Eléctricas se agregan los criterios de Seguridad de Despacho, Confiabilidad, Calidad y Continuidad del Sistema Eléctrico Nacional. Se le asigna una nueva tarea que es recibir los programas de generación y consumo asociados a los Contratos de Cobertura con compromisos de entrega física, de conformidad con las Reglas del Mercado.	Artículo 108 fracción V y VI
Certificados de energías limpias	La Secretaría establecerá los criterios para su otorgamiento en favor de los Generadores y Generadores Exentos que produzcan energía eléctrica a partir de Energías Limpias.	Se agrega a la misma fracción la aclaración de que El otorgamiento de los Certificados de Energías Limpias a Centrales Eléctricas, no dependerá ni de la propiedad, ni de la fecha de inicio de operación comercial de las mismas.	Artículo 126 fracción II

Cuadro de elaboración propia con información de la Ley de la Industria Eléctrica de 2013 y su reforma en 2021, consulta 2023.

Así, con la Reforma a la Ley de la Industria eléctrica se fomenta el uso de las centrales eléctricas propiedad del Estado, se les da prioridad en el despacho de energía eléctrica independientemente de su costo de producción y de la fuente a partir de la que generen electricidad, priorizando la compra de energía eléctrica a las centrales de CFE antes que a las de cualquier otro generador; se permiten condiciones de discriminación de acceso a las redes eléctricas por cuestiones técnicas y se considera que los transportistas y distribuidores de electricidad deben priorizar el uso de las redes para el despacho de las Centrales Eléctricas Legadas; se permite la asignación de Certificados de Energías Limpias a todas las centrales eléctricas, independientemente de su propiedad y de su antigüedad.

Hubo esfuerzos por determinar la anticonstitucionalidad de la LIE pero no prosperaron con lo que se dejó la puerta abierta a la solicitud de amparos porque aunque hubo una modificación a la Ley, no se dio la reforma a la Constitución por lo que varios organismos públicos y privados interpusieron cerca de doscientos amparos ante el poder judicial para evitar que las reformas a la LIE les aplicaran como fueron aprobadas. Tal es el caso del Centro Mexicano del Derecho Ambiental que interpuso el amparo porque considera que la LIE obstaculiza la transición energética del país, además en 2022 se anunció que Estados Unidos y Canadá iniciarían consultas con México por esta ley en el marco del TMEC. Actualmente la nueva LIE no se aplica completamente por lo que existe un contexto de incertidumbre jurídica en la industria.

3.3. Comercio exterior y T-MEC

México comercia energía eléctrica que exporta e importa desde el Sistema Eléctrico Nacional. Importa electricidad de Estados Unidos y de Guatemala y la exporta a Estados Unidos, Guatemala y Belice, de acuerdo con información de la Secretaría de Energía. La información presentada por la fuente nacional no se considera confiable pues se incluye un dato de Canadá pero que no corresponde a la información anual sino únicamente al mes de diciembre, se indica también que la información no presenta tratamiento estadístico y que corresponde únicamente a la suma de los valores presentados en los pedimentos de importación y exportación.¹⁹ Por lo que, para conocer el valor de las importaciones y exportaciones de electricidad, se consultó una fuente externa que es la Agencia Internacional de Energía.

La organización de la industria eléctrica mexicana ha cambiado como respuesta a los procesos y cambios políticos y económicos que tienen lugar en el país. Antes de que México se incorporara a la Organización Mundial del Comercio y que iniciara un proceso de integración económica regional con Estados Unidos y Canadá tenía, como lo hemos revisado previamente, un modelo de industria eléctrica verticalmente integrada. Con la entrada en vigor del TLCAN, particularmente del capítulo VI se abrieron otras posibilidades para la

¹⁹ Información de la balanza comercial de México en materia de energía eléctrica del Sistema de Información Económica.

industria eléctrica mexicana: la producción para uso propio, es decir, el autoabastecimiento; la generación a partir de otros procesos productivos: la cogeneración, y; la figura de Productores Independientes de Energía. A partir del TLCAN se dejó atrás un modelo de industria verticalmente integrada y se dio paso a un modelo de comprador único.²⁰

Como resultado de la Reforma Eléctrica de 2013, el 11 de diciembre de 2017 se publicó en el DOF el Manual de Importaciones y Exportaciones, que es el documento que establece los lineamientos que deben seguir los participantes del mercado para la importación y la exportación de energía eléctrica al Sistema Eléctrico Nacional a través del Mercado Eléctrico Mayorista y establece los derechos y obligaciones de los participantes del mercado para transmitir y distribuir energía.

Hay diferentes tipos de enlaces de interconexión en el sistema eléctrico nacional, los hay con fines comerciales, para conectarse exclusivamente al sistema eléctrico nacional, por confiabilidad y/o emergencia; para exportación a centros de carga conectados exclusivamente al sistema eléctrico nacional, y; para abasto aislado de importación y exportación. Los países con los que México comercia energía son Estados Unidos, Guatemala y Belice.

El comercio de energía es muy importante para México pues en el Balance Nacional de Energía 2019, publicado en febrero de 2021, se indica que México no es un país autosuficiente para satisfacer su demanda de electricidad pues en 2019 produjo apenas el 71% de la energía que consumió, y aunque el volumen de producción ha aumentado con el tiempo, particularmente luego de la reforma de 2014, México ha tenido que importar energía para cubrir su demanda.

²⁰ Por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica de 1992, siguió reservado al Estado mexicano el servicio público que no incluía: el autoabastecimiento, la cogeneración o los pequeños productores; la generación de los PIEs, la generación para exportación a partir de cogeneración, producción independiente y pequeña producción; la importación de energía destinada al autoabastecimiento, y; la generación destinada al uso de emergencia derivada de interrupciones al servicio público.

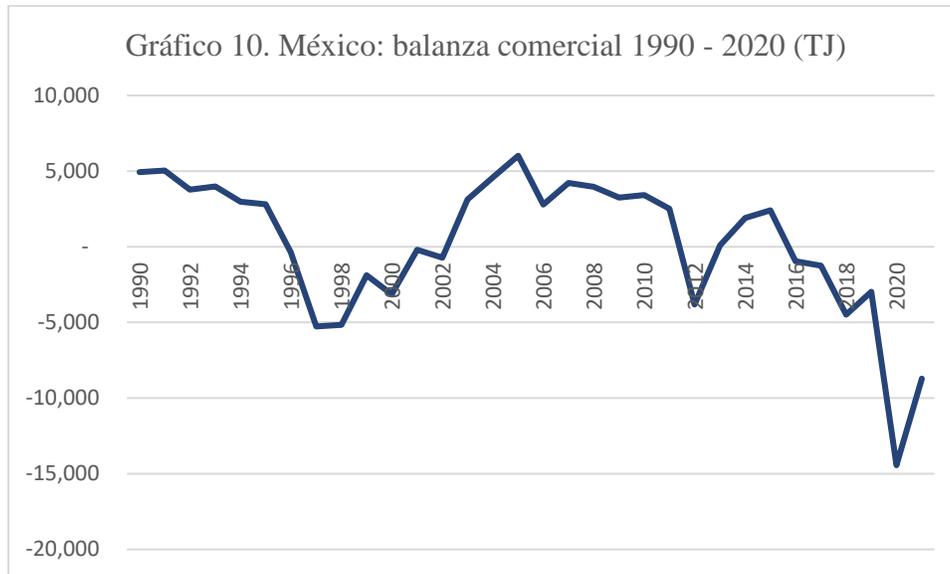


Gráfico de elaboración propia con información de la Agencia Internacional de Energía, consulta 2023.

Como en prácticamente cualquier análisis de intercambio e integración comercial, en el comercio de energía eléctrica, la Unión Europea también es un paradigma. En 1992, con el objetivo de crear el mercado común de electricidad, la Comisión Europea estableció un calendario de tres etapas para abrirlo a la competencia, comenzando con el establecimiento de mercados nacionales, siguiendo con una etapa de liberalización en las áreas de generación, transmisión, distribución y comercialización, y; en la tercera etapa se profundizan los lineamientos de la segunda etapa y se crea el reglamento 1228/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a las condiciones de acceso a la red para el comercio transfronterizo de electricidad, cuyo principal objetivo es establecer las normas para el comercio de electricidad entre los países de la Unión Europea, aún con esos avances, la Unión Europea no ha logrado alcanzar una política energética común.

La tendencia hacia un posible incremento de relaciones energéticas comerciales, particularmente de electricidad con otros países, con la tendencia de la Reforma a la Ley Eléctrica de 2021 no se ve como una posibilidad cercana, al menos en condiciones comerciales de competencia, por el aumento de distorsiones al mercado eléctrico nacional.

Con el decreto que modifica la Ley de la Industria Eléctrica publicado el 9 de marzo de 2021, se privilegia la compra de energía eléctrica a plantas de la empresa del Estado por lo que, en la práctica, podrían no respetarse los principios básicos del libre mercado, tales como el de trato nacional, el de nación más favorecida, el de presencia local y el de acceso a mercados. Los puntos que reclama Estados Unidos son justamente trato nacional, artículos 2.3 y 2.11; problemas con inversiones pues los cambios en la regulación interfieren con las expectativas que originalmente se les proporcionaron a los inversionistas, artículo 14.4; también reclaman el artículo 22.5.2. que establece que las empresas propiedad del Estado deben otorgar un trato no menos favorable a empresas privadas, y; el artículo 29.3 que establece que las legislaciones nacionales deben ser uniformes, imparciales y razonables.

Así, el mercado eléctrico nacional podría estar operando en condiciones de trato discriminatorio favoreciendo su industria nacional y provocando una situación de desventaja para los participantes extranjeros, incluso los que pertenecen a países con los que México ha ratificado Tratados comerciales.

Así como el TLCAN, el T-MEC en su capítulo 31 trata sobre la solución de controversias respecto a la interpretación y aplicación del Tratado, pasando primero por una fase de consultas, después por la intervención de la Comisión que, con asesores técnicos, buenos oficios, conciliación o mediación o mediante recomendaciones puede instar a las partes a llegar a algún acuerdo y finalmente, por el establecimiento de un panel que analiza y emite determinaciones. En julio de 2022 Estados Unidos y Canadá solicitaron consultas con México referente a la Ley de la Industria Eléctrica. Las consultas no son públicas y hasta ahora, ninguna de las partes involucradas a iniciado el proceso de establecimiento de un panel.

Lo que se puede suponer es que la controversia ha estado estancada porque dados los amparos que están en trámite, la Ley de la Industria Eléctrica que se aplica actualmente es la de 2014. La Secretaría de Economía afirmó que uno de los temas que más preocupa a los socios comerciales es el del despacho eléctrico pero que consideran que con inversiones en transmisión, la red puede aceptar la energía eléctrica producida por privados a partir de fuentes renovables (El Economista, 30 de enero de 2023). Al principio del año, México trabajaba por presentar un paquete de medidas para presentar a Estados Unidos y Canadá con

la finalidad de eliminar sus inquietudes. Nuevamente podemos suponer que aún se encuentran en la revisión y negociación de las propuestas.

3.4. Precios de electricidad

Respecto al precio de la electricidad, en el cuadro 10 se muestran las tasas de crecimiento del precio de la electricidad de 2003 a 2017:

Cuadro 10. Tasas de crecimiento del promedio de las tarifas eléctricas						
Año	Total	Residencial	Comercial	Servicios	Agrícola	Industrial
2003	17.69%	9.95%	17.51%	7.00%	12.05%	23.45%
2004	12.38%	4.33%	15.38%	5.20%	8.20%	16.20%
2005	7.88%	4.39%	10.45%	5.07%	9.99%	9.80%
2006	10.74%	6.97%	12.50%	6.07%	3.55%	12.75%
2007	3.60%	3.33%	3.44%	5.80%	6.21%	3.43%
2008	16.48%	4.45%	6.56%	3.59%	8.52%	25.92%
2009	-11.33%	0.68%	-6.66%	2.18%	-15.31%	-17.16%
2010	9.86%	5.01%	8.04%	5.81%	11.15%	12.88%
2011	6.68%	4.46%	6.01%	5.51%	13.07%	9.11%
2012	4.73%	0.24%	6.94%	6.04%	5.23%	5.22%
2013	2.09%	-2.19%	1.15%	8.49%	-8.29%	2.85%
2014	3.53%	3.31%	3.05%	4.33%	-9.14%	4.14%
2015	-11.99%	-0.22%	-7.72%	6.75%	15.43%	-19.75%
2016	0.79%	-0.72%	1.97%	6.40%	4.67%	1.21%
2017	17.92%	0.56%	20.90%	6.18%	2.92%	28.06%

Cuadro de elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética

Observando el cuadro 8 se puede notar que 2009 fue un año atípico en el comportamiento de la tasa de crecimiento de las tarifas eléctricas. La razón de la variación es la caída de los precios del carbón y del gas de más de 40% respecto al 2008. 2009 fue también el año de la liquidación de Luz y Fuerza del Centro, empresa pública descentralizada que, junto con CFE contribuyó a la electrificación del país en el Siglo XX. Por otro lado, 2017 presenta un incremento importante en las tarifas eléctricas posiblemente como resultado del aumento

promedio de precios de gas y de carbón de 24.31%. El promedio de crecimiento de las tarifas eléctricas de 2003 a 2012 fue de 6.99%, con un promedio de tasas de crecimiento de precios de carbón y de gas de 17.30%. Por otro lado, la tasa de crecimiento promedio de las tarifas eléctricas de 2013 a 2017 fue de 2.89% con un promedio de tasas de crecimiento de precios de carbón y de gas de -4.47%, de acuerdo con datos del sistema de precios de materias primas del Fondo Monetario Internacional.

En 2017, la Comisión Reguladora de Energía publicó una nueva metodología para el cálculo de las tarifas eléctricas, clasificando a todos los usuarios dentro de 12 categorías tarifarias de acuerdo con el tipo de consumo y 17 divisiones tarifarias determinadas por la ubicación de los usuarios. Infortunadamente, los archivos de las tarifas de 2017 a 2020 existen pero no están disponibles para descargar por lo que no fue posible consultar esos años. De 2021 solamente fue posible consultar la tarifa media nacional de enero a mayo con un valor promedio de 2.27 \$/kWh. En 2022, el promedio de la tarifa media nacional fue de 2.5 \$/kWh. En 2017, la tarifa media promedio fue de 1.65 \$/kWh.

En 2017, gracias a las subastas de largo plazo, se garantizó el precio de energía solar más bajo en el mundo siendo Enel la empresa generadora con el compromiso de inyectar la energía a la red en 2020 a un precio de 1.77 \$/kWh. La reforma a la LIE eliminó la obligación de los suministradores básicos (sólo CFE actualmente) y la convirtió en una opción, con lo que prácticamente este tipo de comercialización de electricidad quedó eliminado. El incremento de la tarifa media de enero a diciembre de 2022 fue de 6.5% El incremento de la tarifa media de enero a agosto de 2023 es de 6.3%.

3.5. Conclusiones preliminares

En este capítulo se revisó la evolución histórica, tendencias, importancia y la organización de la industria eléctrica en México, así como las reformas que hay llevado a la industria al estado en que se encuentra hoy. La industria eléctrica en México ha evolucionado según las necesidades económicas del país y también como respuesta al avance tecnológico que permitió pasar de un mercado de integración vertical a la creación de un mercado competitivo.

La integración comercial con sus socios de Norteamérica y la necesidad de acceso a la energía eléctrica llevaron a México a crear las reglas y las instituciones necesarias para la liberalización de la industria.

Dada la importancia de la industria eléctrica, las reformas deben realizarse considerando sus efectos a largo plazo en la economía nacional: la electricidad es un insumo necesario para la mayor parte de los procesos productivos. Al ser un país productor de manufacturas, una industria eléctrica con tarifas competitivas internacionalmente permitiría a la industrias nacionales ser aún más competitivas al exterior, en una Declaración del personal técnico del FMI de 2021 se afirma que los precios de la electricidad industrial son más caros en México que en Estados Unidos y que en otras economías emergentes (México: Declaración del personal técnico al término de la misión del Artículo IV correspondiente a 2021, FMI, 2021). Ahora bien, para los consumidores finales, los beneficios de costos de electricidad más bajos asegurando un suministro continuo y eficiente, se traduce en un mejor precio de bienes y servicios así como en mejor calidad de vida.

La reforma a la LIE de 2021 se planteó en detrimento de la competencia, de los compromisos de fortalecimiento de energías renovables y, por lo tanto, de los costos de la electricidad, principalmente a largo plazo. Las subastas de largo plazo podían garantizar los mejores precios de electricidad, además eran un motor para la energía renovable. Los nuevos términos de la ley siguen en un estado de incertidumbre, bajo consultas iniciadas por Estados Unidos en el marco del TMEC y con varias decenas de amparos pendientes por resolver. Como en cualquier industria, la incertidumbre jurídica no es un buen contexto para la inversión ni para el crecimiento. En el siguiente capítulo se revisará la importancia de la industria eléctrica para el país.

4. Economía de la industria eléctrica

El crecimiento de la economía mexicana, como el del resto del mundo, se ha visto afectado por la crisis sanitaria que comenzó en 2019. La industria eléctrica mundial también sufrió las consecuencias de una desaceleración económica: en 2020 se redujo la demanda de energía cerca de 20% y como consecuencia, se redujeron también las inversiones en proyectos de energía. Según la Agencia Internacional de Energía en 2021 las condiciones de la industria eléctrica mejoraron prácticamente a niveles prepandémicos por la reactivación económica mundial.

Para estimular sus economías, algunos gobiernos están usando estímulos fiscales para fomentar el uso de energía limpias, lo que cumple dos objetivos: acercarse a sus metas de reducción de CO₂ por un lado, y; activar su economía y aumentar su capacidad de generación a partir de fuentes eólicas o solares, por otro. La industria eléctrica es sumamente sensible a la desaceleración económica, pero es parte fundamental para cualquier plan de crecimiento económico.

La energía eléctrica es un insumo para la mayoría de las actividades productivas: las condiciones de su suministro afectan directamente al crecimiento económico del país. También es un bien final para los consumidores por lo que el acceso a la electricidad impacta en la calidad de vida de las personas y su precio en el consumo. La industria eléctrica puede ser un sector promotor del crecimiento económico en México, o bien, un freno para el conjunto de la economía nacional.

Cuadro 11. Clasificación industrial relacionada con la industria eléctrica

Clasificaciones SCIAN relacionadas con la industria eléctrica	Clasificaciones directamente relacionadas	<p>22. Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final.</p> <p>221. Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final.</p> <p>2211. Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.</p> <p>22111. Generación de energía eléctrica.</p> <p>221111. Generación de electricidad a partir de combustibles fósiles.</p> <p>221112. Generación de electricidad a partir de energía hidráulica.</p> <p>221113. Generación de electricidad a partir de energía solar.</p> <p>221114. Generación de electricidad a partir de energía eólica.</p> <p>221119. Generación de electricidad a partir de otro tipo de energía.</p> <p>22112. Transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.</p> <p>221121. Transmisión de energía eléctrica.</p> <p>221122. Distribución de energía eléctrica.</p> <p>221123. Comercialización de energía eléctrica.</p>
	Clasificaciones indirectamente relacionadas	<p>33. Industrias manufactureras.</p> <p>333. Fabricación de maquinaria y equipo.</p> <p>3336. Fabricación de motores de combustión interna, turbinas y transmisiones.</p> <p>33361. Fabricación de motores de combustión interna, turbinas y transmisiones.</p> <p>333610. Fabricación de motores de combustión interna, turbinas y transmisiones.</p> <p>334. Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos.</p> <p>3344. Fabricación de componentes electrónicos.</p> <p>33441. Fabricación de componentes electrónicos.</p> <p>334410. Fabricación de componentes electrónicos.</p> <p>335. Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica.</p> <p>3353. Fabricación de equipo de generación y distribución de energía eléctrica.</p> <p>33531. Fabricación de equipo de generación y distribución de energía eléctrica.</p> <p>335311. Fabricación de motores y generadores eléctricos.</p> <p>335312. Fabricación de equipo y aparatos de distribución de energía eléctrica.</p>

Cuadro de elaboración propia según página del SCIAN 2018 del INEGI.

Para poder realizar un análisis de la industria eléctrica y la importancia que tiene para otras actividades económicas en México se utilizará en este trabajo el Sistema de Clasificación

Industrial de América del Norte (SCIAN).²¹ Las clasificaciones relacionadas con la industria eléctrica de forma directa e indirecta²² se muestran en el Cuadro 11. La industria eléctrica comprende la rama 2211 que se refiere a Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.

4.1.Producto Interno Bruto

El PIB de la industria eléctrica pasó de representar el 0.7% del PIB nacional en 2003, al 1.2% desde 2011 y hasta la fecha. El crecimiento promedio de la economía nacional en esos años es del 1.6%, mientras que el de la industria eléctrica alcanza el 4.8%, registrando un crecimiento de hasta 9.9 y 9.2% anual en 2014 y 2018, respectivamente. El crecimiento de 2014 se puede explicar por la implementación de la Ley de la Industria Eléctrica y el de 2018 se puede explicar porque fue el año en que entraron en operación algunos oferentes de electricidad que ganaron subastas en 2017 y por la implementación del mercado de los certificados de energías limpias (CEL). 2018 fue además el año en que más crecieron las energías renovables en el país.

En los años 2016 y 2017 la economía mexicana presentó una desaceleración económica que provocó que la industria eléctrica tuviera un PIB con tasas de crecimiento negativas. En 2020 la caída del PIB de la industria eléctrica puede explicarse por la situación sanitaria mundial pero también por la incertidumbre del futuro de la industria eléctrica en el país. En 2021 se registró la caída más fuerte del PIB de la industria eléctrica mientras la economía nacional crecía, esto puede explicarse por la incertidumbre que provocó el proyecto de reforma a la

²¹ El INEGI impulsó la Norma Oficial del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica que establece que el SCIAN es el clasificador obligatorio para las Unidades del Estado que generen estadísticas económicas. El SCIAN se estableció como clasificador obligatorio según el acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de julio de 2009.

²² Las clasificaciones relacionadas de forma indirecta con la industria eléctrica se refieren en este trabajo a las relacionadas con el sector eléctrico, a propósito, María Teresa Sánchez *et. al.* comentan lo siguiente: “El sector eléctrico puede convertirse en el detonador de la economía, al apoyar el surgimiento y desarrollo de una industria nacional de fabricación de equipo y material para ser utilizado en las instalaciones de generación, transmisión y transformación de la electricidad” (Sánchez Salazar, María Teresa ; Casado Izquierdo José María; Saavedra Silva, Eva. 2004, p.68).

industria pues ni en el primer año de pandemia el PIB de la industria eléctrica se contrajo tanto. El crecimiento en 2022 se debe a la recuperación de la economía pospandemia.

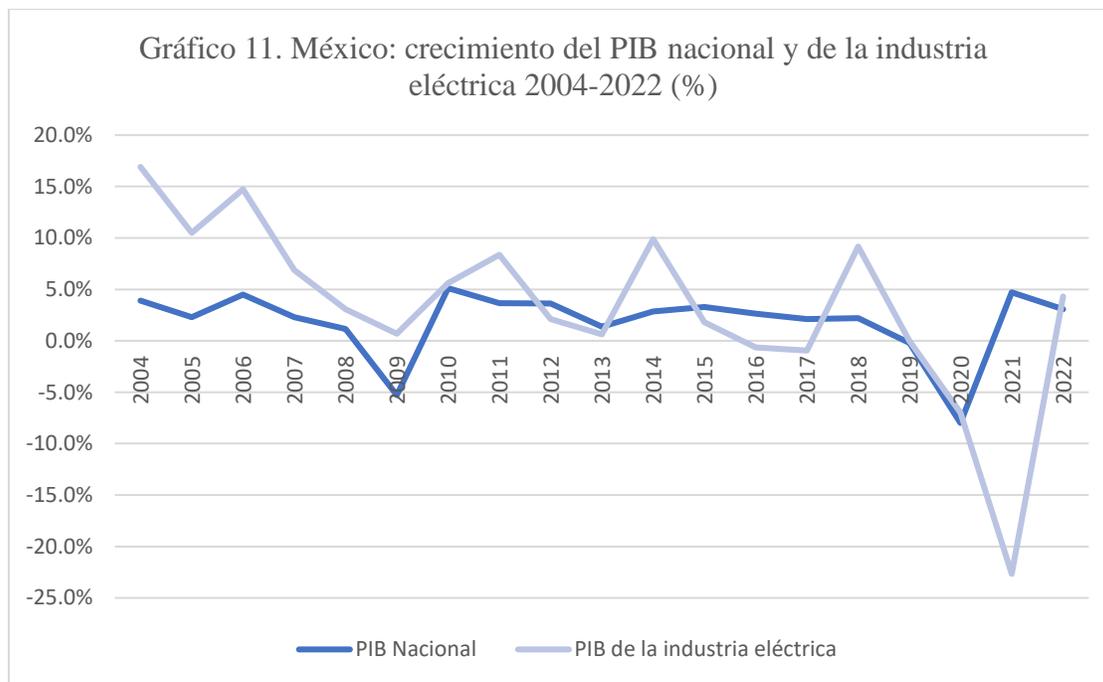


Gráfico de elaboración propia con datos del INEGI, consulta 2023

4.2. Determinantes del crecimiento del producto

En la siguiente tabla se muestran cuatro determinantes del crecimiento del producto. El periodo de 1992 a 2003 se seleccionó por ser el periodo en que la LSSPE dio pie a la apertura de la industria mediante la incorporación al marco regulatorio de los PIEs. El periodo de 2004 a 2012 se toma porque en ese periodo se incorporaron también la cogeneración, el autoabastecimiento y los mercados de importación y exportación. El periodo de 2013 a 2018 es el que comprende la vigencia de la Ley de la Industria Eléctrica producto del Pacto por México y el periodo de 2019 a 2021 se separa por el nuevo texto de la misma Ley.

Cuadro 12. México: determinantes inmediatos del crecimiento del producto (1992-2021)					
	1992-2003	2004-2012	2013-2018	2019-2021	1992-2021
	Valor agregado (TCPA)				
Global	2.85	2.36	2.32	-1.13	2.2
Sector secundario	2.43	1.42	0.66	-1.93	1.33
Gen, trans y dis de energía eléctrica	4.13	7.65	3.31	-9.89	3.62
	Productividad laboral (TCPA)				
Global	1.01	0.63	0.94	-0.31	0.75
Sector secundario	0.51	-0.07	-1.17	-0.84	-0.13
Gen, trans y dis de energía eléctrica	1.32	10.05	4.32	-10.36	3.37
	Acervo neto (TCPA)				
Global	3.07	2.95	2.19	0.54	2.6
Sector secundario	3.44	2.76	2.13	-0.57	2.57
Gen, trans y dis de energía eléctrica	6.45	-0.39	2.55	-2.85	2.49

Cuadro de elaboración propia con información del INEGI, consulta 2023

Respecto al valor agregado, en el cuadro anterior puede notarse que los primeros tres periodos revisados, muestran un mayor crecimiento de la industria eléctrica que el del resto de la economía y más aún que el del total del sector secundario. Este comportamiento se mantiene en la tasa de crecimiento de 1992 a 2021, sin embargo, de 2019 a 2021 existe una importante reducción del indicador, es decir, en este periodo, el valor producido de la generación, transmisión y distribución de electricidad menos el consumo intermedio de la industria, se redujo.

La tasa de crecimiento promedio anual de la productividad laboral en los periodos revisados también es considerablemente mayor en la industria eléctrica que en el resto de la economía nacional y que en el sector secundario. El periodo de 2004 a 2012 presenta una brecha muy grande de productividad laboral destacando la industria eléctrica como altamente productiva. El periodo de 2019 a 2021 nuevamente tiene una gran brecha pero en otro sentido pues la industria eléctrica se distinguió por su baja productividad respecto al resto de la economía. Esta caída se debe a la reducción del valor agregado y a que esta reducción no se vio traducida proporcionalmente a los puestos de trabajo ocupados.

El acervo neto de capital de la industria mostró el mayor crecimiento en el primer periodo de apertura que va de 1992 a 2003. En el periodo de vigencia de la LIE resultada del Pacto por

México, el indicador nuevamente presenta un incremento mayor que el del resto de la economía pero en el periodo de 2019 a 2021 el acervo de capital se redujo.

4.3.Empleos

Respecto a los puestos de trabajo, la industria eléctrica redujo significativamente la cantidad de puestos ocupados entre los años 2009 y 2010, esto debido a la crisis económica que atravesó el país y a la liquidación de una de las empresas estatales de la industria eléctrica: el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro. Con excepción de esos años, los puestos de trabajo se mantienen con pocas variaciones, aumentando incluso el personal ocupado en 2019 y 2020, años en que se contrajo la producción de la industria e incluso, la economía nacional.

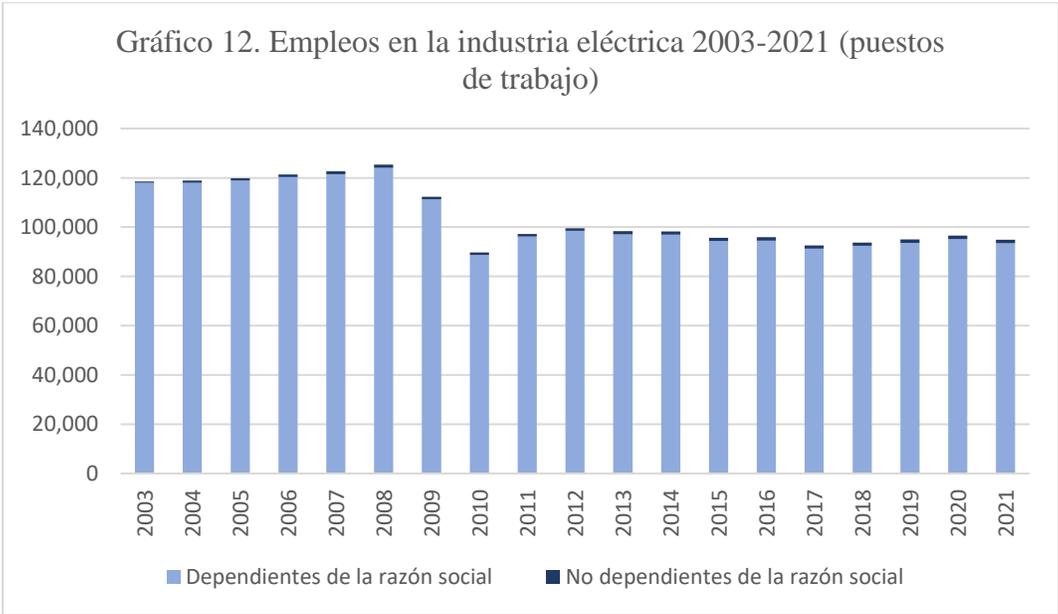


Gráfico de elaboración propia con datos del INEGI, consulta 2023

El personal ocupado que no depende de la razón social para la que trabaja se refiere al personal subcontratado, es decir, personal administrado por otra razón social y personal que

labora por honorarios o por comisiones. Los trabajadores dependientes de la razón social para la que trabajan son los que sí son contratados directamente por la empresa para la que trabajan.

La figura de la subcontratación ofrece ventajas para las empresas pues flexibilizan su organización, se eliminan las obligaciones laborales del patrón y permite contratar personal principalmente especializado para el momento que se requiera. Para los empleados, la figura no tiene tantas ventajas pues si bien permite que más personas accedan a un empleo, no les permite acceder a ciertos derechos laborales indispensables para los trabajadores.

Si bien, como se muestra en la tabla anterior, la industria eléctrica sí recurre a la subcontratación, ésta está muy por debajo de la tasa de subcontratación del conjunto de la economía pues la industria eléctrica tiene una tasa de subcontratación de poco más del 1% en el periodo revisado mientras que el total de la economía alcanzó casi el 10%.

Ahora bien, las remuneraciones medias dependientes de la razón social para la que trabajan en la industria eléctrica son considerablemente más altas que las de las remuneraciones del conjunto de la economía. En 2021, aunque las remuneraciones medias de la industria eléctrica disminuyeron respecto a 2020 y 2019, el sueldo mensual promedio de un empleado de la industria eléctrica era de 51,473 pesos mientras que el de la economía total era de 14,771 pesos. En 2003, primer año del que se tiene registro, el sueldo mensual promedio de la industria eléctrica fue de 17,622.50 pesos, mientras que el de la economía total era de 6,233.66 pesos. Ahora bien, el promedio de crecimiento anual de las remuneraciones de la industria eléctrica es de 7% mientras que el de la economía en conjunto es de 5.2%.

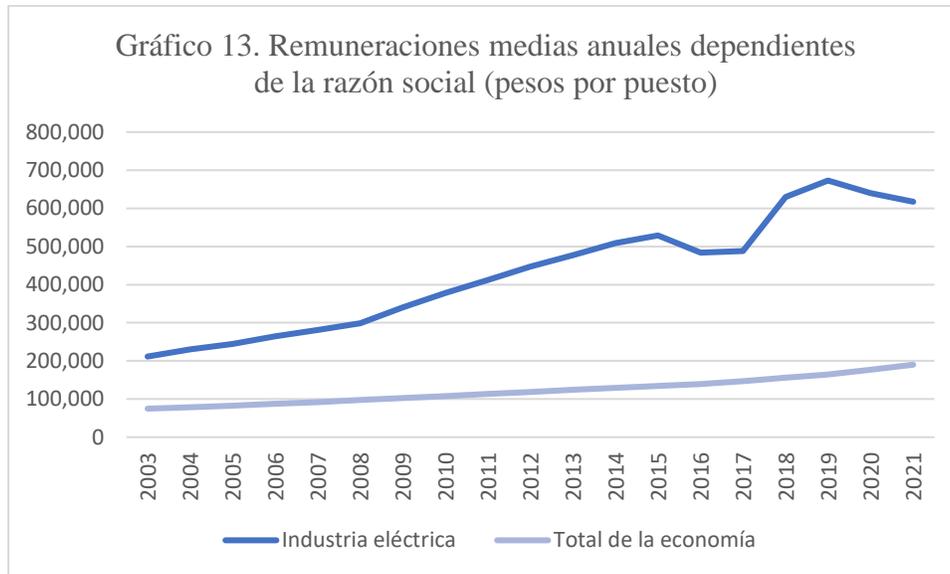


Gráfico de elaboración propia con datos del INEGI, consulta 2023

4.4.Relación con otras industrias

La propia Constitución de 1917 le otorga a la industria eléctrica su carácter estratégico en su artículo 28 hoy sólo en sus fases de transmisión y distribución de energía eléctrica. Así, el Gobierno Federal publica constantemente Programas sectoriales de energía eléctrica, Planes nacionales de energía eléctrica, Planes nacionales para el desarrollo de la industria eléctrica, entre otros documentos.

La industria eléctrica es estratégica para la economía nacional. En 2011 Bancomext creó la Dirección de Financiamiento al Sector Eléctrico Electrónico por identificarlo como un sector prioritario para la economía nacional, este sector incluye los productos electrónicos, los electrodomésticos y los equipos necesarios para la industria eléctrica, particularmente en sus fases de generación y distribución. Dentro de los sectores estratégicos según Bancomext también se encuentra el de energía dirigido principalmente a proyectos de energía renovable. En su proyecto de industrias prioritarias de 2019 a 2024, Bancomext identificó la fabricación de aerogeneradores como una industria altamente competitiva que puede ser detonadora del desarrollo económico local para el corredor Monterrey - La Laguna. Además del crecimiento de la demanda de aerogeneradores, que Bancomext estimó que crece 7% anualmente, una de

las razones por las que la región puede ser competitiva es la disponibilidad de insumos: acero, cables, pintura y sistemas de iluminación.

Respecto al consumo intermedio en valores comprador de 2020 que se refiere a los encadenamientos hacia atrás, es decir, a los bienes y servicios consumidos durante el proceso productivo, la rama de la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica se encuentra en el lugar décimo séptimo de la economía con un valor de 162,988 millones de pesos a precios de 2013. Las ramas de la economía que tienen un mayor encadenamiento en México con la industria eléctrica hacia adelante son la minería de carbón, la fabricación de productos químicos básicos y el transporte de gas natural por ductos (Simulador de impactos de insumo producto, INEGI, 2023).

En sus trabajos Figueroa Ortiz (2015) y Boundi Chraki (2016) demuestran que la industria eléctrica es un sector clave. El primero hace un análisis de 1995 a 2009 y define los sectores clave como aquellos que tienen “fuertes vínculos hacia tras y hacia adelante; es decir, son aquellos sectores que demandan u producen grandes cantidades de insumos intermedios para y hacia los sectores con los cuales se interrelacionan” (Figueroa, 2015, p.49). El autor distingue también los sectores básicos con importantes encadenamientos hacia atrás y estratégicos con encadenamientos hacia adelante. En este trabajo, la industria eléctrica junto con el gas y el agua son parte del mismo sector y se clasifican como una industria clave.

Por su parte, Boundi realiza un análisis de matriz insumo producto de los años 1990, 2000 y 2010 aplicando dos métodos diferentes: Chereny Watabane y Rasmussen. En su conclusión, el autor considera que el método de Rasmussen es más sólido para medir los encadenamientos por lo que en este trabajo vamos a considerar los resultados obtenidos con ese método. El autor clasifica las industrias como clave, si obtienen valores mayores que uno tanto para encadenamientos hacia adelante como hacia atrás.; industrias base si tienen un encadenamiento mayor que 1 hacia adelante y menor que 1 hacia atrás; impulsora si tienen un encadenamiento menor que 1 hacia adelante y mayor que 1 hacia atrás, e; independiente si ambos coeficientes son menores que 1.

Para los análisis de 1990 y del 2000, la industria eléctrica se consideró como una industria clave, sin embargo en 2010 se identificó como una industria base. El autor considera que la razón por la que se incrementó la cantidad de industrias base e independientes y disminuyó

la cantidad de industrias clave es porque a partir de la apertura comercial, las industrias clave que eran principalmente productoras de insumos se vieron reemplazadas por empresas extranjeras e insumos de importación.

En ambos trabajos se concluye que la industria eléctrica está encadenada hacia adelante y hacia atrás con otras industrias, siendo los coeficientes de encadenamiento hacia adelante mayores que los de encadenamiento hacia atrás (véase cuadro 13).

Cuadro 13. Coeficientes de encadenamiento de la industria eléctrica			
Autor	Año de análisis	Coeficiente de encademaniento hacia atrás	Coeficiente de encadenamiento hacia adelante
Carlos Obed Figueroa Ortiz	1995-2009	1.8862	1.8102
Fahd Boundi Chraki	1990	1.02	1.77
Fahd Boundi Chraki	2000	1.05	1.81
Fahd Boundi Chraki	2010	0.93	1.84
Vaca Serrano, <i>et. al.</i>	2013	1.0539	1.7597

Cuadro de elaboración propia

En el análisis de la relevancia de la industria eléctrica en la industria productiva del país (Vaca Serrano, *et.al.*, 2018), las industrias con las que la industria eléctrica está encadenada hacia atrás son:

- La fabricación de productos derivados del petróleo y el carbón.
- La industria química.
- Fabricación de accesorios y aparatos eléctricos.
- Minería de minerales metálicos y no metálicos excepto petróleo y gas.
- Comercio al por mayor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco.
- Autotransporte de carga.
- Servicios profesionales, científicos y técnicos.
- Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco.
- Servicios de apoyo a los negocios,
- Trabajos especializados para la construcción.

Por su parte, las industrias en las que se consume la electricidad son:

- Comercio al por menor de abarrotes, alimentos, bebidas, hielo y tabaco.
- Industria alimentaria.
- Fabricación de productos a base de minerales no metálicos.
- Suministro de agua y suministro de gas por ductos al consumidor final.
- Industrias metálicas básicas.
- Actividades legislativas, gubernamentales y de impartición de justicia.
- Fabricación de equipo de transporte.
- Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas.
- Industria del plástico y del hule.
- Fabricación de productos metálicos.

Los autores concluyen que la industria eléctrica obtiene insumos de 47 subsectores mientras que suministra electricidad a 78 de los 79 subsectores identificados por el INEGI, por lo que la industria eléctrica es más estratégica que impulsora. Si bien “su participación en cuanto al total de la producción, al producto interno bruto, empleo y remuneración de asalariados no son de gran repercusión, su gran relevancia como subsector estratégico, al contar con una amplia capacidad de proveer su servicio al resto de la economía, implica un alto encadenamiento hacia adelante.” (Vaca Serrano, *et. al*, 2018).

Según el índice de Rasmussen calculado por Vaca Serrano, *et al.*, la industria eléctrica se encuentra en la sexta posición de encadenamiento productivo sólo después de los productos derivados del petróleo y el carbón, las industrias metálicas básicas, la industria alimentaria, química y de papel.

4.5. Conclusiones preliminares

El PIB de la industria eléctrica ha crecido del 2004 a la actualidad y ha aumentado su participación en el PIB total desde entonces pasando del 0.7 del valor del PIB nacional al 1.2%. Sin embargo, con los datos también se puede identificar que es una industria muy sensible al comportamiento de la economía nacional, a los proyectos de infraestructura y

también a los cambios políticos y regulatorios. La industria es también una importante fuente de empleo y de ingreso, ofreciendo, en su mayoría, empleos de calidad, con prestaciones de ley y con salarios por encima del promedio nacional.

La industria eléctrica ocupa el lugar décimo séptimo de las industrias que más bienes y servicios demandan del conjunto de la economía, adquiriendo combustibles, maquinaria y equipo, material eléctrico, entre otros. Por otro lado, la electricidad está presente en prácticamente todos los procesos productivos del resto de las actividades económicas, por lo que un cambio respecto a la oferta de energía puede provocar el cambio en la totalidad de las condiciones económicas de un país.

Algo fundamental de la industria eléctrica es que la electricidad, además de ser un insumo, es un recurso necesario para elevar la calidad de vida de las personas: para garantizar los mínimos de salud y educación, con hospitales capaces de mantener el suministro para los equipos médicos y escuelas con luz eléctrica, computadoras e internet. El acceso a fuentes de electricidad confiables no debería ser un tema de proyectos gubernamentales, sino una estrategia de Estado que permita garantizar el suministro eléctrico al mejor costo y con el menor impacto al medio ambiente.

Conclusiones

A lo largo de la historia contemporánea de América Latina se han elaborado diferentes marcos conceptuales para abordar el problema de su crecimiento y desarrollo. Desde la economía del desarrollo se apunta a una planificación estatal centrada en sectores de alta capacidad de eslabonamiento; por su parte, el estructuralismo latinoamericano fue el origen de las políticas de sustitución de importaciones en la región que no obtuvo los resultados esperados. Las teorías poskeynesianas trataban de los efectos positivos de las industrias manufactureras en la economía en su conjunto, y actualmente; la tendencia hacia la liberalización económica domina el pensamiento económico.

La industria eléctrica no ha estado exenta de los cambios que estas corrientes de pensamiento económico suponen, comenzando como una industria privada establecida únicamente para satisfacer las necesidades de las industrias nacientes, siguiendo como una industria estatal verticalmente integrada y estableciéndose como una industria con tendencia a la apertura económica en algunos países totalmente liberalizada. Por su importancia, la industria eléctrica está en constante transformación, pues el diseño de una política estatal está sujeto a factores económicos pero, quizá en mayor medida, también a factores políticos y sociales.

Por su importancia estratégica, la industria eléctrica está sujeta a los efectos de los cambios políticos, tal vez sólo por detrás de la industria petrolera y de hidrocarburos. Es por eso que los esquemas de organización industrial varían tanto entre los países. Por ejemplo, Francia tiene una gran empresa estatal (Électricité de France) con participación privada y que compite con otras empresas que genera electricidad principalmente a partir de centrales nucleares, España tiene una industria totalmente abierta a la competencia sin empresas estatales y México se debate en el modelo de industria eléctrica que quiere implementar.

La industria eléctrica es una industria con alto desarrollo tecnológico y que, por lo tanto, está en constante transformación. Hace apenas unos años no era una posibilidad real generar una

cantidad importante de energía eléctrica a partir de fuentes renovables más allá de la energía hidroeléctrica: Hoy la energía fotovoltaica es una realidad, con una producción creciente de energía y con paneles solares cada vez más eficientes a precios más bajos. La energía eólica también está desarrollándose con la instalación de grandes parques eólicos, no sólo terrestres sino también *offshore* que representan grandes retos de ingeniería resueltos.

En la actualidad existen grandes empresas públicas y privadas que participan y compiten en la industria eléctrica en todas sus fases. Es esta competencia la que ha permitido grandes innovaciones en la industria. Hoy el principal reto de las empresas es encontrar la forma de almacenar energía a gran escala y a bajo costo para hacer de las fuentes renovables las principales productoras de electricidad pero no es el único, también se está trabajando en el desarrollo de la energía nuclear, en la eficiencia de las plantas de ciclo combinado, en el desarrollo de turbinas eólicas, en los retos que representan la transmisión y la distribución cuyas soluciones traerían consigo sistemas eléctricos más confiables y estables y que cubran un área mayor permitiendo que la electricidad llegue a personas que aún hoy no tienen acceso a ella. El acceso a la electricidad representa para las personas directamente una mejoría en la calidad de vida.

El inicio de la industria eléctrica en México se remonta al siglo XX cuando empresas privadas proveían electricidad sobre todo a la industria por medio de plantas instaladas cerca de los lugares donde proveían el servicio. En 1937 se creó la Comisión Federal de Electricidad, una empresa estatal que tenía el objetivo de llevar la electricidad a todo el país. En 1960 se nacionalizó la industria eléctrica a través de dos compañías que se encargarían de la consolidación del Sistema Eléctrico Mexicano: La CFE y Luz y Fuerza del Centro. Durante algunos años, el sector eléctrico representaba para el Estado una importante entrada de ingresos fiscales.

En 1986 comenzó la tendencia hacia la liberalización económica del país lo que significó la reorientación del gasto público y por lo tanto, una menor inversión en las empresas del Estado. En 1992 se publicó la Ley del Servicio Público de la Energía Eléctrica con lo que nuevamente se abrió la puerta para que empresas privadas participaran de forma limitada en la industria eléctrica, particularmente en la fase de generación.

En México, la rectoría Estatal en la industria permitió que ésta llegara a la mayoría de la población y que se estableciera como un servicio público en tiempos en que la competencia no era una posibilidad para la industria pues, por el grado de inversión y la complejidad de su operación, la mejor forma de establecer un sistema eléctrico era a través de una única empresa verticalmente integrada. Sin embargo, hoy la competencia en la industria es posible en cada una de sus fases, incluso en la transmisión y en la distribución.

En la industria, dado su carácter estratégico, el Estado debe participar como regulador, estableciendo los criterios de la competencia con especialista de la industria y encaminando los proyectos que están directamente relacionados con el desarrollo nacional, con el cambio tecnológico y con garantizar el acceso a la electricidad de la población más apartada. El Estado no debe bloquear la competencia y tratar a la industria eléctrica como un tema meramente político, pues el desarrollo nacional depende de la industria eléctrica y a su vez, el desarrollo de la industria.

Por las razones que se expusieron en este trabajo, depende de la innovación y de la competencia. Una industria eléctrica nacional cerrada que dependa únicamente de una empresa estatal que no cuenta con los recursos para invertir en la instalación de nuevas centrales eléctricas o en el mantenimiento de las existentes, así como en redes de transmisión y distribución, corre el riesgo de no poder soportar la demanda de electricidad de un país afectando directamente a todas las demás industrias: el desarrollo de la industria eléctrica es fundamental para el desarrollo de la economía. Contar con energía eléctrica confiable a bajo costo impacta directamente en el crecimiento de la economía y la competitividad del país.

La industria eléctrica además, con el modelo actual, tal vez no representa por sí misma una parte importante del PIB nacional, sin embargo, por su impacto en las otras industrias está directamente relacionada con la economía nacional. La industria automotriz y las industrias manufactureras en general variarían sus costos de producción como resultado del cambio de precio de la electricidad. La industria eléctrica también permite la formación de especialistas y de técnicos altamente calificados, como en la industria aeroespacial, y representa una fuente de empleo de calidad y de ingresos para las familias que dependen de ella, con salarios por encima del promedio nacional.

El reto de la industria es asegurar el suministro eléctrico en los próximos años a bajo costo y con el menor impacto medioambiental posible. El reto de México es encontrar los acuerdos políticos que sean necesarios para lograr los objetivos de la industria y permitirle crecer de tal forma que otras industrias de la economía nacional vean en el sector eléctrico una fortaleza sólida del país.

Fuentes

Bibliografía

- Anglés Hernández, Marisol y Palomino Guerrero Margarita (2019) Aportes sobre la configuración del derecho energético en México, UNAM, Instituto de Investigaciones Jurídicas, Comisión Reguladora de Energía, México, [consulta en línea], disponible en <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/12/5846/15.pdf>.
- Bacon, Robert. (2018). Taking Stock of the Impact of Power Utility Reform in Developing Countries. A literature Review, Policy Research Working Paper, World Bank Group, Energy and Extractives Global Practice, Estados Unidos, 66 pp. [consulta en línea], disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29889/WPS8460.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- Betz, Frederick. (2011) Managing Technological Innovation: Competitive Advantage from Change, Third Edition, 2011, P.33, [consulta en línea], disponible en <https://onlinelibrary-wiley-com.pbidi.unam.mx:2443/doi/pdfdirect/10.1002/9780470927564>.
- Breeze, Paul. (2014) Power Generation Technologies. Elsevier, Reino Unido, 2da edición, [consulta en línea], disponible en <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/book/9780080983301/power-generation-technologies>.
- Bustelo, P. (1999). Cap. 15. Estructuralismo latinoamericano (1949-1957). En: Teorías contemporáneas del desarrollo económico. (pp. 189-202). Madrid, España: Editorial Síntesis.
- Carreón, Víctor y Jiménez, Armando. (2007) The Mexican Electricity Sector: economic, legal and Political Issues, en Victor, David G. y Heller Thomas C. The Political Economy of Power Sector Reform. The Experience of Five Major Developing Countries, Cambridge University Press, [consulta en línea], disponible en <https://www.cambridge.org/core/books/political-economy-of-power-sector-reform/mexican-electricity-sector-economic-legal-and-political-issues/E2C17C648E4BE4D9B60541E64BCC607F>. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511493287.006>.

- Coord. Ema Noemí Vázquez Martínez. (2015) 20+1 CREando confianza para los mexicanos. Comisión Reguladora de Energía, [consulta en línea], disponible en <https://www.cre.gob.mx//documento/libro-21aniversario.pdf>.
- Hirschman, Albert. (1985). “Auge y decadencia de la economía del desarrollo”. En, Mark Gersovitz, *et. al.* (comp.). Teoría y experiencia del desarrollo. (448-467), México: Fondo de Cultura Económica.
- Hu, Zhaoguang y Hu, Zheng. Electricity Economics: Production Functions with Electricity, Springer Praxis Books, 2013, Reino Unido, 449 p.p., [consulta en línea], disponible en <https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/book/10.1007%2F978-3-642-40757-4>
- Hunt, Sally. (2002). Making Competition Work in Electricity, John Wiley & Sons, Inc., Estados Unidos, 467 pp. [consulta en línea], disponible en http://regulationbodyofknowledge.org/wp-content/uploads/2013/03/Hunt_Making_Competition_Work.pdf.
- Konstantine, Panos y Konstantine Margaret (2018). The Power Supply Industry, Springer Praxis Books, Suiza, 393 p.p. [consulta en línea], disponible en <https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/book/10.1007%2F978-3-319-72305-1>.
- Ortega Lomelín, Roberto. (2016) La evolución constitucional de la energía a partir de 1917. Secretaría de Cultura, INEHRM, Secretaría de Energía, [consulta en línea], disponible en <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/11/5275/9.pdf>.
- Prebisch, Raúl. (1949). El desarrollo económico de la América Latina y algunos de sus principales problemas, Chile, CEPAL, [consulta en línea], disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40010/4/prebisch_desarrollo_problemas.pdf.
- Rodríguez, Octavio. (2006) El estructuralismo latinoamericano, México, Siglo XXI, CEPAL, [consulta en línea], disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1952/1/S3389R696E_es.pdf.
- S/A. (2020). Informe sobre las inversiones en el mundo 2020, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, Naciones Unidas, [consulta en línea], disponible en https://unctad.org/system/files/official-document/wir2020_overview_es.pdf

- S/A. (2020). 2020 Tracking SDG7 Report. Banco Mundial, [consulta en línea], disponible en <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads>
- S/A. (2008) The Growth Report. Strategies for Sustained Growth and Inclusive Development, Comisión para el Crecimiento y el Desarrollo, Banco Mundial, [consulta en línea], disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/6507/449860PUB0Box3101OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tagare, Digambar M., Electric Power Generation: The Changing Dimensions, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Wiley Publication, 2011, Estados Unidos, 406 p.p. [consulta en línea, disponible en <https://ieeexplore-ieee-org.pbidi.unam.mx:2443/xpl/ebooks/bookPdfWithBanner.jsp?fileName=5713284.pdf&bkn=5713284&pdfType=book>].
- Valadares, Leonardo Fonseca. (2020) Renewable energy resources. Salem Press Encyclopedia. [consulta en línea], disponible en <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/detail/detail?vid=5&sid=b6211dac-ea02-45b1-b04d-208d6bc31c8e%40pdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=89475350&db=ers>
- Williams, J.B. (2018) The Electric Century: How the taming of lightning shaped the modern world, Springer Praxis Books, Reino Unido, 227 p.p., [consulta en línea], disponible en <https://link-springer-com.pbidi.unam.mx:2443/book/10.1007%2F978-3-319-51155-9>

Páginas de internet

- ¿Qué es la electricidad? Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española, [consulta en línea], disponible en <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-la-electricidad/>.

- Acceso a la electricidad (% de población). Banco Mundial, [consulta en línea], disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS>.
- Anuario estadístico mundial de energía [consulta en línea], disponible en <https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html>.
- CFE, Acerca de CFE, [consulta en línea], disponible en <https://www.cfe.mx/Pages/Index.aspx>.
- Cooperación de América del Norte en Información Energética (CANIE), [consulta en línea], disponible en <https://www.gob.mx/sener/acciones-y-programas/cooperacion-de-america-del-norte-en-informacion-energetica-21343?idiom=es-MX>.
- Countries and Regions, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries>.
- Data and Statistics, Total Energy Supply (TES) by source, World 1990-2018. International Energy Agency, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>.
- Diccionario de la Real Academia Española, Edición del tricentenario, 2019, [consulta en línea], disponible en <https://dle.rae.es/industria>.
- Diccionario de la Real Academia Española, Edición del tricentenario, 2019, [consulta en línea], disponible en <https://dle.rae.es/sector>.
- Différence EDF et ERDF: fournisseur et distributeur d'électricité. Energie Reduc, [consulta en línea], disponible en [https://energie-reduc.com/actualite/difference-edf-et-erdf#:~:text=EDF%20est%20une%20soci%C3%A9t%C3%A9%20anonyme,EPIC\)%20comme%20%C3%A0%20sa%20cr%C3%A9ation.&text=ERDF%20est%20de%20son%20c%C3%B4t%C3%A9,soci%C3%A9t%C3%A9%20%C3%A0%20capit%20majoritairement%20publics](https://energie-reduc.com/actualite/difference-edf-et-erdf#:~:text=EDF%20est%20une%20soci%C3%A9t%C3%A9%20anonyme,EPIC)%20comme%20%C3%A0%20sa%20cr%C3%A9ation.&text=ERDF%20est%20de%20son%20c%C3%B4t%C3%A9,soci%C3%A9t%C3%A9%20%C3%A0%20capit%20majoritairement%20publics).
- Electricity imports vs exports, International Energy Agency, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries/mexico>.
- Emisiones atmosféricas las centrales eléctricas en América del Norte, CCA, [consulta en línea], disponible en

http://www.cec.org/sites/default/napp/es/overview_of_the_electric_power_system-united-states.php

- IMF Data Access to macroeconomic and financial data. Primary Commodity Price System, International Monetary Fund, [consulta en línea], disponible en <https://data.imf.org/?sk=471ddd8-d8a7-499a-81ba-5b332c01f8b9>.
- Frecuencia. Glosario de la Unión Europea. Comisión Europea, [consulta en línea], disponible en https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/campos-electromagneticos/glosario/def/frecuencia.htm.
- India's Power Sector, The World Bank, [consulta en línea], disponible en <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2010/04/19/india-power-sector>
- Notre mix énergétique. Électricité de France, [consulta en línea], disponible en <https://www.edf.fr/groupe-edf/produire-une-energie-respectueuse-du-climat>.
- Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, [consulta en línea], disponible en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.
- Ranking mundial de las principales compañías eléctricas a fecha de abril de 2021 por valor de mercado en miles de millones de dólares, [consulta en línea], disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/635196/valor-de-mercado-de-las-empresas-electricas-lideres-a-nivel-mundial/>.
- Reforma Energética: Un antes y un después, Enel Energía México, [consulta en línea], disponible en <https://www.enel.mx/es/media-center/news/Reforma-Energetica-Un-antes-y-un-despues>.
- Sectores estratégicos, Bancomext, [consulta en línea], disponible en <https://www.bancomext.com/empresas-que-apoyamos/sectores-estrategicos>.
- Simulador de impactos insumo producto, INEGI, [consulta en línea], disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/simuladormip/#tabSimulador>.
- Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte 2018 (SCIAN 2018), [consulta en línea], disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/scian/>.

- Top ten power companies in 2020. Power Technology, actualizada el 6 de octubre de 2020, [consulta en línea], disponible en <https://www.power-technology.com/features/top-ten-power-companies-in-2020/>

Reportes

- Energy Policies of IEA Countries: Sweden 2019 review. IEA, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries/sweden>.
- Energy Policies of IEA Countries: United States 2019 review. IEA, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries/united-states>.
- France 2021. Energy Policy Review. IEA, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries/france>.
- India Energy Outlook 2021. IEA, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries/india>.
- Japan 2021. Energy Policy Review. IEA, [consulta en línea], disponible en <https://www.iea.org/countries/japan>.
- Presentación de resultados. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares, ENCEVI 2018, INEGI, [consulta en línea], disponible en https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encevi/2018/doc/encevi2018_presentacion_resultados.pdf.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029, [consulta en línea], disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_del_Sector_Electrico.pdf.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2017-2031, [consulta en línea], disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/284345/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2017.pdf.
- Prospectiva del Sector Eléctrico 2021-2035, [consulta en línea], disponible en <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional>.

- Reforma Energética, Gobierno de la República, 2013 [consulta en línea], disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/10233/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf.
- S/A (2017). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031, Secretaría de Energía, México, [consulta en línea], disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325640/Prospectiva_del_Setor_Elctrico_2017-2031.pdf.
- S/A (2004) Understanding Economic Growth. Macro-Level, Industry-Level, Firm-Level, OCDE, [consulta en línea], disponible en <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264019331-en.pdf?expires=1598744548&id=id&accname=guest&checksum=97E2BC882809645BA97ED832A1B60B13>.
- S/A (2022). World Energy Investment 2022, [consulta en línea], disponible en <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b0beda65-8a1d-46ae-87a2-f95947ec2714/WorldEnergyInvestment2022.pdf>

Artículos

- Blanco, Luis Armando. (2013) Hirschman: Un gran científico social. Revista de Economía Institucional. Vol. 15, No. 28, Bogotá, Enero-Junio 2013, [consulta en línea], disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-59962013000100003.
- Boundi Chraki, Fahd. (2016) Análisis input-output de encadenamientos productivos y sectores clave en la economía mexicana. Revista Finanzas y Política Económica, vol. 8, núm. 1, enero-junio, 2016, pp. 55-81, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, [consulta en línea], disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3235/323544825004.pdf>.
- Bullinger, Christopher D. y Shetty, Akshay A. (2004) Power Investing: How to Invest in the Electricity Industry. The Electricity Journal, Volume 17, Issue 7, August-

September 2004, p. 55 – 64, [consulta en línea], disponible en <https://www-sciencedirect-com.pbidi.unam.mx:2443/science/article/pii/S1040619004000867?via%3Dihub>.

- Bustelo, Pablo. (2011). Japón: seguridad energética con alta dependencia externa y desnuclearización progresiva, Real Instituto El Cano, [consulta en línea], disponible en <https://www.realinstitutoelcano.org/documento-de-trabajo/japon-seguridad-energetica-con-alta-dependencia-externa-y-desnuclearizacion-progresiva-dt/>.
- Carreón, Víctor G. (2010). La arquitectura de mercado del sector eléctrico mexicano. Documentos de trabajo del CIDE, CIDE, [consulta en línea], disponible en <https://www.cide.edu/repec/economia/pdf/DTE499.pdf>.
- Casella, Antonio. (2008) Teorías latinoamericanas del desarrollo: el estado sustituto del individuo. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, no. 3, vol. 17, julio-septiembre de 2008, consulta en línea, disponible en <https://www.redalyc.org/html/122/12217306/>.
- Cornejo, Sarahí Ángeles. (2003) Los efectos del TLCAN en los cambios de la organización de la industria eléctrica en México. Coloquio internacional “Energía, Reformas Institucionales y Desarrollo en América Latina”, UNAM, [consulta en línea], disponible en <https://www.depfe.unam.mx/p-cientifica/coloquio-erdal/11DSarahiAngelesLtt.pdf>.
- Díaz Bautista, Alejandro y Romero Patiño, Agustín. (2007) Economías de escala en el sector eléctrico mexicano, Comercio exterior, Vol. 57, Núm 9, [consulta en línea], disponible en <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/107/3/RCE3.pdf>.
- García, John Jairo y Palacios, Carlos Mario. (2006) La integración energética de los países nórdicos —Nord Pool—: lecciones para otros mercados. Lecturas de Economía, 64 (enero-junio), pp. 117-142. Universidad de Antioquia, [consulta en línea], disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/le/n64/n64a5.pdf>.
- Gómez Jiménez David y Sanz Oliva, Jorge. (2019) La política energética de Estados Unidos en la actualidad. Boletín Económico de ICE 3110 del 1 al 30 de abril de 2019, [consulta en línea], disponible en http://www.iberglobal.com/files/2019-1/usa_energia_bice.pdf

- Fagan, Mark L. (2006) Una Explicación de la Reforma del Sector Eléctrico en los Estados Unidos, Universidad de la Rioja, España, [consulta en línea], disponible en file:///C:/Users/lenovo/Downloads/Dialnet-UnaExplicacionDeLaReformaDelSectorElectricoEnLosEs-7792651.pdf
- Figueroa Ortiz, Carlos Obed. (2015) Identificación de los sectores clave de la economía mexicana. Investigación y Ciencia, vol. 23, núm. 65, mayo-agosto, 2015, pp. 48-58, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México, [consulta en línea], disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/674/67443217007.pdf>.
- Hernández Soto, Daniel. (2005). El sector eléctrico en México: evaluación y alternativas de privatización, Carta Económica Regional. Año 17, núm. 92 abril-junio, Universidad de Guadalajara, [consulta en línea], disponible en <http://www.revistascientificas.udg.mx/index.php/CER/article/download/5628/5172>.
- Hirschman, Albert, O. (1983) La estrategia del desarrollo económico. El Trimestre Económico, Vol. 50, No. 199(3), Número especial 50 aniversario, julio-septiembre de 1983), pp. 94, [consulta en línea], disponible en <https://www.jstor.org/stable/23395856>.
- Hung-Po Chao. Journal of Economic Literature. Sep2003, Vol. 41 Issue 3, p926-928. 3p. , Base de datos: Business Source Ultimate, [consulta en línea], disponible en <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=270ec109-6839-4ecc-9bfe-b1b700e2de14%40pdc-v-sessmgr03>.
- Ibarburu, Mario. (2007) Experiencia del comercio internacional de electricidad en la Unión Europea, Universidad Católica del Uruguay, [consulta en línea], disponible en https://ucu.edu.uy/sites/default/files/facultad/fce/economia/02_Experiencia_de_la_Union_Europea.pdf.
- Joskow, Paul L., 2003. Electricity Sector Restructuring and Competition: Lessons Learned, Cuadernos de Economía, Año 40, N. 121, pp. 548-558, [consulta en línea], disponible en <https://economics.mit.edu/files/1170>.
- Limón Portillo, Alejandro. La reorganización de la industria eléctrica en México, Centro de investigación económica y presupuestaria, 2017, [consulta en línea], disponible en <https://ciep.mx/la-reorganizacion-de-la-industria-electrica-en-mexico/>.

- Molina Vargas, Alejandro (2017). Estructura de la industria eléctrica mexicana: el Modelo del Comprador Único. *Economías, Teoría y Práctica*, Nueva Época, Número 46, enero-junio, pp. 71-95, [consulta en línea], disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/etp/n46/2448-7481-etp-46-00071.pdf>.
- Ocegueda Hernández, Juan Manuel. 2003. Análisis kaldoriano del crecimiento económicos de los estados de México 1980-2000. *Revista de Comercio Exterior*, Vol. 53, Num. 11, Noviembre de 2003, [consulta en línea], disponible en <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/59/5/RCE.pdf>.
- Rodríguez Padilla, Víctor. (2015) Industria eléctrica en México: Tensión entre el Estado y el mercado. *Revista Problemas del Desarrollo*, 185 (47), abril-junio, Instituto de Investigaciones Económicas, [consulta en línea], disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301703616300037?token=43513CB990CCE4CC5404DD9235CBC859498079B0FDE48498EBB0771BC05F01B3AD90D75843A8A3394BADB0509ADD710E>.
- S/A (2021). México: Declaración del personal técnico al término de la misión del Artículo IV correspondiente a 2021, Fondo Monetario Internacional, Washington, [consulta en línea], disponible en <https://www.imf.org/es/News/Articles/2021/10/08/mcs100821-mexico-staff-concluding-statement-of-the-2021-article-iv-mission>.
- Saldaña, Juan José. La labor del ingeniero José Herrera y Lasso en la creación y desenvolvimiento de la Comisión Nacional de fuerza Motriz (1923-1926) en *Memorias del X Congreso Mexicano de Historia de la Ciencia y de la Tecnología*, UNAM, 2006, (pp.647-658), [consulta en línea], disponible en https://www.researchgate.net/publication/313476292_La_labor_del_ingeniero_Jose_Herrera_y_Lasso_en_la_creacion_y_desenvolvimiento_de_la_Comision_Nacional_de_fuerza_Motriz_1923-1926.
- Sánchez Juárez, Isaac Leobardo. (2009). Teorías del crecimiento económico y divergencia regional en México, *Entelequia. Revista Interdisciplinaria*, n° 9, primavera de 2009. p.4, [consulta en línea], disponible en https://econpapers.repec.org/article/ervancoec/y_3a2009_3ai_3a9_3ap_3a129-149.htm.

- Sánchez Salazar, María Teresa ; Casado Izquierdo José María; Saavedra Silva, Eva. (2004). La inversión privada en el sector eléctrico en México: marco institucional y estructura territorial. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, No. 54, pp 67-92, [consulta en línea], disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n54/n54a6.pdf>.
- Serrato Ángeles, 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” UNAM, [consulta en línea], disponible en <https://www.depfe.unam.mx/p-cientifica/coloquio-erdal/17EGerardoserrato%20Ltt.pdf>.
- Steiner, Faye. (2000). I. Regulación, estructura industrial y desempeño en la industria eléctrica. “Regulation, Industry Structure and Performance in the Electricity Supply Industry”, OCDE, Paris, [consulta en línea], disponible en <https://www.oecd.org/regreform/reform/2731995.pdf>.
- Treviño M., Francisco, J. La Regulación de la energía eléctrica y de la Comisión Federal de Electricidad, Biblioteca Jurídica Virtual del Instituto de Investigaciones Jurídicas de la UNAM, [consulta en línea], disponible en <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/1/153/7.pdf>.
- Urrutia, Miguel. (2008). Los eslabonamientos y la historia económica de Colombia. Desarrollo y sociedad, Primer semestre de 2008, pp. 67-85, [consulta en línea], disponible en <https://biblat.unam.mx/hevila/Desarrollosociedad/2008/no62/3.pdf>.
- Vaca Serrano, Jaime Mario, Kido Cruz, Antonio y Nuñez Rodríguez, Gaspar (2018). Industria eléctrica y su relevancia en la estructura productiva de México, Economía, Sociedad y Territorio, Vol. XVIII, num. 58, El Colegio Mexiquense, [consulta en línea], disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212018000300825.
- Viqueira Landa, Jacinto (1995). El desarrollo futuro de la industria eléctrica mexicana en el contexto de la crisis económica, Problemas del Desarrollo. Abril-junio 1995, Vol. 26, No. 101, [consulta en línea], disponible en <http://www.revistas.unam.mx/index.php/pde/article/download/29341/27279>.

Leyes

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 05 de febrero de 1917, [consulta en línea], disponible en <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>.
- Decreto por el que se extingue el organismo descentralizado Luz y Fuerza del Centro, 11 de octubre de 2009, [consulta en línea], disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n237.pdf>.
- Gaceta de propuesta de Reforma Constitucional del 1 de octubre de 2021, [consulta en elínea], disponible en <http://gaceta.diputados.gob.mx/>.
- Ley de la Industria Eléctrica, Diario Oficial de la Federación, 11 de agosto de 2014, [consulta en línea], disponible en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014.
- Ley de la Industria Eléctrica, Diario Oficial de la Federación, 09 de marzo de 2021, [consulta en línea], disponible en http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5613245&fecha=09/03/2021.
- Manual de importaciones y exportaciones, Diario Oficial de la Federación, 11 de diciembre de 2017, [consulta en línea], disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5507345&fecha=11/12/2017.

Noticias

- González, Luis Miguel y Amador, Octavio. Inversión de CFE y trámites ágiles, llaves para evitar panel en energía: SE. El Economista. 30 de enero de 2023, [consulta en línea], disponible en <https://www.economista.com.mx/empresas/Inversion-de-CFE-y-tramites-agiles-llaves-para-evitar-panel-en-energia-SE-20230129-0069.html>.

- Hiriart, Pedro. Dan primer amparo contra Ley de la Industria Eléctrica por ser contraria a un ambiente sano. El financiero. 25 de julio de 2022, [consulta en línea], disponible en <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/2022/07/25/dan-primer-amparo-contrale-ley-de-la-industria-electrica-por-ser-contraria-a-un-ambiente-sano/iea>.
- Reartes Puccio, Fernando. Suecia, pionero en la lucha contra el cambio climático. Siemens Gamesa. 2 de abril de 2020, [consulta en línea], disponible en <https://www.siemensgamesa.com/es-es/descubrir/revista/2020/04/siemens-gamesa-sweden-article>

Otros

- Conferencia: Kaldor, Nicolas. 1973, Teoría del equilibrio y teoría del crecimiento, Conferencias pronunciadas en abril de 1973 en el Centro de Estudios Económicos y Sociales del C.S.I.C. y en el Departamento de Teoría Económica de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Barcelona. Traducción A. Ortí Lahoz. [consulta en línea], disponible en https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/6027/37039_4.pdf?sequence=1.
- Hatzichronoglou, Thomas. Revisión del sector de alta tecnología y clasificación de productos. OCDE, París, 1997. [Consulta en línea], disponible en <https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/septima-reunion-gtci-revision-sector-alta-tecnologia-clasificacion-productos-thomas-hatzichronoglou.pdf>.
- Hesla, Erling y Pendergras, B.B. Spark Museum Chronicles the Early History of Electricity, July/August 2020, [consulta en línea], disponible en <https://ieeexplore-ieee-org.pbidi.unam.mx:2443/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9113370>. DOI 10.1109/MIAS.2020.2985515.