



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA

FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Seguridad del sector eléctrico mexicano en el periodo  
1990-2016 enmarcada en la seguridad energética**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**Doctor en Economía**

PRESENTA:

**Jonathan Israel García Olicón**

TUTOR:

Dr. Ángel de la Vega Navarro  
Facultad de Economía, UNAM

MIEMBROS DEL JURADO:

Dra. Alicia Puyana Mutis  
Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, México

Dra. Isabel Rodríguez Peña  
Facultad de Economía, UNAM

Dra. Úrsula Oswald Spring  
Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM

Dr. Alejandro Álvarez Béjar  
Facultad de Economía, UNAM



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.

## Contenido

|   |            |
|---|------------|
| Contenido.....  | 2          |
| Introducción.....   | 6          |
| <b>Capítulo 1. Los vínculos de la energía y la economía.....</b>                                  | <b>11</b>  |
| Energía y economía .....  | 11         |
| <b>Capítulo 2. Energía y Electricidad .....</b>   | <b>17</b>  |
| Sector eléctrico .....  | 17         |
| Desarrollo del Sector eléctrico mexicano previo a 1990.....                                       | 21         |
| Desarrollo del Sector eléctrico mexicano en el periodo 1990-2016.....                             | 22         |
| Reforma energética 2013 y composición actual del sector.....                                      | 31         |
| Contexto regional de América del Norte .....  | 44         |
| Conclusiones del capítulo .....   | 45         |
| <b>Capítulo 3. Seguridad Energética y Seguridad del Sector Eléctrico.....</b>                     | <b>48</b>  |
| Desarrollo del concepto: Seguridad Energética. ....   | 48         |
| Seguridad en el Sector Eléctrico .....  | 57         |
| Estadísticas e indicadores de seguridad energética nacional y del sector eléctrico mexicano. .... | 70         |
| Conclusiones del capítulo .....   | 104        |
| <b>Capítulo 4. Seguridad del Sector Eléctrico Mexicano .....</b>                                  | <b>105</b> |
| Introducción.....   | 105        |
| Índice General de Seguridad del Sector Eléctrico .....  | 106        |
| Índice General de Seguridad del Sector Eléctrico: el caso mexicano.....                           | 118        |
| Conclusiones del capítulo .....   | 125        |
| <b>Capítulo 5. Conclusiones .....</b>   | <b>128</b> |
| Referencias.....  | 136        |

## Tabla de Ecuaciones

|  |     |
|--|-----|
| Ecuación 1.1 .....   | 13  |
| Ecuación 4.1 Ecuación del Índice de seguridad del sector eléctrico:..... | 114 |

## Índice de Gráficos

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 2.1 Industria Eléctrica en México .....   | 37  |
| Gráfico 2.2 Sistema Eléctrico Nacional Mexicano .....   | 38  |
| Gráfico 2.3 Consumo de energía eléctrica (GWh) 2016 .....   | 40  |
| Gráfico 2.4 Capacidad Instalada por tecnología (MW) 2006-2016.....  | 41  |
| Gráfico 2.5 Capacidad instalada por modalidad (MW) 2016.....  | 41  |
| Gráfico 3.1 Oferta interna, producción e importación de energía total (Pj) .....  | 72  |
| Gráfico 3.2 Autosuficiencia energética nacional .....   | 72  |
| Gráfico 3.3 Intensidad energética nacional (Mj/\$).....   | 73  |
| Gráfico 3.4 Oferta energética nacional por tipo de fuente (Pj) .....  | 73  |
| Gráfico 3.5 Población y consumo energético.....   | 74  |
| Gráfico 3.6 Habitantes con energía eléctrica y consumo eléctrico per cápita .....   | 74  |
| Gráfico 3.7 Participación de los sectores en el consumo de electricidad. Año 2016.....  | 75  |
| Gráfico 3.8 Participación de los sectores en el consumo de electricidad. Año 2005.....  | 75  |
| Gráfico 3.9 Consumo energético en el sector eléctrico. Años: 1990, 2016.....  | 76  |
| Gráfico 3.10 Precios del combustóleo y Gas Natural .....  | 77  |
| Gráfico 3.11 Reservas y Producción de Gas Natural .....   | 78  |
| Gráfico 3.12 Reservas y Producción de Carbón.....   | 78  |
| Gráfico 3.13 Consumo del SE en la Oferta Interna de combustóleo .....   | 80  |
| Gráfico 3.14 Autosuficiencia Nacional del combustóleo.....  | 80  |
| Gráfico 3.15 Consumo del SE en la Oferta Interna de carbón .....  | 80  |
| Gráfico 3.16 Autosuficiencia Nacional del Carbón .....  | 80  |
| Gráfico 3.17 Consumo del SE en la Oferta Interna de Gas Natural .....   | 82  |
| Gráfico 3.18 Autosuficiencia Nacional del Gas Natural .....   | 82  |
| Gráfico 3.19 Participación total de la energía importada e importación de carbón, gas natural y combustóleo. ....                   | 84  |
| Gráfico 3.20 Dependencia externa con EUA: Carbón y Gas Natural .....  | 85  |
| Gráfico 3.21 Dependencia externa: Carbón, Gas Natural y Combustóleo.....  | 85  |
| Gráfico 3.22 X: Carbón, Gas Natural, Combustóleo .....  | 86  |
| Gráfico 3.23 Comercio Exterior de Electricidad .....  | 87  |
| Gráfico 3.24 IHH Consumo de Energía .....   | 89  |
| Gráfico 3.25 Capacidad Efectiva (GW) y Generación Total (GWh) .....   | 91  |
| Gráfico 3.26 Longitud de Líneas de Transmisión (Km) .....   | 91  |
| Gráfico 3.27 IHH en Generación Bruta y Capacidad Efectiva por tipo de tecnología. ....  | 93  |
| Gráfico 3.28 Generación Mensual de Electricidad (GWh).....  | 95  |
| Gráfico 3.29 MRO y MR en el SIN.....  | 96  |
| Gráfico 3.30 MRO en el SEN con meta operativa.....  | 97  |
| Gráfico 3.31 Acumulado mensual de SAIFI atribuible a causas operativas. (2016 y 2017) .....   | 98  |
| Gráfico 3.32 Acumulado mensual de SAIFI Total atribuible a causas operativas y caso fortuito o de fuerza mayor. (2016 y 2017) ..... | 98  |
| Gráfico 3.33 Acumulado mensual de SAIDI atribuible a causas operativas. (2016 y 2017) .....   | 99  |
| Gráfico 3.34 Acumulado mensual de SAIDI Total atribuible a causas operativas y caso fortuito o de fuerza mayor. (2016 y 2017) ..... | 99  |
| Gráfico 3.35 Eventos y duración de interrupciones por usuario al año.....   | 100 |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 3.36 Perdidas de energía en el SEN .....  | 101 |
| Gráfico 3.37 Vida Útil Centrales Eléctricas .....   | 102 |
| Gráfico 4.1 Flujo energético en Índice General de Seguridad del Sector Eléctrico Mexicano .....                         | 109 |
| Gráfico 4.2 Relación entre las dimensiones del Índice General y las vulnerabilidades del Sector Eléctrico Mexicano..... | 113 |
| Gráfico 4.3 Índice General de Seguridad del Sistema Eléctrico Mexicano 2002-2016 .....                                  | 118 |
| Gráfico 4.4 Índice General de Seguridad Energética del Sector Eléctrico: 2002, 2007, 2012 y 2016 .....                  | 120 |

## Índice de Cuadros

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 2.1 Usuarios del Sistema Eléctrico Nacional 2006-2016.....                       | 39  |
| Cuadro 3.1 Diversidad fuentes primarias en la producción nacional total de energía..... | 88  |
| Cuadro 3.2 IHH Centrales de Generación por tipo de Tecnología.....                      | 91  |
| Cuadro 3.3 Niveles de Reserva Operativa para los estados operativos del SEN .....       | 96  |
| Cuadro 4.1 Indicadores del índice de seguridad del sector eléctrico .....               | 115 |

## Introducción.

La visión energética a nivel mundial propone que la satisfacción de necesidades energéticas humanas puede plantearse como una serie de procesos físicos, económicos, políticos y sociales que tienen como fin transformar la energía natural disponible en energía útil para los consumidores. E identifica el acceso a la energía como un desafío importante para lograr el desarrollo mundial<sup>1</sup>, ya que no contar con el suministro energético suficiente y de calidad, implica mantener obstáculos para realizar desde actividades básicas como la alimentación y la salud, hasta la implementación de derechos que se han catalogado como universales. Lo anterior se observa al comprender que la demanda de energía no se deriva de las preferencias por el producto energético en sí, sino de los deseos de utilizar la energía para obtener los servicios deseados<sup>2</sup>. De tal forma que la energía resulta esencial para el desarrollo económico de los países, en una visión no acotada únicamente al crecimiento económico. Por esta razón, los países tienen un motivo para preocuparse y enfocarse en buscar un abastecimiento energético confiable, eficiente, de calidad creciente y flexible. De esta forma la seguridad energética se vuelve indispensable para garantizar los requerimientos energéticos que cubran las necesidades energéticas del país, de la población y de todos los consumidores.

Actualmente la tendencia global es la transición energética hacia una economía basada en el uso de energías limpias. Esto puede lograrse en gran medida por medio de la electricidad gracias a que en su generación se pueden utilizar distintos tipos de energía primaria. En esta tendencia global, la sociedad, los gobiernos, las empresas y los ciudadanos harán gran uso de la electricidad, haciendo que esta se vuelva aún más relevante para acceder, entre otras, a nuevas formas de comunicación y tecnología de la información, lo que permitirá participar en actividades económicas como el comercio online y los mercados, o en casos como el actual (Covid-19) para poder participar activamente dentro de la sociedad que se ha visto distanciada, además de permitir que las clínicas de salud mantengan en refrigeración las vacunas, operen equipos médicos, brinden tratamiento médico y hagan uso de herramientas modernas de comunicación masiva necesarias para combatir la propagación. Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo UNDP (2016) (por sus siglas en inglés) explica que el uso de la electricidad actualmente otorga beneficios en las actividades cotidianas ya que la iluminación eléctrica en los hogares permite el estudio y genera la oportunidad de mayor alfabetización, también ayuda a garantizar un suministro de agua limpia al alimentar equipos para bombear y tratar agua cruda, reduciendo la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. Por lo que nuestra vida cotidiana depende de servicios energéticos fiables y asequibles para funcionar sin trabas y de forma equitativa<sup>3</sup>. Además, el uso de la electricidad

---

<sup>1</sup> En el año 2015 la ONU a través del PNUD cambió los antes llamados Objetivos del Milenio por los Objetivos del Desarrollo Sustentable entre los que se encuentra la energía en el Objetivo 7: Energía Asequible Y No Contaminante. <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

<sup>2</sup> De este modo “La demanda de energía depende principalmente de la demanda de los servicios deseados, la disponibilidad y las propiedades de las tecnologías de conversión de energía y los costos de la energía y las tecnologías utilizadas para la conversión.” (Sweeney, J., (), pp. 6)

<sup>3</sup> Otros usos cotidianos de la electricidad son: iluminación, refrigeración, calefacción, aire acondicionado, lavar y secar ropa, lavado de platos, calentamiento de agua, operación de equipos electrónicos. Donde “La energía eléctrica se convierte en energía mecánica (motores en refrigeradores, unidades de aire acondicionado, aspiradoras), energía térmica (calefacción, secadoras de ropa, calentamiento de agua) o radiación (iluminación, televisión, monitores de computadora).

puede afectar la pobreza al aumentar la productividad de las personas y, por lo tanto, sus ingresos. Mientras que en el caso de las industrias puede estimular la innovación y el espíritu empresarial local al permitir el acceso a tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como el Internet, las computadoras y los teléfonos móviles. En virtud de ello, es necesario contar con un sistema eléctrico bien establecido que apoye a todos los actores económicos, desde las empresas hasta los consumidores finales en la realización de sus actividades. De no ser así, la ocurrencia de apagones regulares interrumpirá todas las actividades sociales e industriales, reduciendo la producción y aumentando los gastos tanto en industriales como en consumidores finales.

En atención a lo anterior, el obtener un flujo constante de energía ha sido objeto de la literatura enfocada en la seguridad energética y las instituciones encargadas de apuntalarla, ya sea que esta se busque de forma nacional, regional o mundial<sup>4</sup>. Este concepto de seguridad energética fue usado en mayor medida en los años 70's con el fin de asegurar un flujo constante y asequible de petróleo, el energético más usado a nivel mundial y que provocó afectaciones económicas por el aumento repentino en su precio en aquellos años. Esto reveló que el flujo energético —en su mayoría de petróleo— poseía vulnerabilidades, por lo que su flujo debía asegurarse. Actualmente, el concepto de seguridad energética se ha expandido y ha incorporado otros energéticos a su estudio, debido a que las vulnerabilidades en el flujo energético no son solo para el petróleo sino para cualquier energético. En este sentido todo sistema energético cuenta con puntos de fragilidad, ya sean de carácter político, técnicos y naturales, y estos se trasladan a sus subsistemas energéticos —petrolero, gas natural, eléctrico, etc.—. Este fue el problema que motivo esta investigación, y dio lugar a la hipótesis de que, partiendo de la seguridad energética, el sistema eléctrico, como parte del sistema energético tiene vulnerabilidades intrínsecas, dicho de otra forma, como la seguridad energética es frágil, la seguridad eléctrica también lo es. Por lo que el objetivo de esta investigación es saber cuáles son las vulnerabilidades del sector eléctrico y en qué grado se encuentran. A través de un análisis en retrospectiva del periodo 1990-2016.

Para establecer la validez de la hipótesis en esta investigación, en un primer momento se explora las particularidades en el funcionamiento de los sectores eléctricos para entender cómo se desarrolló el sector eléctrico mexicano durante el periodo 1990-2016, tomando en cuenta los cambios sufridos en su organización y la política nacional seguida.

Por esta razón se parte de considerar que la electricidad posee cuatro realidades técnicas: 1) no se puede almacenar y debe ser generada cuando se requiere, o consumida cuando se genera; 2) toma el camino de menor resistencia; 3) La transmisión de energía por medio de la red está sujeta a interacciones físicas complejas; 4) La electricidad viaja a la velocidad de la luz, por lo que el operador debe coordinar permanentemente la oferta y demanda segundo a segundo. Estas cualidades disciernen a la electricidad de otras energías, lo que obliga a los consumidores a distinguir entre proveedores a través de la diferenciación en el precio, la eficiencia de facturación, el servicio al

---

{Así} La demanda de electricidad se deriva de la demanda de los servicios subyacentes: espacio confortable, refrigeración, limpieza, entretenimiento, procesamiento de información. (Sweeney, J., (), pp.6)

<sup>4</sup> Al respecto Dalby (2013) menciona que el proteger la seguridad humana ha cambiado la prioridad en la búsqueda de seguridad de los estados hacia las personas, lo que plantea nuevas discusiones sobre la soberanía de los países y el derecho internacional. Por lo que esta nueva reorientación de los objetivos de la seguridad puede ayudar en la búsqueda de una mejor seguridad ambiental y seguridad climática, y porque no de la seguridad energética. Véase: Dalby, S. (2013). Global Environmental Security. In *The Handbook of Global Climate and Environment Policy*, R. Falkner (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118326213.ch10>



cliente y otros servicios de valor agregado que pueden aplicarse, en lugar de la electricidad por sí misma ya que el producto es homogéneo.

También se considera que el sector eléctrico lleva a cabo cuatro funciones esenciales: 1) generación, 2) transmisión, 3) operación del sistema, y 4) distribución, funciones que en sistemas eléctricos no abiertos a la competencia se realizan a través de un sector verticalmente integrado y operado generalmente por un monopolio, debido a los altos costos de transmisión, el uso de un solo conjunto de cables para distribuir energía eléctrica por razones de espacio y aspecto visual, y por características específicas de la red como coordinar tanto la generación como la transmisión, entre otras. A finales del siglo pasado se llevaron a cabo reformas en los sectores eléctricos de varios países con el fin de generar competencia en su interior. De estas reformas surgieron nuevas estructuras de funcionamiento del sector eléctrico que requerían de una reestructuración de las empresas existentes a través de mecanismos como: separación contable, separación funcional, separación funcional por medio de afiliados o separación corporativa, para cumplir con el propósito de tener muchos vendedores y compradores que sean sensibles al precio y obtener la competencia deseada. Sin embargo, estas reformas y nuevas estructuras de funcionamiento del sector eléctrico también agregaron nuevas fragilidades al sistema.

Dentro de este contexto de particularidades de la electricidad y el funcionamiento del sector se desarrolló el sector eléctrico mexicano a partir de los años 90's. Ya que, en esta última década del siglo XX, el funcionamiento del sector eléctrico mexicano emprendió una reestructuración que pasó del control total y planeación estatal plena a funcionar en un mercado regulado por instituciones independientes.

Una vez analizado el desarrollo del sector eléctrico mexicano tomando en cuenta sus cualidades y estructura de funcionamiento, se expone una recopilación de distintas definiciones de seguridad energética, y se utiliza la definición propuesta por Cherp y Jewell (2013), que establece a la seguridad energética como: la "Baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales" en el entendido de que estos estarán conformados por los recursos energéticos, la infraestructura, y los usos de la energía, permitiendo así seguir los flujos de la energía y priorizar sus funciones sociales críticas. Este enfoque facilita la evaluación de la seguridad energética de forma más específica al reflejar el contexto y los problemas específicos de cada región y sistema, basándose en hechos concretos que responden a percepciones y prioridades políticas, siendo al mismo tiempo lo suficientemente genérico para una comparación más amplia de ser necesaria. Así al definir a la seguridad energética como la baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales, esta se puede traducir como proteger a los sistemas energéticos de las fallas que puedan alterar su funcionamiento y la estabilidad de la sociedad.

Además, esta definición de seguridad energética posibilitó delinear el sector eléctrico mexicano como un sistema energético vital con la ayuda de algunos indicadores seleccionados. Estos indicadores abarcan desde la seguridad energética del país hasta la seguridad del sector eléctrico mexicano con el fin de obtener un mejor entendimiento de las necesidades energéticas del país y del sector eléctrico nacional, al exponer: la demanda de electricidad que debe ser cubierta para el funcionamiento del país, los recursos con los que se cuenta, las importaciones de energéticos para su generación, las tecnologías utilizadas, los niveles de infraestructura de generación, transmisión y distribución, finalizando con los grados de resiliencia presentes en el sistema que brinden

seguridad ante posibles alteraciones. Estableciendo así los límites y posibles vulnerabilidades<sup>5</sup> del sector eléctrico mexicano.

Es de notar que esta noción de sistema energético vital combina dos aspectos: 1) El término “vital” que significa que es fundamental para el funcionamiento y la estabilidad de una sociedad<sup>6</sup> y; 2) El término “sistema” el cual significa que consta de recursos, materiales, infraestructura, tecnologías, mercados y otros elementos conectados entre sí, siendo algo más grande de lo que son individualmente, pero conectados con el mundo exterior. Desde el punto de vista de la seguridad energética, el significado de tales conexiones es que, en el caso de una interrupción, los elementos dentro de un sistema pueden reemplazarse entre sí, pero los elementos externos al sistema no podrán hacerlo.

Con estas definiciones y retomando el estado del sector expuesto anteriormente, se complementó el enfoque de sistemas energéticos vitales con el marco de evaluación de Larsen E., Osorio, S., Ackere, A. (2017) lo que dilucidó 5 vulnerabilidades como las más graves del sistema eléctrico mexicano: i) la concentración existente en el uso de recursos energéticos para generación, ii) la dependencia constante en la importación de los insumos energéticos para generación tanto en niveles como en proveedores, iii) el bajo crecimiento de las líneas de transmisión y distribución, iv) falta de calidad en el servicio, y v) baja flexibilidad de su capacidad, entre otras. Ya que es probable que alguna de ellas cause una interrupción significativa en el sistema eléctrico mexicano —como el bajo acceso a importaciones de gas natural en 2021 que ya ocasionó apagones en el sistema—, además de que ya fueron abordadas en las políticas y retóricas de la seguridad energética nacional, caracterizando así al sistema eléctrico mexicano.

Con el panorama del funcionamiento del sector, una vez delineado como sistema energético vital y estableciendo las vulnerabilidades que lo afectan, se propone un índice general de seguridad del sector eléctrico —usando el enfoque de seguridad energética de sistemas energéticos vitales— para observar, contextualizar su seguridad y sugerir medidas para que el sector garantice la provisión de energía de forma continua y asequible. El índice sintetiza lo planteado en el capítulo tres en el cual se utilizaron cerca de 30 indicadores para contextualizar el estado del sector. Esta abundancia de indicadores dificulta la comprensión del panorama general de la seguridad del sector eléctrico, razón por la cual este índice general de seguridad del sector eléctrico es más conciso y proporciona un mejor entendimiento del estado del sector y sus posibles vulnerabilidades.

El índice construido en esta investigación está conformado por 11 dimensiones integradas mayormente entre uno y tres indicadores. Las dimensiones revelan las vulnerabilidades que afectan el funcionamiento del sector eléctrico mexicano al reflejar sus riesgos y sus capacidades de resiliencia. Los indicadores seleccionados fueron normalizados para arrojar valores entre 0 y 1 con el fin de unificarlos a través de una ponderación igualitaria que represente la seguridad existente en cada dimensión, y permite comparar los distintos periodos y mostrar cómo en cada período la seguridad mejoró o empeoró, según la trayectoria de cada una de las dimensiones. Cabe aclarar

---

<sup>5</sup> Entendidas como la combinación entre la exposición a los riesgos y su capacidad de recuperación.

<sup>6</sup> Ya que como lo menciona Leung et al. (2014). "Vital" no significa que solo depende de las características de un sistema energético en particular, sino también de su importancia histórica y el poder de los intereses institucionales asociados. Véase: Leung, G. CK., Cherp, A., Jewell, J., & Wei, Y-M. (2014). Securitization of energy supply chains in China. *Applied Energy*, 123, 316-326. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.016>

que dicho índice no sirve como medida exacta de la seguridad del sector eléctrico, ya que su enfoque está dirigido a mostrar la evolución de cada una de las dimensiones a lo largo del tiempo para exponer las tendencias en su desarrollo. De esta forma el índice al detectar aquellos aspectos que afectan o ayudan a mantener y mejorar la seguridad al interior del sector eléctrico, contribuye a la seguridad del sector eléctrico. El índice funciona también como un sistema de alerta temprana para prevenir problemas a futuro, dados los retrasos en hacer efectiva la inversión en el sector. Por consiguiente, este índice general de seguridad del sector eléctrico muestra de forma fácil, concisa y explicativa, a través de una toma instantánea, cómo se encuentra la seguridad en el sector eléctrico mexicano en un momento dado para contrastarlo con los valores de otros años.

Una vez cuantificado el índice general de seguridad del sector eléctrico se confirmó que los eslabones más débiles del sistema eléctrico mexicano se encuentran en la concentración del uso de unos cuantos energéticos para generación que puede ser agravada por la dependencia en las importaciones de estos mismos energéticos y la falta de inversión en la infraestructura de transmisión y distribución de energía, que limita los aumentos requeridos en la capacidad de generación que a su vez por medio de la planeación podría diversificar la matriz energética de generación.

Con esto se demuestra que el sector eléctrico al ser parte del sistema energético nacional posee vulnerabilidades enmarcadas en la seguridad energética. También se establece que la seguridad del sector eléctrico mexicano no es óptima dentro del contexto de seguridad energética nacional expuesto en esta investigación, debido a que la seguridad del sector eléctrico mexicano no se encuentra vinculada a la política de seguridad energética nacional, lo cual puede deberse a que la política de seguridad energética nacional no es clara, dado que en los documentos de las distintas instituciones involucradas en el funcionamiento del sector energético mexicano solo existen algunas menciones a la seguridad energética nacional que difieren en cómo debe realizarse su implementación<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Además de dificultar su continuidad al poder ser reemplazable por próximos gobiernos, debido a que la definición fue introducida en una ley reglamentaria.

## Capítulo 1. Los vínculos de la energía y la economía

Este capítulo busca responder la pregunta: ¿Cuál es la importancia de la electricidad para la economía de un país? Para responder esta primera pregunta se aborda la relación existente entre energía y economía como contexto de la importancia que tiene la energía en general para el desarrollo de todo país. Esta relación permite divisar el alcance actual y futuro de la electricidad como fuente energética necesaria para avanzar en el desarrollo de las personas y los países, entendiendo sus funciones como producto final, así como sus particularidades intrínsecas.

### Energía y economía

El término energía posee diversas acepciones y definiciones, todas ellas relacionadas con la capacidad para crear, transformar, cambiar de posición o estado. Para la física la energía es una propiedad de los cuerpos y se manifiesta en las transformaciones que ocurren en la naturaleza. Comúnmente se le define como la capacidad para realizar un trabajo, es decir, para toda actividad que necesitemos realizar vamos a necesitar de ella. Como tal, la energía no es un estado físico real, ni una sustancia intangible, es un número escalar asignado al estado físico. Aun así, la energía puede manifestarse en diversas formas: calor —energía térmica—, trabajo —energía mecánica—, combustión —energía química—, radiación —energía radiante—, flujo de electrones —energía eléctrica y magnética—, etc. La tecnología permite aprovechar las distintas formas y fuentes de energía elevando al mismo tiempo su eficiencia.

A pesar de los avances tecnológicos que elevan la eficiencia energética de la economía, es necesario recordar que el planeta es un sistema con una cantidad finita de energía, es decir, existe una capacidad determinada para transformar el estado físico y realizar trabajos, sin olvidar la segunda ley de la termodinámica —la cual establece que toda transformación entraña pérdidas<sup>8</sup>—, lo que obliga a buscar la forma de administrar y hacer un mejor uso de la energía.

La energía en sí, se encuentra dispersa en el mundo y disponemos de ella —en su mayoría— a través de los recursos naturales, siendo los energéticos toda clase de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, que diversos procesos transforman en energía. Algunos de estos energéticos, pueden ser intercambiados en el mercado y se les suele agrupar en dos categorías generales, en función de su proceso de formación y de su disponibilidad como: renovables y no renovables. Igualmente, todos los energéticos pueden clasificarse como energía primaria y secundaria, el primer término se refiere a aquella que se extrae de los recursos naturales o como flujo de recursos que no han sufrido alguna transformación, separación o limpieza —entre los que se encuentran el carbón, petróleo crudo, gas natural, energía solar, energía nuclear—, mientras que el segundo término se refiere a la energía obtenida a través de los primeros, es decir, energía primaria que pasa por procesos de transformación o conversión dando como resultado otro energético —como el combustóleo, las gasolinas, la electricidad, entre otros—.

---

<sup>8</sup> Esto quiere decir que todo rendimiento termodinámico tiende a ser menor a uno en todos los casos. Por ejemplo, los procesos de limpieza requeridos para que la energía pueda ser usada generarán pérdidas, al igual que su transportación. Incluso antes de ser consumida o al ser almacenada se generan pérdidas debido a que se está realizando un trabajo.

Estos distintos tipos de energía han estado estrechamente ligados a las grandes revoluciones tecnológicas que afectaron las actividades de producción y consumo. Para ejemplificar Bhattacharyya (2011) explica que algunas de las más importantes transiciones energéticas de los últimos años fueron:

- A. La transición de la energía mecánica al carbón, que permitió la conversión de la energía fósil en trabajo y un suministro de energía independiente del lugar<sup>9</sup>. Una vez presente en las fábricas condujo a una forma totalmente diferente de organización de la producción: el sistema fabril. Mientras que en el transporte provocó una revolución que derivó en la construcción de redes ferroviarias que facilitaban el suministro de energía y hacían de más fácil acceso los recursos productivos y menos dependientes del sitio.
- B. La transición hacia la electricidad, la innovación más importante de la serie de cambios tecnológicos del periodo. Permite una fácil conversión de la energía a luz, calor y trabajo en el punto de uso y amplía la oferta de bienes y tecnologías de uso final. Sin embargo, desde el momento en que se generan todas estas innovaciones y en la actualidad, persisten complejos límites al transporte y almacenamiento, ocasionados por las pérdidas de energía presentes en estas actividades. Solucionar este problema dio luz a otra innovación importante: el motor de combustión interna que revolucionó los sistemas de movilidad a través del uso de automóviles, autobuses y aviones. Estos avances tecnológicos indujeron el surgimiento del petróleo como la energía dominante. Todos estos avances ratifican la esencialidad de la energía en la consolidación del bienestar social y la calidad de vida del ser humano, toda vez que la energía es el insumo de más penetración en todas las actividades productivas.

Desde la perspectiva energética delineada, los sistemas energéticos engloban un conjunto de diversas actividades productivas en el sistema industrial, por lo que un sistema energético está constituido por tres subsectores: la oferta, la transformación y el consumo. El suministro involucra: la producción, importación y exportación de combustible, así como los cambios en los niveles de inventarios. De esta forma, cada fuente de energía da origen a una industria particular: industria petrolera, industria del gas natural, industria del carbón, industria eléctrica, etc. Todas las industrias permiten obtener, transportar y transformar los recursos naturales o energías primarias, en productos energéticos intermedios o de consumo final. Las actividades realizadas por cada tipo de industria varían según el tipo de energía.

Este conjunto de industrias conforma el sector energético de un país o región, constituido entre otros, por el conjunto de recursos, infraestructura, mercados, empresas, instituciones y actores que intervienen en el abastecimiento y consumo de energía. En este sistema los encadenamientos hacia adelante, generados por la oferta de energía captan los impactos macroeconómicos sobre el sector energético, mientras que los encadenamientos hacia atrás, derivados de la demanda, capturan los impactos del sector en la economía nacional. Dado lo anterior, en un sistema energético los recursos naturales, el capital, la tecnología y los mercados deben articularse armoniosamente para formar la cadena energética que garantice la satisfacción de las necesidades de los consumidores.

---

<sup>9</sup> El carbón era almacenable, manejable y podía ser transportado.

Lo anterior constituye una visión económica de la energía, semejante al enfoque de economía ambiental, basado en el modelo económico teórico neoclásico, el cual pretende asignar valores monetarios a los bienes y servicios derivados del medio ambiente natural, en función de su escasez relativa. De tal forma que la sustentabilidad se plantea en función de la acumulación de capital físico y su reproducibilidad, admitiendo ilimitada sustituibilidad de los elementos que componen el ambiente natural por bienes producidos por el hombre y que pueden acumularse en forma de capital físico. En este enfoque, la sustentabilidad está garantizada en la medida que sea posible transferir a las generaciones futuras una mayor o igual cantidad de capital total existente. En este enfoque neoclásico, la propiedad social de los recursos o los bienes públicos son considerados fallas de mercado (como en el modelo teórico de equilibrio general que busca una asignación eficiente de recursos) que impiden la coincidencia de los costos y beneficios sociales y privados e inducen a la divergencia de las racionalidades privadas, empresariales y públicas.

Este razonamiento dio base a las reformas realizadas desde los años 80's a nivel mundial<sup>10</sup> para romper los monopolios energéticos públicos existentes. Y dejó en manos de la tecnología el desarrollo de capital físico que pueda sustituir al capital natural conforme este se degrade o agote. No obstante, esta es una visión muy optimista, a la vista de fenómenos como el calentamiento global, con su respectivo daño ambiental y agotamiento de recursos. Por lo que la CEPAL en (2003) hizo énfasis en la necesidad de un equilibrio dinámico (Ecuación 1.1) entre las distintas formas de capital o acervos que participen, de tal forma que la tasa de uso de cada uno no exceda su propia tasa de reproducción, considerando las relaciones de sustitución y complementariedad existentes entre ellas.

#### Ecuación 1.1

$$KT \Leftrightarrow KF \oplus KN \oplus KH \quad (\text{CEPAL, 2003, pp.24})$$

Donde:

KT: Conjunto de elementos que integran el "capital total". (No es un agregado, sino un conjunto diverso de elementos)

KF: Conjunto de elementos del capital físico o su agregado en valor

KN: Conjunto de elementos que integran el acervo natural

KH: Conjunto de recursos humanos, agregados en cantidad dentro de cada categoría cualitativa.

$\Leftrightarrow$  y  $\oplus$  símbolos que reemplazan respectivamente los signos algebraicos de igualdad y suma, entendiendo que la expresión no puede tener un carácter algebraico.

Dado que este modelo se asemeja a la realidad actual en México, y los indicadores están expresados para su uso y medición conforme a la teoría neoclásica, en busca de la globalización, este es el modelo económico dentro del cual realizó la evaluación de la seguridad del sector eléctrico en un contexto de seguridad energética en el presente trabajo.

---

<sup>10</sup> Chile con su ley de electricidad del año 1982, fue el primer país latinoamericano en llevar a cabo una reforma de descentralización vertical y horizontal de su industria eléctrica, con el fin de que esta funcionará a través del mercado.

Como las consecuencias que plantea el uso de este modelo económico y las experiencias obtenidas de otros países respecto a las reformas son una mayor participación de actores privados y una visión rentista empresarial, no podrá esperarse un desarrollo económico, humano y social derivado de las decisiones descentralizadas tanto por los actores sociales como por el mismo mercado en el cual se deben reconocer fallas estructurales. Las experiencias acumuladas externas y mexicanas sugieren que la seguridad energética y la seguridad del sistema eléctrico mexicano demandan políticas de Estado que dirijan y orienten las decisiones descentralizadas y garanticen plena operatividad al mercado eléctrico, como base de una evolución positiva y sostenida del sistema económico. Lo anterior en función de que no se debe olvidar que una porción significativa de los elementos que integran la biosfera son de propiedad común, así como que las alteraciones al sistema natural suponen un alto nivel de incertidumbre en cuanto a la evaluación de los efectos que tienen las actividades humanas sobre el entorno natural, situación que hace considerar externalidades que incluso nos pueden llevar a tener efectos distributivos. Es por esta razón que a través de las instituciones se debe buscar garantizar un funcionamiento adecuado del mercado eléctrico que impida que se generen decisiones descentralizadas —en busca de rentas o beneficios— que terminen impactando negativamente la realización de inversiones y afecte al desarrollo tanto del sector energético como del país.

Con esta visión económica energética, se propone que la satisfacción de necesidades energéticas humanas puede plantearse como una serie de procesos físicos, económicos, políticos y sociales que tienen como fin transformar la energía natural disponible en energía útil para los consumidores. E identifica el acceso a la energía como un desafío importante para lograr el desarrollo mundial<sup>11</sup> ya que no contar con un suministro energético suficiente y de calidad, implica mantener obstáculos para realizar desde actividades básicas como la alimentación y la salud, hasta obstaculizar la implementación de derechos que se han catalogado como universales<sup>12</sup>. Lo anterior se observa al comprender que la demanda de energía no se deriva de las preferencias por el producto energético en sí, sino de los deseos de utilizar la energía para obtener los servicios deseados<sup>13</sup>. De tal forma que la energía resulta esencial para el desarrollo económico de los países, en una visión no acotada únicamente al crecimiento económico. Por esta razón, los países tienen un motivo para preocuparse y enfocarse en buscar un abastecimiento energético confiable, eficiente, de calidad creciente y flexible. En el entendido de que confiable se refiere a un suministro suficiente, continuo y siempre disponible, así como eficiente se refiere a ser económicamente accesible para la

---

<sup>11</sup> En el año 2015 la ONU a través del PNUD cambió los antes llamados Objetivos del Milenio por los Objetivos del Desarrollo Sustentable entre los que se encuentra la energía en el Objetivo 7: Energía Asequible Y No Contaminante. <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

<sup>12</sup> Ya que la ONU considera que una situación de carencia energética limita las oportunidades de las personas y por tanto su calidad de vida en relación con su productividad económica, educación, alimentación, salud e igualdad entre géneros. Debido a que la energía es indispensable para satisfacer numerosas necesidades humanas básicas, incluida la nutrición, el calor y la luz, ayudando a hacer realidad derechos humanos, incluido el derecho al trabajo, el derecho a la educación y el derecho a una mejor salud. Además, el no satisfacer estas necesidades energéticas no solo afecta directamente a las personas, también impacta en las comunidades y las naciones. Cepal. (2009) Contribución de los servicios energéticos a los objetivos de desarrollo del milenio y a la mitigación de la pobreza en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

<sup>13</sup> De este modo “La demanda de energía depende principalmente de la demanda de los servicios deseados, la disponibilidad y las propiedades de las tecnologías de conversión de energía y los costos de la energía y las tecnologías utilizadas para la conversión.” (Sweeney, J., (), pp. 6)

sociedad<sup>14</sup>. De esta forma, la seguridad energética se vuelve indispensable para garantizar los requerimientos energéticos que cubran las necesidades energéticas del país, de la población y de todos los consumidores.

Ya que su indisponibilidad y volatilidad en los precios, puede imponer efectos adversos para la economía de los países. Lo cual en una visión puramente económica y siguiendo la teoría microeconómica podría esperarse que estos cambios en los precios relativos influirían en la sustitución de la energía por otros factores u otros tipos de energía con el fin de resolver los efectos adversos<sup>15</sup>. Sin embargo, estos cambios en los precios de la energía terminan impactando indirectamente en la economía, por las complejidades físicas intrínsecas de la propia energía como pueden ser: las distintas tecnologías para su transformación y consumo (requiriendo cambiar la infraestructura si se desea usar un tipo de energía diferente), su distribución desigual a nivel mundial, su difícil transportación para algunos energéticos, su bajo o nulo almacenaje, etc. Son más visibles los efectos adversos de estos factores en los países con pocos recursos energéticos toda vez que esta limitación torna sus economías más vulnerables a la inestabilidad de los precios, y hace que los segmentos de transformación y uso final de la energía tiendan a ser más desarrollados para hacer frente a la demanda energética, mientras que en los países ricos en recursos energéticos los cambios de precios afectan principalmente la oferta, lo que puede inducir a que el suministro de energía sea el más desarrollado.

Así el suministro energético puede verse alterado por razones de distinta índole: económicas (oferta-demanda, variación en los precios de los energéticos), relaciones geopolíticas (regiones geopolíticamente inestables, intereses y poder), seguridad (vulnerabilidad, dependencia y resiliencia), fenómenos naturales y energías limpias (calentamiento global), regulación (instituciones, tecnología, costos, eficiencia, poder de mercado), entre otras. Por consiguiente, como se mencionó con anterioridad, es recomendable aumentar la seguridad energética de las regiones, países o sistemas energéticos.

Actualmente la tendencia global es la transición energética hacia una economía basada en el uso de energías limpias. Esto se puede lograr en gran medida, por medio de la electricidad, gracias a que en su generación se pueden utilizar distintos tipos de energía primaria — entre ellas las energías limpias—. En esta tendencia global, los gobiernos, las empresas y los ciudadanos harán gran uso de la electricidad para acceder, entre otras, a nuevas formas de comunicación y tecnología de la información, lo que permitirá participar en actividades económicas como el comercio online y los mercados, o en casos como el actual (Covid-19) para participar activamente en la sociedad que se ha visto distanciada, además de permitir que las clínicas de salud mantengan en refrigeración las

---

<sup>14</sup> Véase. Ruiz, F., Rodríguez, V., Sosa, F. (2013). Internalización de Pemex y Seguridad Energética. En Chanoa, Alejandro (coord.) Confrontando modelos de seguridad energética. México

<sup>15</sup> En este caso, las materias primas energéticas se verían como sustitutos económicos entre sí, donde la demanda de una materia prima energética en particular representaría una función creciente de los precios de otras materias primas energéticas. Esta sustitución de energía solo sería posible y estaría limitada por el conjunto disponible de tecnologías de conversión de energía. Tecnologías de conversión que generalmente hacen uso de un solo producto energético en particular, debido a que los equipos de conversión suelen tener una vida útil muy larga, provocando que la sustitución entre los productos energéticos se produzca lentamente y solo cuando se compran nuevos equipos. De esta forma, la sustitución a corto plazo solo puede ocurrir si se utilizan varias tecnologías de conversión de energía. Ocasionando que varios productos energéticos solo puedan verse como sustitutos imperfectos entre sí, con mucha mayor posibilidad de sustitución a largo plazo que a corto plazo.



vacunas, operen equipos médicos, brinden tratamiento médico y hagan uso de herramientas modernas de comunicación masiva necesarias para combatir la propagación. Asimismo, el PNUD (2016) explica que el uso de la electricidad actualmente otorga beneficios en las actividades cotidianas ya que permite estudiar después de las actividades diurnas y genera la oportunidad de mayor alfabetización, también ayuda a garantizar un suministro de agua limpia al alimentar equipos para bombear y tratar las aguas servidas, reduciendo la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua. De modo que la vida cotidiana depende de servicios energéticos fiables y asequibles para funcionar sin trabas y de forma equitativa<sup>16</sup>. Además, el uso de la electricidad puede afectar la pobreza al aumentar la productividad de las personas pobres y, por lo tanto, sus ingresos. Mientras que en el caso de las industrias puede estimular la innovación y el espíritu empresarial local al permitir el acceso a tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como el Internet, las computadoras y los teléfonos móviles. En virtud de ello, es necesario contar con un sistema energético bien establecido que apoye a todos los actores económicos: desde las empresas hasta los consumidores en la realización de sus actividades. De no ser así, la ocurrencia de apagones regulares interrumpirá todas las actividades sociales e industriales, reduciendo la producción y aumentando los gastos tanto en industriales como en consumidores finales.

Teniendo esto en cuenta, si bien el petróleo sigue y seguirá siendo en el corto y mediano plazo el energético base, también es cierto que nuestro país y el mundo se encuentran inmersos en una transición energética que busca la incorporación de fuentes energéticas cada vez más limpias y que además ofrezcan energéticos de mayor calidad, donde la electricidad poseerá cada vez un lugar más destacado en estos rubros debido a que en su generación se da la mejor relación existente entre cuidado del medio ambiente y uso de la energía, ya que ésta puede generarse a través de muchas tecnologías y varias de ellas hacen uso de los energéticos menos contaminantes, a la vez que se mantiene la calidad del energético para los nuevos usos y necesidades de las personas, por lo que se asume que el sector eléctrico posee sustituibilidad, flexibilidad y enlaces entre distintos componentes. Dado lo anterior, la seguridad energética de un país debe mantener una seguridad al interior de cada industria energética, donde los objetivos de todas estas industrias se encuentren coordinados siguiendo una misma política energética que vaya en línea con la política de desarrollo del país, debido a que la energía es el “pilar y eje transversal de todas las actividades de desarrollo” (Contreras & Salgado (2021), pp. 74). Asimismo, “La industria de la energía eléctrica es una rama formadora de sistemas no solo en la energía, sino también en la economía en su conjunto. {Por lo que,} No solo la seguridad energética depende esencialmente de un grado de seguridad en la industria eléctrica sino también la seguridad económica e incluso la seguridad nacional.” (Nasibov, V. & Alizade, R. (2018), pp. 1).

---

<sup>16</sup> Otros usos cotidianos de la electricidad son: iluminación, refrigeración, calefacción, aire acondicionado, lavar y secar ropa, lavado de platos, calentamiento de agua, operación de equipos electrónicos. Donde “La energía eléctrica se convierte en energía mecánica (motores en refrigeradores, unidades de aire acondicionado, aspiradoras), energía térmica (calefacción, secadoras de ropa, calentamiento de agua) o radiación (iluminación, televisión, monitores de computadora). {Así} La demanda de electricidad se deriva de la demanda de los servicios subyacentes: espacio confortable, refrigeración, limpieza, entretenimiento, procesamiento de información. (Sweeney, J., (), )

## Capítulo 2. Energía y Electricidad

En este capítulo se responden dos preguntas: ¿Cómo funciona un sector eléctrico? y ¿Cómo se desarrolló el sector eléctrico mexicano en el periodo 1990-2016? Para responder estas dos preguntas se explica, en primer lugar, cómo están compuestos los sistemas eléctricos y cuáles son sus estructuras de funcionamiento a la vez que se analizan las particularidades de cada una. Con lo cual se avanza en la comprensión del desarrollo del sector eléctrico mexicano durante cada periodo estudiado, tomando en cuenta los cambios introducidos en la organización y en la política nacional instrumentada. Todo lo cual describe y analiza su estado actual y los factores que rigen su funcionamiento.

### Sector eléctrico

El sector eléctrico a grandes rasgos lleva a cabo cuatro funciones esenciales: 1) generación, 2) transmisión, 3) operación del sistema, y 4) distribución (venta al por mayor y a clientes menores).

1) La **generación** de electricidad, se realiza en la actualidad principalmente con plantas que usan vapor, proveniente de la quema de combustibles utilizados como insumos, tales como: gas natural, combustóleo, carbón, biomasa; los cuales se diferencian por precio en función del tipo de planta. La eficiencia en la generación varía según el combustible utilizado, por lo que las plantas de mayores costos serán utilizadas principalmente como plantas de último recurso o en picos de demanda, ya que también son las de mayor costo de producción. Actualmente la tecnología de mayor uso en muchos países es el ciclo combinado debido a que llegan a alcanzar tasas de eficiencia de hasta 65%, y si estas se utilizan con gas natural también generan menores emisiones de CO<sub>2</sub>.

2) La **transmisión**, es la actividad que se lleva a cabo en la infraestructura de redes de alambres sostenidos en los postes y torres, o bajo tierra y agua, con el fin de entregar la electricidad generada a los centros de distribución locales. Este sistema suele ser bastante frágil a las sobrecargas, las cuales podrían provocar apagones generalizados, por lo que los flujos en esta actividad son gestionados de forma continua y en tiempo real, de tal forma que no se generen atascos de tráfico.

3) La **operación del sistema**. Los problemas señalados arriba demandan un operador de sistema que coordine la operación de las plantas generadoras con el sistema de transmisión y la demanda de los distintos centros de distribución local. En la operación del sistema se coordina cuanta energía eléctrica se necesita generar respecto a los niveles de carga<sup>17</sup> actuales. Esta delicada gestión de operación sistemática es necesaria toda vez que, una vez producida la electricidad, ésta viaja a la velocidad de la luz y es consumida en milisegundos, y debido a que el consumidor no notifica cuánta energía consumirá en un momento dado, implica que sean las plantas de generación las que se deben controlar para satisfacer la carga.

4) La **distribución** se realiza en la otra infraestructura de alambres que lleva la electricidad a los hogares e industrias. Su función consiste en transmitir directamente la energía de los centros de distribución locales a los consumidores. Normalmente se asocia más a la operación del servicio al cliente, la medición, facturación y venta a los clientes minoristas. La transmisión y la distribución

---

<sup>17</sup> Suma del uso instantáneo de todos los clientes.

están interconectadas, pero se organizan independientemente. Mientras que la transmisión va por redes y los flujos se pueden revertir, la distribución es generalmente radial y sus flujos son unidireccionales. En pocas palabras, la distribución no recibe, almacena o envía energía a la red, simplemente hace llegar la electricidad desde los centros locales de distribución a los consumidores, lee los medidores y envía las facturas.

Según Hunt (2002) la generación de electricidad también tiene cuatro realidades técnicas: 1) La electricidad no se puede almacenar por lo que debe ser generada cuando se requiere, o consumida cuando se genera; 2) La electricidad toma el camino de menor resistencia, es decir, es fácil de pasar, por lo que la adición de una nueva línea puede cambiar los flujos a otra parte, de esta forma el secreto en el envío es organizar el flujo de entrada (generación) y configurar la red para que fluya a los clientes que la desean; 3) La transmisión de energía por medio de la red está sujeta a interacciones físicas complejas, por lo que una afectación en una parte de la red afecta a varios kilómetros de distancia; 4) La electricidad viaja a la velocidad de la luz por lo que el operador debe coordinar permanentemente a los generadores para apagar o encender sus plantas y aumentar o disminuir la producción de energía permitiendo de esta forma cumplir con los cambios de carga en segundos.

Estas cualidades diferencian a la energía eléctrica de las otras formas de energía —petróleo, carbón, gas natural, biomasa, entre otras—. Además, generalmente el generador no es de gran importancia para el consumidor, debido a que el producto es homogéneo y el consumidor solo busca que se le entregue la energía requerida no importando quien la suministre. Así mismo, un proveedor no definirá quien consumirá su energía ya que simplemente se ingresa en la red y esta fluye por el camino de menor resistencia. Otra característica de la electricidad es que no existen distintos tipos de electricidad, en la mayoría de los lugares no se puede elegir como en las gasolinas que tipo de octanaje se desea, debido a que la gestión de la red vuelve el producto homogéneo dado que la red es controlada a una frecuencia establecida con ciertos límites. Por lo que las alternativas del consumidor se basan en la diferenciación del precio, la eficiencia de facturación, el servicio al cliente y otros servicios de valor agregado que pueden aplicarse, más no son definidas por el tipo de electricidad.

Pasando a la estructura de la industria eléctrica, hasta el siglo pasado ésta se encontraba verticalmente integrada a nivel mundial, normalmente por un monopolio público o privado legalmente constituido que, en la mayoría de los casos, proporcionaba electricidad en una región específica. Las razones de la integración vertical eran los altos costos de transmisión, así como las características de funciones especiales, como el uso de un solo conjunto de cables para distribuir energía eléctrica por razones de espacio y aspecto visual, y por características específicas de la red como coordinar tanto la generación como la transmisión, las cuales generaban propiedades de monopolio natural. Esta compleja integración, hacía imposible separar la generación de la transmisión, dado que los generadores debían obedecer al operador del sistema y la forma más fácil de lograrlo era teniendo la generación y el operador del sistema en una misma empresa, fusión que beneficiaba la planeación a largo plazo.

Actualmente los monopolios aún son necesarios en áreas como la transmisión, operación del sistema y distribución, mientras que la generación se puede realizar a través de la competencia en el sector. Esto fue facilitado principalmente por el avance tecnológico, la tecnificación y la

informatización de los procesos que logran mantener en operación al sistema. Por lo que se ha ido abandonando la idea de economías de escala en el sector, y se ha reducido el tamaño de las centrales en mercados cada vez más grandes.

Estas nuevas estructuras del sector eléctrico derivadas de la liberalización del sector eléctrico se pueden clasificar en cuatro opciones estructurales (Hunt, 2002). Tres de ellas permiten la introducción de competencia, asumiendo que la transmisión, operación del sistema y distribución funcionan como un monopolio. De esta forma, el grado de monopolio que retienen, define las opciones de reestructuración del sector eléctrico.

- 1) Monopolio de integración vertical: En este modelo no existen generadores competitivos ya que la regulación no permite comprar la energía a otros generadores. Por lo que en este caso el Estado establece las funciones de la industria, su agrupación y regulación.
- 2) Comprador único: En este modelo el monopolio está facultado para comprar a los distintos generadores y estos están obligados a vender la electricidad generada únicamente al monopolio que brinda el servicio —generalmente de origen público— el que entregará la energía a los clientes finales. Los precios a los que venden los generadores se encuentran regulados y generalmente se usan subastas para seleccionar la oferta más viable económicamente. No obstante, el uso de subastas limita la eficiencia esperada de la competencia, toda vez que en la evaluación de las distintas opciones se determinan tipos de combustibles, tecnologías y ubicaciones específicas, lo que limita la eficiencia en la búsqueda de nuevas tecnologías y combustibles. Este tipo de modelo da una forma limitada de competencia, debido a que la estructura del mercado descansa sobre una base de contratos a largo plazo<sup>18</sup>, dejando a la competencia solamente construir plantas y operarlas. Sin embargo, este es el modelo seguido comúnmente como primer paso para la liberalización y para atraer la inversión privada.
- 3) Competencia mayorista —sector de generación completamente competitivo—: En este modelo no existe un precio de generación regulado, dado que existe una mayor cantidad de compradores, entre los que se encuentran los consumidores mayoristas y las empresas de comercialización. Esto significa que el monopolio de distribución sigue funcionando para los clientes pequeños, sin embargo, una gran cantidad de beneficios se forma en la generación de energía, evitando los costos y los problemas de prestación de servicio a los pequeños consumidores. Este modelo tiene la visión de crear mercados mayoristas plenamente competitivos, pero requiere de una regulación adecuada y clara, ya que quien opere el sistema no puede discriminar entre los distintos generadores para favorecer solo a unos y requiere un regulador capaz de establecer entre otras cosas, a partir de que cantidad el consumo eléctrico es considerado consumo de cliente mayorista y si el consumo es medido por predio específico o pueden sumarse distintos predios, esto último en el caso de industrias que se encuentran distribuidas en distintas regiones. Por lo que este modelo, al igual que el anterior, requiere de contratos, en algunos casos, bastante robustos y de preferencia de largo plazo, trayendo consigo las dificultades en la creación de contratos.

---

<sup>18</sup> Contratos por la vida útil de la planta dado que no existirán suficientes compradores, por lo que no sería rentable construir plantas si estas no cumplieran con su vida útil.

- 4) Competencia al por menor: Este modelo permite elegir a todos los clientes su proveedor de energía eléctrica, es decir, los generadores podrán vender a cualquier persona que les demande, aunque muchos de los clientes minoristas aun compran la energía a través de intermediarios. Aquí los reguladores deben confiar en los mercados competitivos, los cuales generan la mejor oferta para todos los clientes, haciendo innecesarias las protecciones normativas. Por ende, también se requiere de consumidores educados, dado que los pequeños clientes no gastan el tiempo y energía en el análisis y búsqueda de la mejor oferta, ya que están acostumbrados a una pequeña variedad de opciones. Aun así, el principal problema que enfrenta este modelo es que el mercado minorista comúnmente no resulta rentable, dado que la diferenciación del producto resulta complicada al entregarse un producto completamente homogéneo, aunado a la dificultad en el cobro por el uso de la energía en algunos países, donde muchas veces la población no está acostumbrada a pagar por ella, haciendo que los distribuidores minoristas asuman un gran riesgo<sup>19</sup>.

Las tres últimas opciones, que son las que incluyen competencia, requieren de una reestructuración de las empresas existentes, esta reordenación resulta más sencilla si la industria en general — verticalmente integrada— pertenece al gobierno, debido a que cuando pertenecen a privados se dificulta la redistribución de los valores de los accionistas de la empresa matriz.

Asimismo, las últimas dos opciones de reestructuración requieren desagregar las distintas funciones de la empresa (monopolio) de tal forma que no se generen conflictos de interés, dado que algunas empresas podrán ser generadoras y al mismo tiempo dueñas de la infraestructura de transmisión, es decir, estas empresas deben competir con otras empresas generadoras para hacer uso de su propia infraestructura de transmisión. Por lo que generalmente se busca evitar que resulten beneficiadas por subsidios cruzados, contraviniendo la búsqueda de competencia. Entre los mecanismos que pueden aplicarse se encuentran, la separación contable, la separación funcional, la separación funcional por medio de afiliados, o la separación corporativa. De esta forma un mercado realmente competitivo cumpliría con tener muchos vendedores y compradores sensibles al precio, con lo cual los precios en el mercado competitivo se acercarían a los costos marginales de generación, los cuales subirán cuando la oferta se encuentra limitada, sin que esto resulte en poder de mercado, sino más bien en una renta de escasez.

Resumiendo, la electricidad posee cuatro realidades técnicas: 1) no se puede almacenar y debe ser generada cuando se requiere, o consumida cuando se genera; 2) toma el camino de menor resistencia; 3) La transmisión de energía por medio de la red está sujeta a interacciones físicas complejas; 4) La electricidad viaja a la velocidad de la luz por lo que el operador debe coordinar permanentemente la oferta y demanda en segundos. Cualidades que la hacen muy distinta a las otras energías induciendo a los consumidores a distinguir entre proveedores a través de la diferenciación en el precio, la eficiencia de facturación, el servicio al cliente y otros servicios de valor agregado que pueden aplicarse, en lugar de la electricidad por sí misma ya que el producto es homogéneo. Por otro lado, el sector eléctrico lleva a cabo cuatro funciones esenciales: 1) generación, 2) transmisión, 3) operación del sistema, y 4) distribución. Funciones que

---

<sup>19</sup> Otra crítica es que no se puede decidir hacia dónde dirigir la electricidad generada, es decir, en la realidad un generador no podrá enviar específicamente su electricidad generada a un consumidor de otra región, ya que esta se ingresa en la red y la electricidad fluye por el camino de menor resistencia, siendo seguramente consumida en otro lugar y por otro consumidor, a menos que se creará una red específica del generador al consumidor, escenario no rentable y funcional.

anteriormente se realizaban a través de un sector verticalmente integrado que era operado por un monopolio debido a los altos costos de transmisión, el uso de un solo conjunto de cables para distribuir energía eléctrica por razones de espacio y aspecto visual, y por características específicas de la red como coordinar tanto la generación como la transmisión, entre otras. Hasta que a finales del siglo pasado comenzaron a surgir nuevas estructuras del sector eléctrico con el fin de generar competencia en su interior, requiriendo también una reestructuración de las empresas existentes a través de mecanismos como: separación contable, separación funcional, separación funcional por medio de afiliados o separación corporativa, para cumplir con el propósito de tener muchos vendedores y compradores que sean sensibles al precio y obtener la competencia deseada. Dentro de este contexto de particularidades de la electricidad y el funcionamiento del sector en los siguientes apartados se explica cómo se desarrolló el sector eléctrico mexicano.

## Desarrollo del Sector eléctrico mexicano previo a 1990

La electrificación en México comenzó a finales del siglo XIX, con una capacidad instalada menor a los 30MW, siendo esta capacidad en su totalidad de propiedad privada. La primer termoeléctrica en México se instaló en 1879 en la Ciudad de León, Guanajuato<sup>20</sup> y era utilizada para uso comercial y alumbrado público con una capacidad de 1.8 kW. Mientras que la primer minihidroeléctrica se fundó en la ciudad de Batopilas, Chihuahua en 1889<sup>21</sup> con una capacidad de 22.38 kW.

En 1902 nació en Canadá la empresa Mexican Light and Power Co.<sup>22</sup> asentándose un año después en México y creando en 1905 la primer Gran Hidroeléctrica establecida en la ciudad de Necaxa, Puebla con una capacidad de 31.5 MW. Esta empresa, en años posteriores, pasó a ser la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz (CMLyFM) para concluir, años después, como Luz y Fuerza del Centro.

A principios del siglo XX las compañías privadas de capital nacional y extranjero operaban localmente sin interconexión, y a finales de 1930's estas compañías se negaban a entregar energía eléctrica si no convenía a sus intereses, así mismo era casi imposible que la vendieran a precios más bajos, por lo que el gobierno en turno analizó que sólo una empresa estatal ofreciera dicho servicio.

Con este antecedente y en pleno periodo Cardenista el cual buscaba motivar el desarrollo industrial, se benefició una mayor instalación de centrales termoeléctricas en comparación de las hidroeléctricas, con el fin de crear núcleos de desarrollo que no tuvieran que estar atados a la proximidad de una hidroeléctrica. Este desarrollo también se vio ayudado por la reducción en los costos del transporte después de la década revolucionaria, no obstante, el desarrollo de termoeléctricas en distintas regiones requería de una mayor planeación e inversión con miras a la

---

<sup>20</sup>CFE. (2014) CFE y la electricidad en México. [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx)

<sup>21</sup> Idem.

<sup>22</sup> Garza, E. (1994). Historia de la industria eléctrica en México. México. Universidad Autónoma Metropolitana Colección CSH. Pág. 21

interconexión de los sistemas de transmisión, necesitando de un apoyo decidido y programado por parte del Estado.<sup>23</sup>

Por tal razón el 14 de agosto de 1937<sup>24</sup> se crea la Comisión Federal de Electricidad (CFE) con la misión de organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos sin propósito de lucro y con la finalidad de obtener un costo mínimo con el mayor rendimiento posible. Para este año aproximadamente 7 millones de personas<sup>25</sup> —que representaban cerca del 38% de la población— contaban con acceso a la electricidad. El sistema contaba con una capacidad aproximada de 629 MW<sup>26</sup> repartida en 3 empresas privadas principalmente. Al siguiente año de la creación de CFE se llevó a cabo el primer gran proyecto hidroeléctrico en Ixtapantongo, concluido en el año de 1944.

Para 1960<sup>27</sup>, Adolfo López Mateos decretó la nacionalización de la Industria Eléctrica con la modificación del artículo 27 constitucional, el cual establecía que corresponde exclusivamente a la nación generar, transmitir y distribuir energía eléctrica que tenga por objeto la prestación del servicio público, debido a lo cual, este mismo año el Estado adquiere el 90% de las acciones de CMLyFM y demás compañías extranjeras. Para esta fecha el sistema eléctrico ya contaba con 11 sistemas interconectados y una capacidad de 2,308 MW<sup>28</sup>. En esta misma década, en el año 1967 se construyó la primera línea de transmisión de 400 kV<sup>29</sup> conectada a la central de Infernillo, anteriormente solo se contaba con líneas de 115 y 161 kV.

En 1973<sup>30</sup> se instaló la primera central geotérmica que operaba con una capacidad de 73MW. Tres años después, en 1976, la ahora llamada Compañía de Luz y Fuerza quedó en liquidación con la promulgación de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica, y es en el año de 1994 cuando se descentralizó y se convirtió en Luz y Fuerza del Centro. En 1986 entró en operación Laguna Verde como primera y única central nucleoelectrica en el país.

## Desarrollo del Sector eléctrico mexicano en el periodo 1990-2016

A partir de la década de los 90's, además de enunciar en esta investigación los hechos más importantes en el sector eléctrico mexicano, se exponen los planteamientos energéticos de los distintos gobiernos en turno, plasmados en los Programas Sectoriales de Energía y publicados en el

---

<sup>23</sup> En este periodo hay que tener presente que, a nivel general como país, existía capacidad de producción del mercado interno en muchas industrias, las cuales fueron fortalecidas aún más por los hechos que ocurrían en el exterior como la primera y segunda guerra mundial, así como la gran depresión en los años 30's. Hechos que dificultaron e interrumpieron el abasto y comercio de las distintas manufacturas que provenían de los países desarrollados. Lo cual obligaba a los gobiernos en turno, en este caso al de Cárdenas, a hacer frente a la creciente demanda interna con el fortalecimiento de la infraestructura que permitiera un mayor crecimiento del mercado interno.

<sup>24</sup> CFE. (2014). Op cit.

<sup>25</sup> Idem.

<sup>26</sup> Idem.

<sup>27</sup> Garza, E. (1994). Historia de la industria eléctrica en México. México. Universidad Autónoma Metropolitana Colección CSH. Pág. 306

<sup>28</sup> CFE. (2014). Op cit.

<sup>29</sup> Garza, E. (1994). Historia de la industria eléctrica en México Tomo II. México. Universidad Autónoma Metropolitana Colección CSH. Pág. 110

<sup>30</sup> CFE, (1977), Evolución del Sector Eléctrico en México, 40º aniversario, talleres gráficos, México

Diario Oficial de la Federación (DOF). Para lo cual el periodo de 1990-2016 se subdivide en tres subperiodos: 1990-2000, 2001-2011, 2012-2016

El primer subperiodo — 1990–2000 — fue gobernado por presidentes del Partido Revolucionario Institucional (PRI)<sup>31</sup> quienes plantearon ejecutar un uso adecuado de los recursos escasos. Este uso adecuado era propuesto como el uso eficiente de la energía, fomentando una cultura de ahorro de la energía y haciendo más productivo y eficiente al sector energético nacional, requiriendo armonizar en el tiempo su desarrollo<sup>32</sup> para asegurar la disponibilidad de la energía necesaria para el desarrollo del país. Entre los objetivos se tenía 1) garantizar la suficiencia energética<sup>33</sup>; 2) fortalecer la vinculación del sector energético con la economía, la sociedad y la protección al ambiente; y, 3) consolidar un Sector Energético más moderno y mejor integrado<sup>34</sup>.

El sector eléctrico en estos años contaba con un margen de reserva en niveles adecuados, pero con una tendencia inercial hacia un precario equilibrio entre oferta y demanda en el corto plazo que aumentaba los riesgos de insuficiencia para los años posteriores. (SEMIP, 1990, pág. 5). Para prevenir este posible desequilibrio entre la oferta y demanda de electricidad, en los programas sectoriales de energía se plantearon esfuerzos para continuar la diversificación de fuentes de energía que venía realizándose desde antes de los años noventa, como el aumento en la participación de capacidad de generación eléctrica de centrales a base de fuentes alternas a los hidrocarburos, las que ascendieron del 38.4% en 1982 al 40.3% en 1988. Pese a este incremento en la capacidad instalada de fuentes alternas, la capacidad de generación a base de hidrocarburos aún era del 60%. Además, del 100% del consumo energético para generación, 60% provenía del combustible, al cual, si se le suma el consumo de Gas Natural, sobrepasaban el 80% del consumo energético para generación eléctrica. Es decir, aún con los cambios en la capacidad de generación antes de los años 90's, se tenía una generación eléctrica altamente concentrada en los hidrocarburos, al igual que en toda la economía mexicana, por lo cual se justifican las preocupaciones que se generaron después de las crisis del petróleo, de depender de esa forma de una matriz tan concentrada en el petróleo<sup>35</sup> ya que limitaría el crecimiento económico.

---

<sup>31</sup> Carlos Salinas de Gortari (1988-1994) y Ernesto Zedillo (1994-2000)

<sup>32</sup> Los horizontes de inversión en México normalmente se han apegado bastante a los distintos Planes de Desarrollo Nacional que tienen un plazo máximo de vigencia de 6 años, siendo estos periodos anticuados para los tiempos reales de inversión del sector energético.

<sup>33</sup> Entendida como la conciliación racional y equilibrada entre objetivos económicos por un lado y sociales y de carácter estratégico por el otro; la suficiencia deberá darse al menor costo posible y no proyectarse como sinónimo de autarquía. (SEMIP, 1990, pág. 8 (párrafo 4, numeral 3.1))

<sup>34</sup> En esta consolidación del sector energético se planteaba obtener una reducción en la demanda, la cual figuraría como un complemento del gasto de inversión, ya que permitiría —por decirlo en sus propias palabras— ampliar la capacidad del sector energético ante una previsible limitación de recursos financieros. En el caso de la integración del sector, se proponía avanzar en procesos de reestructuración organizacional de las entidades del sector y su descentralización geográfica, siendo esto un prelude a los siguientes intentos de Reforma Energética.

<sup>35</sup> Derivado de que la mayor dotación de recursos energéticos de nuestro país se ha fincado en los hidrocarburos desde el descubrimiento de Cantarell, ha subsistido desde entonces una dependencia excesiva en el petróleo. La cual no ha sido revertida desde entonces, ya que en el año 2016 la producción de energía primaria a nivel nacional estaba compuesta en un 85% por hidrocarburos, donde el petróleo por sí sólo representaba más del 70% de la oferta nacional hasta el año 2005, reduciéndose a cerca del 62% para el año 2016.



Cabe destacar el consumo energético para generación eléctrica, concentrado en 80% en los hidrocarburos, era un porcentaje no muy distinto del que se tenía en el año 2017 a pesar de reducir en mayor medida la capacidad de generación que hace uso de los hidrocarburos a un 35% para este año, ya que el consumo energético de hidrocarburos no se redujo en la misma proporción situándose en 69%, aún muy cerca de los niveles de finales de los años 80's. Vislumbrando desde entonces una limitante energética a futuro que se combinaba con el comportamiento de la producción de gas natural que apuntaba hacia un decrecimiento en el periodo 1989-1994. Por lo que una de las proposiciones que se tenían, además de la diversificación, era instrumentar un programa específico de exploración y explotación de gas natural con particular énfasis en el gas no asociado que permitiera mayores márgenes de maniobra, y racionalizar su consumo para dirigirlo a actividades de alta prioridad<sup>36</sup>. La estimación de la reducción en la oferta del Gas Natural fue acertada, ya que la producción se redujo en cerca del 5%<sup>37</sup> en 1994 con respecto al año 1988, debido a que la exploración y explotación de gas natural de forma no asociada hasta la fecha no ha sido llevada a la práctica.

Respecto a las áreas de transmisión, distribución, comercialización interna y almacenamiento de electricidad, todas ellas eran las de mayor rezago, tanto en términos de infraestructura como de organización, manteniendo sistemas costosos, obsoletos y saturados, que en algunos casos constituían cuellos de botella —muy parecidos a lo que se percibe actualmente—, por lo que se veía la necesidad de reforzar la red troncal del Sistema Interconectado Nacional de energía eléctrica como única opción para lograr el mejor aprovechamiento de la capacidad instalada, recordando que la tecnología para generación distribuida aún no era una opción, por lo que no podía ser discutida como solución. Sin embargo, se sopesaba el contrarrestar los crecientes costos de la electrificación rural a través de autorizar a los municipios como autogeneradores en casos seleccionados, a partir de fuentes locales convencionales como la microhidráulica, requiriendo desde aquellos años la revisión de la reglamentación para que eventualmente los gobiernos estatales y municipales, así como los particulares asumieran el costo de los programas de electrificación rural.<sup>38</sup>

Dentro de los hechos relevantes de este periodo están la modificación a la Ley del servicio público de Energía Eléctrica en 1992, que abrió la puerta a la participación privada en algunos aspectos de la generación tomando como base la estructura de funcionamiento de comprador único, llamada en dicha ley como “productor independiente”, es decir, se permitió la existencia de generadores privados que por reglamentación únicamente podrían vender su generación eléctrica a la CFE, a través de contratos de largo plazo. También en este periodo en el año de 1995 con la promulgación de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, se llevó a cabo la transformación de la CRE como regulador sectorial con autonomía técnica y financiera, obteniendo atribuciones para generar criterios y bases para determinar entre otros: los costos de conexión de los nuevos productores independientes a las líneas de transmisión y distribución de la CFE y la determinación de tarifas para

---

<sup>36</sup>Actividades donde su utilización como materia prima fuera en procesos cuya tecnología requería específicamente de su uso o bien donde existieran consideraciones ambientales.

<sup>37</sup> Datos obtenidos de la Producción de energía primaria en Pj del Sistema de Información Energética (SIE).

<sup>38</sup> Punto establecido hasta la reforma energética de 2013 pero que no ha tenido los resultados esperados, principalmente por los contratos de autoabastecimiento y las oportunidades para la incorporación anticipada de industrias a este esquema de autogeneración antes de entrar en vigor dicha reglamentación de 2013.

el respaldo de energía que requerían estos nuevos productores independientes<sup>39</sup>. Igualmente, en este año se llevó a cabo la promulgación de las reformas a las leyes relativas al presupuesto que permitieron la incorporación de “Proyectos de Impacto Diferido en el Registro del Gasto” (PIDIREGAS)<sup>40</sup>. Por lo que el 24 de marzo de 1997<sup>41</sup>, se formalizó el primer contrato con este esquema —PIDIREGAS—, el cual establecía la construcción de la central AES Mérida III S. de R.L. de C.V con un esquema a 28 años y seis meses, y entró en operación en el año de 1999.

Con lo anterior se puede deducir que la visión a futuro por parte del estado respecto al sector eléctrico durante este primer subperiodo 1990-2000 era incrementar la diversificación de fuentes a través de la transición energética ordenada que permitiera al país pasar sin ajustes bruscos de una época predominada por los hidrocarburos a otra con un desarrollo más equilibrado y tecnológicamente avanzado que considerará a la rama eléctrica como vértice de la diversificación. De esta forma, a medida que el tiempo avanzara, el sector eléctrico debía cobrar mayor importancia respecto al sector petrolero, proporcionando una mayor utilización de fuentes primarias para la generación eléctrica distintas a los hidrocarburos. Está de más mencionar que esta transición en la actualidad apenas comienza a desarrollarse en otros países, por lo cual sobra decir que esta proyección no se ha cumplido a la fecha. El repunte en la incorporación de energía limpia más importante después de la geotermia se ha dado después de la Reforma de 2013, la cual introdujo capacidad eólica y solar, y cuyo despliegue de capacidad fue frenado con el siguiente cambio de poder político inmediato a la reforma<sup>42</sup>.

Por otro lado, la visión de integrar todo el sector energético mexicano por medio de una mayor coordinación entre PEMEX y CFE en sus diversos campos, como en la utilización de infraestructura, la generación de electricidad, la normalización de equipos, la localización de centros de transformación de energía y el desarrollo de sistemas de transporte de combustibles, se ignoraron y contradijeron con el pasar de los años ya que a pesar de buscar la coordinación en el sector, también a partir de 1995 se tuvo como objetivo “Concentrar los esfuerzos de las empresas públicas del sector en las actividades estratégicas que les [eran] exclusivas” (SENER, 1996, p. 22) originando, al menos en el caso de PEMEX, que se dejará de lado la exploración y desarrollo de campos de Gas Natural independientes a los campos de petróleo, ya que estos últimos son los que entregaban —y aún en la actualidad— una mayor cantidad de recursos económicos, debido a que son proyectos de alto rendimiento que le permitían hacer frente a las altas tasas impositivas a las que era sujeto fiscalmente, afectando la oferta de Gas Natural hacia CFE<sup>43</sup>, conteniendo el desarrollo de centrales

---

<sup>39</sup> Para saber más sobre las nuevas atribuciones de la CRE véase: <https://www.cre.gob.mx/documento/1211.pdf> ; <https://www.cre.gob.mx/documento/libro-21aniversario.pdf>

<sup>40</sup> Véase: [https://www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/pef/2008/temas/tomos/18/r18\\_tzz\\_ivml.pdf](https://www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/pef/2008/temas/tomos/18/r18_tzz_ivml.pdf)

<sup>41</sup> CRE. (1997). Boletín de Prensa. <http://cre.gob.mx/documento/560.pdf>

<sup>42</sup> Si bien gran parte del freno a la entrada de las energías no convencionales ha sido causada por temas políticos, también es cierto que el sistema no posee la resiliencia suficiente para abrirse a la entrada desmesurada de estas tecnologías, ya que requiere un periodo de preparación tanto en restaurar y proveer mayor capacidad de respaldo como de transmisión y distribución, además de pensar en otras formas de integrarla a la capacidad de generación nacional sin requerir su conexión al sistema interconectado nacional en regiones alejadas de la red o donde exista potencial de generación.

<sup>43</sup> Un claro ejemplo de esto último fue la planta de generación eléctrica Mérida III de 500 MW en la península de Yucatán. El proyecto inició su construcción en 1997 después de un acuerdo para la construcción de un gasoducto de suministro de gas natural de 700 km de largo por parte de TransCanada. Sin embargo, Pemex se encontraba ambivalente sobre tener un gasoducto privado que abasteciera a la planta de generación con

que se alimentaran con este combustible. Lo anterior favoreció en años más recientes, como menciona Aguirre R. (2021)., la reestructuración de las entidades del sector energético<sup>44</sup> en aspectos más administrativos, reestructuración que les brindó una mayor independencia, más como entes únicos y no como parte de un sector unificado y con un mismo fin.

Para el subperiodo 2001-2011 los gobiernos emanados del Partido Acción Nacional (PAN) plantearon una estrategia de desarrollo del sector eléctrico de largo plazo que consideraba 1) acceso pleno a los insumos energéticos a precios competitivos para toda la población, 2) empresas públicas y privadas de calidad mundial, 3) un marco legal y regulatorio adecuado, 4) uso eficiente de la energía, 5) uso de fuentes alternas de energía, 6) investigación y desarrollo tecnológico, y 7) seguridad en el abasto energético. Para llevarla a cabo proponían la participación de los sectores social y privado, además de otorgar un mayor impulso a la presencia nacional en los mercados mundiales. Esta participación social y privada se originaría modificando el marco regulatorio vigente para permitir mercados competitivos que otorgaran las “condiciones que todo inversionista espera: certeza legal, reglas claras, transparentes y equitativas para los participantes, procesos administrativos justos y eficientes, respetando siempre el interés nacional y la protección del patrimonio nacional.” (SENER, 2002, p. 6), según el entender de los responsables de aquella época.

En este subperiodo, SENER comenzó a prestar mayor atención al gas natural, el cual a su vista “pasó de ser un combustible marginal a un insumo esencial de la economía moderna, principalmente por la combustión limpia y [la] eficiencia energética” (SENER, 2002, p. 21), cualidades que extendieron su uso en el sector eléctrico en plantas de ciclo combinado. El gas requerido por estas nuevas centrales planeadas y en desarrollo, se pensó en un inicio podría cubrirse con la extracción de reservas, las cuales podrían ser mayores a las del petróleo. Sin embargo, para lograr el total aprovechamiento de dichas reservas se requería de importantes inversiones en tecnología e infraestructura para su extracción, lo que precisaba superar otras dos grandes e importantes limitantes en el desarrollo de estos recursos energéticos, la limitada capacidad de inversión pública

---

gas de Pemex proveniente de las plantas procesadoras del estado de Tabasco. Del otro lado la CFE y los prestamistas del proyecto estaban inseguros de que la oferta estuviera controlada por completo por Pemex, obstaculizando la viabilidad financiera del proyecto y elevando sus costos financieros. Adicionalmente CFE buscaba obtener un trato preferencial para su propio suministro a través del oleoducto Mayakan, pacto que no logró concretar y que le costó utilizar un convenio para suministrar gas al proyecto Mérida III, este acuerdo implicaba que CFE asumiera todos los costos y riesgos del suministro de combustible. De esta forma al asumir CFE los riesgos del suministro energético los productores independientes no poseían ninguna motivación para asegurar su combustible y presionar para implementar una regulación más sólida sobre la comercialización de Pemex. Por lo que este primer acuerdo se volvió la norma para algunos proyectos de productores independientes de energía patrocinados por CFE convirtiéndose en una directiva de mandato federal para otorgar suministro a los productores independientes desde 2003. Véase Aguirre, R. (2021). *Natural Gas Policy Change in Mexico. The Political Economy of State Ownership and Regulation (1995-2018)*. “Disertación Doctoral”, Universidad de Ottawa, Ottawa, Canadá

<sup>44</sup> Existía un impulso hacia la reestructuración en un sentido que imitaba la liberalización en los Estados Unidos, liderado por un grupo de elite a favor del consenso de Washington, con la creencia de que la economía, refiriéndose especialmente a la disciplina fiscal y la reestructuración de la mayoría de los sectores que el Estado dominó en las décadas precedentes, podría remodelarse a través del comercio exterior. Aguirre, R. (2021). *Natural Gas Policy Change in Mexico. The Political Economy of State Ownership and Regulation (1995-2018)*. “Disertación Doctoral”, Universidad de Ottawa, Ottawa, Canadá

y la poca aceptación nacional a abrir el sector energético, especialmente el subsector de hidrocarburos a la participación privada, con su imprescindible reestructura de las leyes.

Con esta mayor atención en el uso de Gas Natural, los pronósticos de aquellos años anticipaban un alto incremento de la tasa media anual de crecimiento del mercado nacional del gas natural, impulsado por una demanda 2.3 veces superior a la del periodo de 1990-2000, generada principalmente por la expansión de la capacidad del sector eléctrico a base de la tecnología de ciclo combinado, las nuevas regulaciones ambientales que limitarían la emisión de contaminantes y una esperada inversión en la infraestructura de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural. Por lo que la generación eléctrica sustentada en gas natural pasaría de un 22.3% en el año 2000 a 61.1% al año 2010, pronósticos bastante acertados a lo que sucedió en la realidad, ya que la producción de electricidad con ciclos combinados creció a una tasa media anual de 12% en el periodo de 2002-2010, participando en este último año con poco más del 47% de la generación total de electricidad.

Estos pronósticos también anticipaban que, si no se modificaba el marco jurídico del sector energético, México pasaría a ser un importador neto de gas natural obteniendo dichos recursos principalmente de la integración regional con Estados Unidos de América (EUA). Esto sin considerar la demanda energética de PEMEX que se esperaba fuera cubierta con sus propios recursos, lo cual si no sucedía agravaría el problema de dependencia. Se observa claramente que eran conscientes de la dependencia en la que caería el país si su programa sectorial de energía no se llevaba a cabo completamente, ya que si bien el mantener la entrada constante de recursos aseguraba la demanda gracias a los planes de integración, la vulnerabilidad en la que el sistema y el país caerían por la dependencia en la oferta de gas natural estadounidense fue omitida, es decir, no se generó un plan para combatir dicha dependencia en caso de que sucediera, más allá de mencionar que debía prestarse mayor atención al almacenamiento del energético y de repetir en varias ocasiones que se protegía la soberanía energética del país.

En cuanto a la infraestructura del sector eléctrico, durante este subperiodo las hidroeléctricas aumentaron su capacidad en 9.5% aproximadamente, es decir poco menos de 1 GW, aun así, su uso se redujo hasta un 48% en su punto más bajo —año 2003— respecto al año 2000. El uso del carbón en la generación eléctrica creció al 88% en 2006 respecto al año 2000. Mientras que la diversificación de combustibles utilizados en el sistema eléctrico obtuvo el mayor nivel durante todo el periodo de estudio de esta investigación —1990-2016—, generada principalmente por pequeños aumentos en la participación del carbón, la energía nuclear, la geotermia, el bagazo de caña, el uso de coque de petróleo, el aumento considerable en el uso de gas natural y la reducción importante del combustóleo.

Como hechos relevantes de este subperiodo —2001-2011—, en 2002 se generó un intento de Reforma energética fallido que fue precedido por el del año 2008 donde SENER se enfocó principalmente en el sector petrolero, creando 4 nuevas leyes en materia energética: nueva Ley de Petróleos Mexicanos; Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética; Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía; y Ley de la Comisión Nacional de Hidrocarburos. Durante el inter de las reformas, específicamente entre el año 2007 y el año 2013 se llevó a cabo la repotenciación de Laguna Verde para obtener 20% más capacidad, y

en 2009 se decretó la extinción de Luz y Fuerza del Centro, por lo que a partir de ese año CFE se encarga de suministrar energía eléctrica a todo el país.

Como omisiones de la visión energética planteada durante este subperiodo se pueden plantear: 1) la falta de visión sobre ¿de dónde provendrían o cuáles serían las fuentes de obtención del energético sustituto —gas natural— para la diversificación de la matriz energética? Lo que acarrió problemas de dependencia y concentración del suministro; 2) el descartar un posible rejuvenecimiento de las plantas existentes o reconvertir las plantas existentes a otras tecnologías menos convencionales aprovechando la alta capacidad instalada y sus altos márgenes de reserva; y 3) la falta de una concepción clara de la planeación del sector energético, provocada por el poder de decisión otorgado sobre este tema a las principales empresas del sector CFE y PEMEX, ya que aunque en las leyes y reglamentaciones la responsabilidad de esta planeación recae en la SENER, este ente posiblemente por su baja capacidad técnica, ha rehuído tomar dicha responsabilidad y ha aceptado únicamente los requerimientos que estas dos empresas —CFE y PEMEX— le han solicitado.

Durante el último subperiodo —2013-2016—, la política energética de México sufrió un cambio respecto a como se venía realizando con anterioridad, ya que el funcionamiento del sector eléctrico mexicano fue reestructurado totalmente al pasar del control y dirección total del estado a funcionar a través de un mercado regulado por instituciones independientes. Esta nueva estructura siguió los pasos de las planeaciones anteriores que no se lograron concretar, por lo que la dirección marcada por los programas sectoriales anteriores pareciera no diferir más allá de la nueva estructura de funcionamiento del sector. Es así que el programa sectorial de este periodo —publicado antes de la reforma que reestructura al sector— dio continuidad a la búsqueda de los objetivos anteriores como: aumentar la soberanía y competitividad nacional, aumentar la producción de petróleo y gas natural, y otorgó a la seguridad energética un papel más relevante al ser catalogada como una prioridad.

Respecto al Gas Natural y su importancia en la generación de electricidad, este combustible ya había presentado problemas de desabasto, por lo que el gobierno en turno, a través de SENER, coordinó a PEMEX y CFE para realizar compras conjuntas de gas natural licuado, además de llevar a su máxima capacidad las terminales de regasificación de Manzanillo y Altamira durante los años 2013 y 2014, eliminando con estas acciones parte de las alertas críticas por saturación en el Sistema Nacional de Gasoductos (SNG) y otorgando la posibilidad de diversificar los puntos de acceso de importación, a pesar del incremento en costos, posibilidad desaprovechada al priorizar el consumo por gasoducto. Asimismo, se desarrollaron proyectos para ampliar la infraestructura de transporte de gas natural a regiones del país que no contaban con él, o que generaban redundancia en los sistemas de transporte existentes. Estos nuevos proyectos no se han completado a la fecha, pero se espera que aumenten la capacidad de importación de gas natural desde los Estados Unidos para combatir la saturación en el SNG<sup>45</sup>.

La forma en que estas limitantes y dependencias en el uso del Gas Natural se traspasan al sistema eléctrico nacional, se observan en que el 60% de la energía eléctrica producida durante este periodo se generó con Gas Natural, impidiendo en momentos llevar a cabo esta generación por

---

<sup>45</sup> Si bien en una visión sistémica, las terminales de regasificación contribuyen a otorgar mayor flexibilidad al SNG, aun es necesario desarrollar infraestructura de almacenamiento que contribuya a la administración de los desbalances entre la oferta y la demanda, por ejemplo, mediante el desarrollo de proyectos de almacenamiento subterráneo.

indisponibilidad del combustible. El alto consumo de Gas Natural en la generación eléctrica fue y es difícil de reducir debido a la continuidad del criterio del mínimo costo en la generación de electricidad, toda vez que los precios del Gas Natural han sido muchas veces más bajos respecto a los otros combustibles, además de contar con una mayor eficiencia y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Lo anterior ha reforzado la inversión y uso de la tecnología de ciclo combinado a base de Gas Natural, de tal forma que, del año 2000 al primer semestre de 2013, se registró una recomposición de la matriz tecnológica de generación, que incrementó la participación de tecnologías que utilizan gas natural (ciclo combinado y turbogás), las cuales pasaron de 12% a 50% de la capacidad. En este mismo sentido también se redujo la capacidad de generación con combustóleo del 47% al 21% en el mismo periodo.

Los beneficios del Gas natural que provocaron el aumento acelerado en su consumo también llevaron a la concentración en su uso, debido a su superioridad en la matriz energética del sector eléctrico que reduce la flexibilidad y resiliencia en el sistema eléctrico para responder a efectos externos como pueden ser la volatilidad de los precios o las interrupciones del suministro. Por esta razón, para minimizar estos efectos negativos en el sistema eléctrico, en el programa sectorial 2013-2018 se consideró incorporar dichos riesgos, asignándoles un valor económico, es decir, que estos riesgos se reflejaran en los precios del suministro eléctrico. Como en años anteriores esta línea de acción se quedó principalmente en el papel, si bien se asignaron cuotas y se añadieron servicios que otorgarían seguridad al suministro y asumirían los costos de las externalidades ambientales, su uso y funcionamiento en el mercado se vieron afectados por los vacíos legales en la reglamentación generada después de la reforma, la cual permitía que algunos generadores y comercializadores evitaran parte de estos nuevos servicios resguardándose en la reglamentación anterior, además de afectar a otros participantes del mercado a quienes no se les permitió obtener los mismos incentivos por su generación con fuentes limpias al ayudar a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector.

Por otro lado, durante este periodo se renovaron los esfuerzos por reducir las pérdidas en la transmisión y distribución de energía eléctrica, que a pesar de su reducción en los últimos años seguían altas respecto a otros países. No obstante, el mayor tamaño del sector eléctrico mexicano respecto al de otros países dificulta la comparación internacional, pues entre mayor distancia deba recorrer la electricidad, mayores serán las pérdidas en el transporte. En cuanto al abasto de electricidad que también depende del crecimiento de la red de transmisión, existieron situaciones operativas coyunturales que resultaron en congestionamientos de la red troncal, independientemente del nivel de margen de reserva de generación del SIN. Situaciones que hasta la fecha han limitado la posibilidad de compartir la capacidad de generación entre las diferentes regiones, generando en unas regiones, cuellos de botella y desaprovechamiento de los excedentes de generación. Por ello, uno de los retos más importantes a los que se enfrenta continuamente el sector eléctrico, es incrementar la eficiencia, la disponibilidad, la confiabilidad y la seguridad de los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

A la fecha, se han tomado diversas acciones a fin de solucionar estos problemas entre la que destacan: la autorización en este periodo a la CFE de construir diversos proyectos de subestaciones y líneas de transmisión y la aprobación de otros proyectos para su inclusión en el Presupuesto de Egresos de la Federación. Aun así, los requerimientos de construcción de nuevas líneas de transmisión y subestaciones para interconectar las principales regiones con recursos renovables seguirán existiendo por otros años más, mientras no se asuma e implemente una nueva política que

genere sistemas eléctricos locales, que se refuercen con la generación distribuida, lo cual ayudaría al desarrollo y progreso de las localidades.

Respecto a la generación eléctrica que se realiza por medio de tecnologías no convencionales, una de las características principales que limitó su uso durante este periodo y aún en la actualidad es la intermitencia. La solución económica planteada en los últimos años ha sido desarrollar instrumentos para compensar el consumo de electricidad con su generación irregular. Uno de estos instrumentos es el banco de energía diseñado por la CRE, que se empleó a partir del año 2010 y que ha funcionado como un mecanismo de intercambio y compensación de energía eléctrica, en el que los excedentes de generación no utilizados por el autoconsumo se envían a una cuenta virtual (banco) que los acumula y los regresa cuando el permisionario los solicite. Este “banco de energía” registra los movimientos en la cuenta virtual por un periodo móvil de 12 meses y ha sido incorporado a los contratos de interconexión entre los permisionarios de energías renovables y la CFE. Actualmente CFE ha discutido el uso de este banco de energía ya que a su consideración el costo del manejo ha recaído completamente en dicha institución, debido a que otorga gratuitamente el respaldo necesario de las renovables, lo que representa pérdidas en su funcionamiento como empresa productiva del estado, ya que los permisionarios generan y casi no consumen en los horarios en que las renovables funcionan con mayor eficiencia y dejan de producir cuando los permisionarios generan una mayor demanda que coincide cuando los costos de producción se elevan, es decir, en los horarios matutinos el consumo es moderado y los permisionarios entregan un excedente al banco de energía el cual reclaman en los horarios vespertinos que son los de mayor demanda en general y con mayores costos de producción.

Sobre los instrumentos más usados para el estímulo de las energías renovables, hasta este periodo destacaba el porteo tipo estampilla, que es una metodología de la CRE para simplificar y transparentar los cálculos del costo de transmisión eléctrica que cobra la CFE a los particulares que requieren enviar su generación eléctrica a otros centros de consumo. En este porteo, se estiman los costos por el uso de la infraestructura de transmisión en función del voltaje (alta, media o baja tensión) y se asignan esos costos por kilowatt transmitido en cada nivel de tensión; por ende, si el permisionario genera en alta tensión y consume en media tensión, se le suman los costos de transmisión para alta y para media tensión. Conviene aclarar que estos costos solo se aplican a los permisionarios que desean o requieren transmitir sus excedentes de energía eléctrica para autoconsumo en otras localidades, para lo cual deben firmar un convenio de transmisión con CFE, mismo que incluye esta metodología de cálculo. El porteo tipo estampilla, después de la reestructuración del funcionamiento del sector eléctrico, se adicionó con un nuevo incentivo para la generación limpia, los llamados CEL's (Certificados de Energía Limpia) los cuales se otorgan a las nuevas capacidades de generación que hacen uso de fuentes limpias, mientras que a los generadores que utilizan fuentes contaminantes se les obliga a comprar dichos CEL's por la cantidad de contaminantes que emitan, este intercambio de CEL's se realiza a través de un mercado, con lo que se espera motivar que la nueva generación se enfoque especialmente en fuentes limpias.

De esta forma se tiene que para este último subperiodo los hechos más relevantes fueron la promulgación de la Reforma energética en agosto de 2013, que trajo consigo una nueva estructura de funcionamiento del sector eléctrico mexicano y la creación del mercado eléctrico mayorista el 1 de enero de 2016, lo que coincide con la tercera estructura de la clasificación de Hunt (2002) — “Competencia Mayorista”—, por lo que se requería la separación vertical y horizontal de CFE que

se llevó a cabo el 1 de febrero de 2017. Si bien con esta reforma se avanzó en el grado de liberación del sector eléctrico, la presente reforma pretendía y allanaba el camino para en un futuro lograr la cuarta estructura “competencia al por menor”, en la cual todos los clientes puedan elegir a su proveedor, sin ser necesariamente usuarios calificados registrados ante la CRE.

## Reforma energética 2013 y composición actual del sector.

Con la síntesis anterior del desarrollo del sector eléctrico mexicano se observa que México fue de los últimos países en llevar a cabo las reformas estructurales del sector energético, las cuales como en muchos casos de América Latina fueron “... subordinadas al proceso de “modernización” de los sistemas económicos. Aunque pueda plantearse que la reestructuración, y específicamente la privatización de activos del Estado, tuvo algunos objetivos de carácter microeconómico, tales como el mejoramiento de la eficiencia y la expansión de la gama y la calidad de los servicios ofrecidos, las motivaciones fundamentales de ese proceso se situaron en el plano de los objetivos macroeconómicos”<sup>46</sup> (CEPAL (2003), pp. 78), así como en el plano de los objetivos ideológicos de las grandes empresas. Por lo que para el año 2013, cuando se aprueba la Reforma Energética en México, dichas privatizaciones a favor de un modelo económico enfocado en la globalización ya habían mostrado fallas más que evidentes en países como Argentina<sup>47</sup>, Reino Unido y Chile.

En México estas reformas estructurales supusieron cambios jurídicos que van desde la constitución hasta la formulación de nuevas leyes, reglamentos, normas y entidades. Los cambios de relevancia en la constitución plantearon la incorporación de competitividad<sup>48</sup> al interior del sector energético, principalmente en las industrias petroleras y eléctricas dejando excluida a la energía nuclear. Ejemplos de esto los encontramos en el capítulo económico art. 25 fracción V de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos<sup>49</sup>, en el que se menciona que “Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante la **competitividad**, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución. La **competitividad** se entenderá como el conjunto de condiciones necesarias para generar un mayor crecimiento económico, promoviendo la inversión y la generación de empleo”. Por lo que puede interpretarse que su definición de competitividad —

---

<sup>46</sup> Para entender más sobre los inicios del proceso de reestructuración del sector energético en América Latina consultar: CEPAL (2003). Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe (Primera Ed). Santiago de Chile: ONU.

<sup>47</sup> En el caso de Argentina algunas repercusiones macroeconómicas derivadas de las privatizaciones abarcaban efectos fiscales, en el sector externo, en la estructura de precios relativos, y en la inversión por mencionar algunos, los cuales desembocaron en una nueva conformación de los mercados y las estrategias de los conglomerados empresariales, así como la regulación resultante con sus limitaciones e insuficiencias. Tal como lo demuestran Daniel Azpiazu y Adolfo Vispo en: Azpiazu, D., Vispo, A. (1994). Algunas enseñanzas de las privatizaciones en Argentina. Revista de la CEPAL, 54, 129-147.

<sup>48</sup> Uso esta palabra ya que fue la usada en las Reformas realizadas a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. No obstante, en mi percepción pareciera que más que referirse a la competitividad generada por el aumento de la productividad, lo que se buscaba era sentar bases para la introducción de criterios mercantiles que facilitaran la introducción y funcionamiento del mercado al interior del sector energético mexicano.

<sup>49</sup> A partir de ahora en el presente trabajo se hará referencia a dicho documento únicamente con la palabra Constitución, el cual deberá entenderse como la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.



extrañamente expuesta en una ley primaria— buscaba sentar las bases para introducir criterios mercantiles en la reglamentación que permitieran la introducción y funcionamiento del mercado en el sector energético, más que referirse al crecimiento de la productividad en el sector energético y en la economía nacional en general. Por esta razón, también pareciera que el uso del término competitividad es utilizado en lugar del término competencia, el cual sería un término más adecuado, recordando que hasta esa fecha el sector se encontraba vertical y horizontalmente integrado. Pese a esto, la introducción del nuevo término da lugar a nuevas preocupaciones como que la competencia no se puede generar y mejorar únicamente con la elevación de la competitividad —entendida como un mejoramiento de la productividad— ya que también existen mecanismos de competencia espuria de corto plazo como la contención de los salarios y márgenes de ganancia, así como la revaluación de la moneda que si se extienden más de lo debido terminan afectando la calidad de vida de las personas, siendo este el efecto contrario de lo que se busca con la competitividad vista desde la teoría económica, por lo que en reglamentaciones secundarias se debe regular y aclarar.

La reforma también planteó modificar la naturaleza jurídica de las empresas, así como sus derechos y obligaciones sin que esto signifique cambiar la propiedad de los activos. Lo cual se espera derive en la apertura y participación de nuevas empresas, que generen las inversiones requeridas por el sector<sup>50</sup>. Esto puede observarse continuando con el art. 25 de la constitución en donde se menciona que lo anterior debe hacerse “... manteniendo siempre el Gobierno Federal la propiedad y el control sobre los organismos y empresas productivas del Estado que en su caso se establezcan”, lo que enfatizó el mantener la propiedad de los activos, pero dejó abierta la posibilidad de una modificación jurídica a las empresas para que dejaran de ser empresas estatales y se conformaran como empresas productivas del Estado, permitiéndoles así la búsqueda de rentabilidad<sup>51</sup> en un ámbito de competencia.

De esto se puede deducir que la reforma plantea que el desarrollo del sector y sus inversiones provendrán de la apertura del sector a la inversión privada y a la competencia, al permitir el desenvolvimiento del sector privado al mismo tiempo que se implementa una política nacional para el desarrollo industrial sustentable que incluya vertientes sectoriales y regionales. Lo cual puede observarse con las subastas<sup>52</sup> como la ronda 1, 2 y 3 donde un conjunto de empresas concursó para abastecer una porción de la energía requerida por el país.

Así mismo la ley de la Administración Pública Federal en su art. 33 establece que corresponde a la SENER “Establecer y conducir la política energética del país, así como supervisar su cumplimiento con prioridad en la seguridad y diversificación energéticas, el ahorro de energía y la protección del

---

<sup>50</sup> Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Art. 33 fracción XXVII. “Establecer los términos de estricta separación legal que se requieren para fomentar el acceso abierto y la operación eficiente del sector eléctrico y vigilar su cumplimiento”.

<sup>51</sup> Vigésimo transitorio de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. “Dentro del plazo previsto en el transitorio cuatro de este Decreto, el Congreso de la Unión realizará las adecuaciones al marco jurídico para regular a las empresas productivas del Estado, y establecerá al menos que: Su objeto sea la creación del valor económico e incrementar los ingresos de la Nación, con sentido de equidad y responsabilidad social y ambiental...”

<sup>52</sup> Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Art. 33 fracción XXIX. “Fijar la política de eficiencia energética de la industria eléctrica y la política para establecer nuevas centrales eléctricas tendientes a satisfacer las necesidades del país y a dicha política de eficiencia energética de la industria eléctrica, así como establecer los requerimientos obligatorios en materia de energías limpias para la generación eléctrica;”

medio ambiente” así como “... el aprovechamiento de los bienes y recursos naturales que se requieran para generar, transmitir, distribuir, comercializar y abastecer energía eléctrica...” por lo que “la planeación energética deberá atender los siguientes criterios: la soberanía y la seguridad energéticas, el mejoramiento de la productividad energética, la restitución de reservas de hidrocarburos, la diversificación de las fuentes de combustibles, la reducción progresiva de impactos ambientales de la producción y consumo de energía, la mayor participación de las energías renovables en el balance energético nacional, la satisfacción de las necesidades energéticas básicas de la población, el ahorro de energía y la mayor eficiencia de su producción y uso, el fortalecimiento de las empresas productivas del Estado del sector energético, y el apoyo a la investigación y el desarrollo tecnológico nacionales en materia energética”.

Varios de estos objetivos pueden llegar a ser contradictorios, por ejemplo: 1) si bien la soberanía y la seguridad energética no están peleadas, no pueden entenderse como una misma, debido a que obtener una mayor seguridad puede requerir de una mayor diversificación energética que no puede darse debido a los pocos recursos existentes al interior de un país, así mismo sino se planea adecuadamente el obtener una mayor diversificación se puede caer en la dependencia de energéticos provenientes de otros países, lo que puede agravarse hasta el punto de convertirse en vulnerabilidades; 2) este mismo caso se da entre la soberanía y la productividad energética o la restitución de reservas, en razón de que si bien estos objetivos no están en conflicto, si las empresas públicas mexicanas no tienen la capacidad o financiamiento para elevar la productividad o invertir para lograr una mayor restitución de reservas, la entrada o el apoyo de empresas privadas, nacionales o extranjeras, puede ser la solución para sortear los obstáculos que impiden el cumplimiento de dichos objetivos. Esto no significa que el mercado o las empresas representan la solución por sí mismas, sino que pueden ser el impulso para lograr estos objetivos. De igual modo si la entrada de estas empresas o su apoyo no se planea adecuadamente pueden afectar significativamente al objetivo de soberanía nacional afectando por ende otros objetivos, por lo que dependerá de la SENER evaluar cuales objetivos de la política energética tendrán mayor prioridad para su ejecución e implementación, considerando que aunque algunos parezcan contradictorios, pueden materializarse en periodos de tiempo disímiles evitando su contradicción en un mismo periodo y posibilitando el cumplimiento de todos o su gran mayoría.

Para el caso específico del sector eléctrico que es el que compete en esta investigación, la Reforma energética de 2013 plantea a través de una modificación al art. 27 párrafo 6º de la Constitución que “Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan las leyes” lo cual se complementa con la Ley de la Industria Eléctrica (LIE) la cual da continuidad al mencionar que dentro de las leyes “se determinará la forma en que los particulares participarán en las actividades de la industria eléctrica. Para esto la ley protegerá la actividad económica de los particulares y proveerá las condiciones para el desenvolvimiento del sector privado en beneficio del desarrollo económico nacional.” De esta forma, se permite la participación de empresas privadas en la generación de electricidad, así como la venta directa a industrias y público en general a través del mercado eléctrico mayorista y el suministro básico. Lo anterior comprende una modalidad de coordinación bastante mezclada según lo expuesto dos apartados antes, ya que por un lado permite una situación de comprador único con

una estructura integrada regulada y por el otro concede a las empresas productivas del estado buscar rentabilidad e insertarse al mercado que se está creando.

Igualmente, dentro de la LIE se plantea que el gobierno tendrá el poder y control sobre la industria eléctrica, por lo que es el único encargado a través de la SENER y la CFE de manejar la red eléctrica al interior del país. En virtud de lo anterior, la SENER estableció los términos para una estricta separación legal, fomentando el acceso abierto y la operación eficiente del sector eléctrico<sup>53</sup>, además de poder generar distintas modalidades para la contratación de particulares que lleven a cabo el financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria, con el fin de prestar de forma eficiente el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.

De esta forma para dar continuidad a los objetivos, se estableció que a más tardar dentro de los doce meses siguientes a la entrada en vigor de la ley reglamentaria de la industria eléctrica se debería emitir un Decreto por el que se crea el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) — actualmente ya creado— como organismo público descentralizado encargado: del control operativo del sistema eléctrico nacional, de operar el mercado eléctrico mayorista, dar acceso abierto y no indebidamente discriminatorio a la red nacional de transmisión y las redes generales de distribución, y las demás facultades que se determinaron en la ley y en su Decreto de creación. En dicho Decreto se estableció la organización, funcionamiento y facultades del citado Centro.

Para que el CENACE pudiera operar era necesario que la CFE transfiriera todos aquellos recursos que fueran necesarios para el cumplimiento de sus facultades. Asimismo, el CENACE dio a la CFE el apoyo necesario, hasta por doce meses posteriores a su creación, para que continuará operando sus redes del servicio público de transmisión y distribución en condiciones de continuidad, eficiencia y seguridad.

Por otro lado, en la LIE también quedo establecido que **el sector eléctrico está constituido por la industria eléctrica y la proveeduría de insumos primarios para dicha industria**. A la par se menciona que se buscará el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y se garantizará su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios con el uso de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes al fomentar la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica y la seguridad energética del país.

Hasta este punto es fácilmente observable que la política dictada por la Reforma Energética de 2013 no se enfoca en quien produce y quien lleva la energía a los consumidores. Por ahora el Estado debe retirarse y abrir la puerta al mercado que, a través de una mano invisible, se haga cargo del funcionamiento del sistema eléctrico mexicano. No obstante, los hechos de años pasados y de otros países muestran que los escenarios son distintos para cada país, debido a que cada época y cada lugar necesita de recursos diferentes y en cantidades disimiles, lo que hace necesaria una política clara que se apoye en una regulación adecuada a las particularidades del país, y proporcione los mecanismos de coordinación que guíen y unifiquen las distintas racionalidades de los actores, evadiendo de esta forma posibles fallas de mercado y logrando un funcionamiento adecuado del

---

<sup>53</sup> Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Art. 33 fracción XXVII. “Establecer los términos de estricta separación legal que se requieren para fomentar el acceso abierto y la operación eficiente del sector eléctrico y vigilar su cumplimiento”.

sector. Esto puede ser asistido por medio de una evaluación constante que haga uso de un índice de seguridad que entre otros usos permita monitorear el funcionamiento del sistema y así se habilite el desarrollo del país en los términos propuestos en la reforma.

Resumiendo, actualmente al sector eléctrico mexicano está regulado, en primera instancia, por la LIE, reglamentaria de los artículos: 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y que regula la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el servicio público de Transmisión y Distribución y demás actividades de la industria eléctrica. Dentro de este marco, la LIE<sup>54</sup> establece que el sector eléctrico está compuesto por la industria eléctrica y su proveeduría de insumos primarios. Mientras que la industria eléctrica comprende las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, así como la operación del Mercado Eléctrico Mayorista. Por lo que las actividades de la industria eléctrica son de interés público y su planeación debe buscar el desarrollo sustentable de la industria garantizando su operación continua, eficiente y segura con beneficio para los usuarios, cumpliendo las obligaciones de servicio público, servicio universal, de energías limpias y reducción de emisiones<sup>55</sup>. Solamente la generación y comercialización de energía eléctrica son servicios que se prestan en un régimen de libre competencia.

Asimismo, el sector eléctrico es regido por la SENER y la Comisión Reguladora de Energía (CRE) quienes serán las encargadas de regular y vigilar a la industria eléctrica buscando garantizar: eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del Sistema Eléctrico Nacional; impulsar la inversión y competencia en donde sea factible; propiciar su expansión respetando los derechos humanos de las comunidades y pueblos; fomentar la diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica, así como la seguridad energética nacional; y proteger los intereses de los usuarios finales, entre otros. Mientras que su control operativo quedo a cargo del CENACE.

Respecto a la reglamentación de la nueva estructura de la industria eléctrica que puede resumirse en el Gráfico 1.1. La LIE tiene capítulos específicos encargados de regular: la generación, transmisión y distribución, y comercialización, incluyendo a los usuarios calificados, pequeños sistemas eléctricos y generación distribuida. En la comercialización, donde se encuentra el mercado mayorista, los participantes son: los generadores, suministradores, comercializadores, y usuarios calificados. Las transacciones se realizan obteniendo contratos de cobertura eléctrica y pueden ser: de energía eléctrica, servicios conexos, potencia, derechos financieros de transmisión, y certificados de energías limpias.

El generador es titular de uno o varios permisos para producir electricidad en Centrales Eléctricas de 0.5 MW o más, o bien titular de un contrato de “Participante en el Mercado” que tiene por objeto representar a dichas centrales en el “Mercado Eléctrico Mayorista”. Ambos casos requieren de un

---

<sup>54</sup> Ley de la Industria Eléctrica

<sup>55</sup> Este punto está reglamentado en la Ley de Transición Energética que tiene por objeto el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos, por lo que preverá el incremento gradual en la participación de las Energías Limpias en la Industria Eléctrica con el objetivo de cumplir con las metas establecidas en materia de generación de energías limpias y de reducción de emisiones, así como establecer mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes.

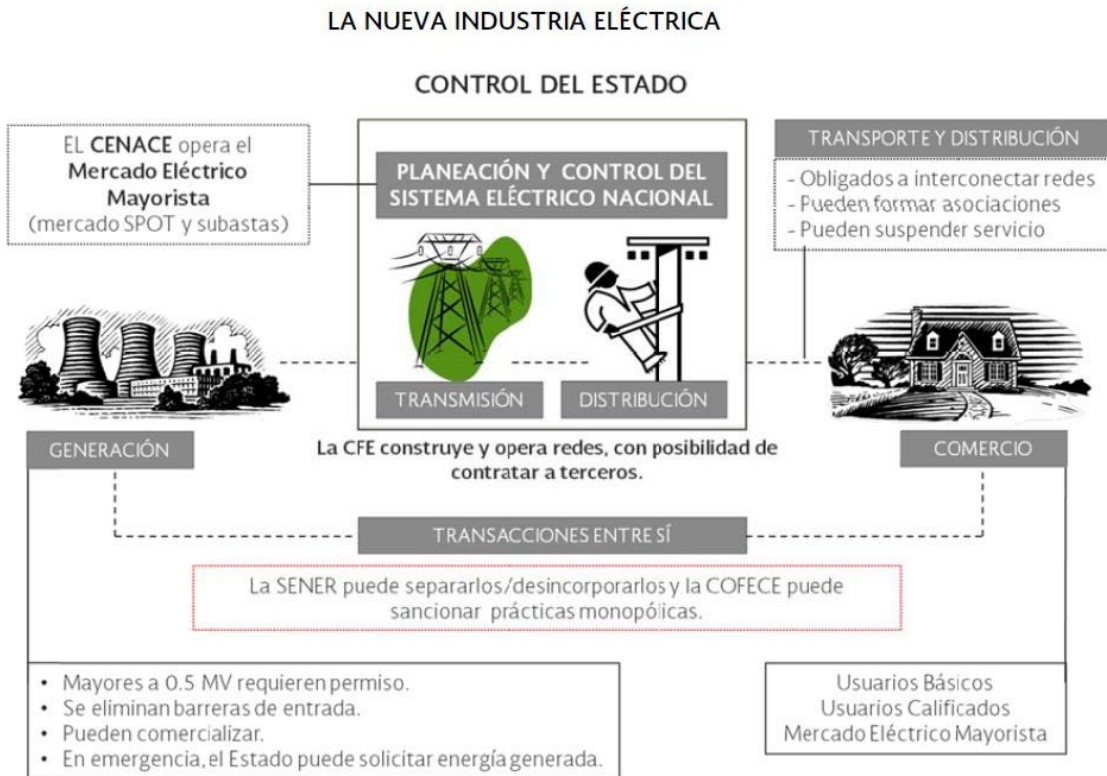
permiso de la CRE como generador y por interconexión. Salvo para un generador exento quien no requiere de permiso expreso de la CRE dado que no participa en el mercado eléctrico mayorista.

Los suministradores de electricidad se catalogan en tres categorías: 1) Básico, suministro eléctrico que se provee bajo regulación tarifaria a cualquier persona que lo solicite que no sea usuario calificado; 2) Calificado, suministro eléctrico que se provee en un régimen de competencia a los usuarios calificados; 3) Último Recurso, suministro eléctrico que se provee bajo precios máximos a los usuarios calificados, por tiempo limitado, con la finalidad de mantener la continuidad del servicio cuando el suministrador de servicios calificados deje de prestar suministro eléctrico.

Un comercializador es el encargado de prestar el suministro eléctrico a los Usuarios Finales, adquiere los servicios de transmisión y distribución con base en las tarifas reguladas, adquiere y enajena los servicios conexos, y realiza transacciones del mercado eléctrico por medio de contratos de cobertura eléctrica que permiten operaciones de compra-venta relativas a la energía eléctrica o servicios conexos.

Los usuarios al igual que los suministradores se dividen en tres categorías: Usuario de suministro básico, usuario final que adquiere el suministro básico; Calificado, usuario final que cuenta con registro ante la CRE para adquirir el suministro eléctrico como participante en el mercado o mediante un suministrador de servicio calificado, puede a su vez comercializar la energía; Final, persona física o moral que adquiere para su propio consumo o para el consumo dentro de sus instalaciones, el suministro eléctrico en sus centros de carga como participante del mercado o a través de un suministrador.

Gráfico 2.1 Industria Eléctrica en México



Fuente: SENER. (2014b). Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028. Pp.27

En esta nueva reglamentación de la industria eléctrica en México, la Ley de la Comisión Federal de Electricidad define a CFE como empresa productiva del Estado con régimen especial, con el objetivo de prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica y desarrollar actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales en términos de su objeto, generando valor económico y rentabilidad para el Estado mexicano como su propietario, así como actuar de manera transparente, honesta, eficiente, con sentido de equidad, y responsabilidad social y ambiental, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad para minimizar los costos de la industria eléctrica en beneficio de la población y contribuir con ello al desarrollo nacional. En la ejecución de su mandato, la Comisión Federal de Electricidad debe garantizar el acceso abierto, la operación eficiente del sector eléctrico y la competencia. Para realizar estos mandatos, se establece que cuenta con autonomía presupuestal, autonomía técnica, operativa y de gestión, personalidad jurídica y patrimonio propio. Estando integrada por subsidiarias —las cuales cuentan con personalidad jurídica y patrimonio propio y su participación en los mercados es de manera independiente—, y filiales —que son aquellas en las que participe, directa o indirectamente, en más del cincuenta por ciento de su capital social, con independencia de que se constituyan conforme a la legislación mexicana o la extranjera y siempre que no se ubiquen en los supuestos referidos para constituirse como empresa productiva subsidiaria. Ni las subsidiarias ni las filiales serán consideradas entidades paraestatales, por lo que tendrán naturaleza jurídica y se organizarán conforme al derecho privado del lugar de su constitución o creación.

## Organización del sistema eléctrico mexicano

El Sistema Eléctrico Nacional (SEN) actualmente está integrado por diez regiones, comprendidas por el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y los sistemas aislados de Baja California, Baja California Sur y Mulegé (Gráfico 1.2). La operación de las diez regiones se encuentra a cargo de ocho centros de control.

Gráfico 2.2 Sistema Eléctrico Nacional Mexicano



Fuente: SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031.

A 2016 el 98.5% de la población ya contaba con servicio de energía eléctrica, quienes se encontraban registrados ante CFE como 40.8 millones de clientes (Cuadro 1.1), donde la región oriental es quien reporta una mayor cantidad de usuarios seguida por las regiones occidental y central. Por entidades federativas el Estado de México y la Ciudad de México concentran casi el 20%<sup>56</sup> de los usuarios totales de energía eléctrica.

---

<sup>56</sup> SENER. (2017). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031

Cuadro 2.1 Usuarios del Sistema Eléctrico Nacional 2006-2016

**USUARIOS DE ELECTRICIDAD POR ÁREA OPERATIVA**  
(Millones de usuarios)

| Región               | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Tmca  |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Central              | 7.1  | 7.1  | 7.2  | 7.3  | 7.3  | 7.6  | 7.9  | 8.1  | 8.4  | 8.6  | 9.1  | 2.4%  |
| Oriental             | 7.6  | 7.9  | 8.3  | 8.6  | 8.8  | 9.1  | 9.3  | 9.6  | 9.9  | 10.2 | 10.4 | 3.3%  |
| Occidental           | 8.5  | 8.9  | 9.1  | 9.4  | 9.7  | 8.7  | 8.9  | 9.2  | 9.4  | 9.7  | 9.9  | 1.7%  |
| Noroeste             | 3.0  | 3.2  | 3.3  | 3.4  | 3.5  | 3.6  | 3.7  | 3.7  | 3.8  | 3.9  | 2.0  | -3.5% |
| Norte                | 1.5  | 1.6  | 1.7  | 1.7  | 1.8  | 1.8  | 1.8  | 1.9  | 1.9  | 2.0  | 2.1  | 3.2%  |
| Noreste              | 1.8  | 1.8  | 1.9  | 1.9  | 1.9  | 1.9  | 1.9  | 2.0  | 2.0  | 2.1  | 4.0  | 8.1%  |
| Peninsular           | 1.1  | 1.2  | 1.3  | 1.3  | 1.4  | 1.4  | 1.5  | 1.5  | 1.6  | 1.7  | 1.7  | 4.3%  |
| Baja California      | 1.1  | 1.1  | 1.1  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 1.2  | 1.3  | 1.3  | 1.3  | 1.4  | 2.8%  |
| Baja California Sur* | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.2  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 0.3  | 4.0%  |
| SIN                  | 30.6 | 31.7 | 32.7 | 33.6 | 34.3 | 34.0 | 35.0 | 36.0 | 37.0 | 38.1 | 39.1 | 2.5%  |
| SEN                  | 31.9 | 33.0 | 34.1 | 35.0 | 35.7 | 35.5 | 36.5 | 37.5 | 38.5 | 39.7 | 40.8 | 2.6%  |

\* Sistema La Paz y Mulegé.

Fuente: SENER. (2017a). Prospectiva sector eléctrico 2017-2031

### Precios

En México existen 3 tipos de tarifas de energía eléctrica: 1) Específica, que se subdivide en servicio público, agrícola, temporal y acuícola; 2) General, determinada por el nivel de tensión y subdividida en baja, media y alta tensión; y 3) Por Tipo de Servicio, subdividido en respaldo e interrumpible. Según la CFE, la tarifa básica actual traspasa el costo promedio de generación a la mayoría de clientes, mientras se mantienen tarifas subvencionadas para residenciales de bajo consumo y agrícolas.

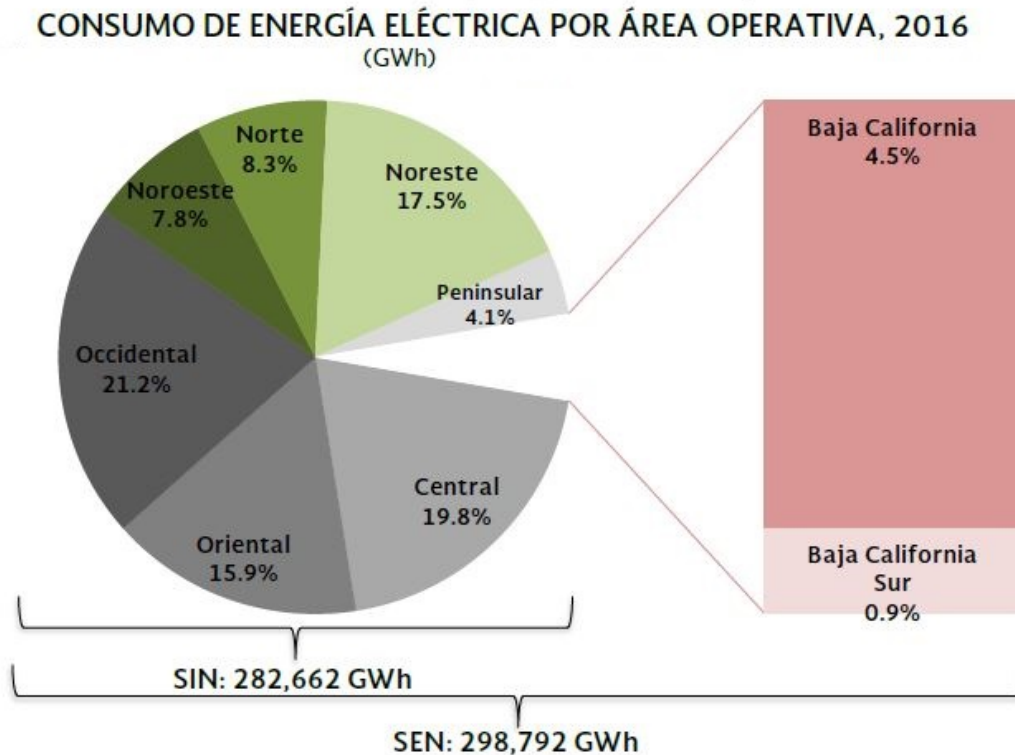
### Consumo

El consumo bruto<sup>57</sup> a nivel nacional aumentó a una tasa media anual de 2.6% del 2006 al 2016 pasando de 232,658 GWh a 298,791.7 GWh, siendo la Región Occidental la que concentra la mayor proporción del consumo eléctrico en el país, seguida de las regiones Central y Noreste (Gráfico 1.3).

<sup>57</sup> Suma de ventas de energía, autoabastecimiento remoto, importación, pérdidas, y usos propios.



Gráfico 2.3 Consumo de energía eléctrica (GWh) 2016



Fuente: SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031

#### Perdidas de energía

La CFE es la responsable de llevar a cabo las medidas necesarias para la reducción de las pérdidas Técnicas y No Técnicas para lo cual necesita realizar acciones para incrementar la confiabilidad de las redes existentes y construir nuevas troncales, recalibrar los circuitos, reemplazar los transformadores obsoletos, regularizar los servicios y sustituir medidores. En septiembre de 2016 CFE reportó que las pérdidas acumuladas (Técnicas y No Técnicas) se habían reducido en 0.61% respecto a diciembre de 2015<sup>58</sup>.

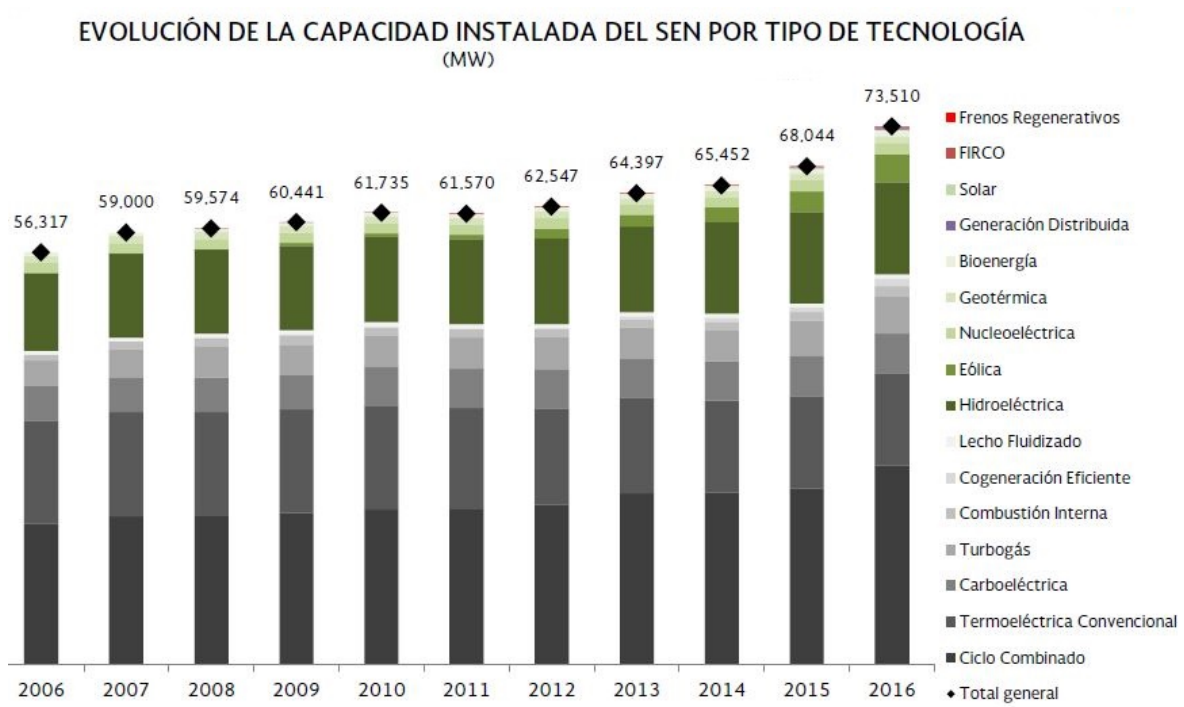
#### Capacidad instalada

Para el cierre de 2016 SENER reportó una capacidad instalada de 73,510 MW, de los cuales las energías limpias representaron el 28.8% de la capacidad total instalada, es decir, 21,179 MW<sup>59</sup>. Mientras que el ciclo combinado representó el 37.10% de la capacidad total al poseer 27,274 MW de capacidad instalada (Gráfico 1.4).

<sup>58</sup> SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031, pp. 42. Estos índices hablan de los sistemas de Distribución e incluyen alta tensión (que a partir de noviembre se transfieren a Transmisión). Las pérdidas de Transmisión, que son solo técnicas, representan 1.65% del sistema.

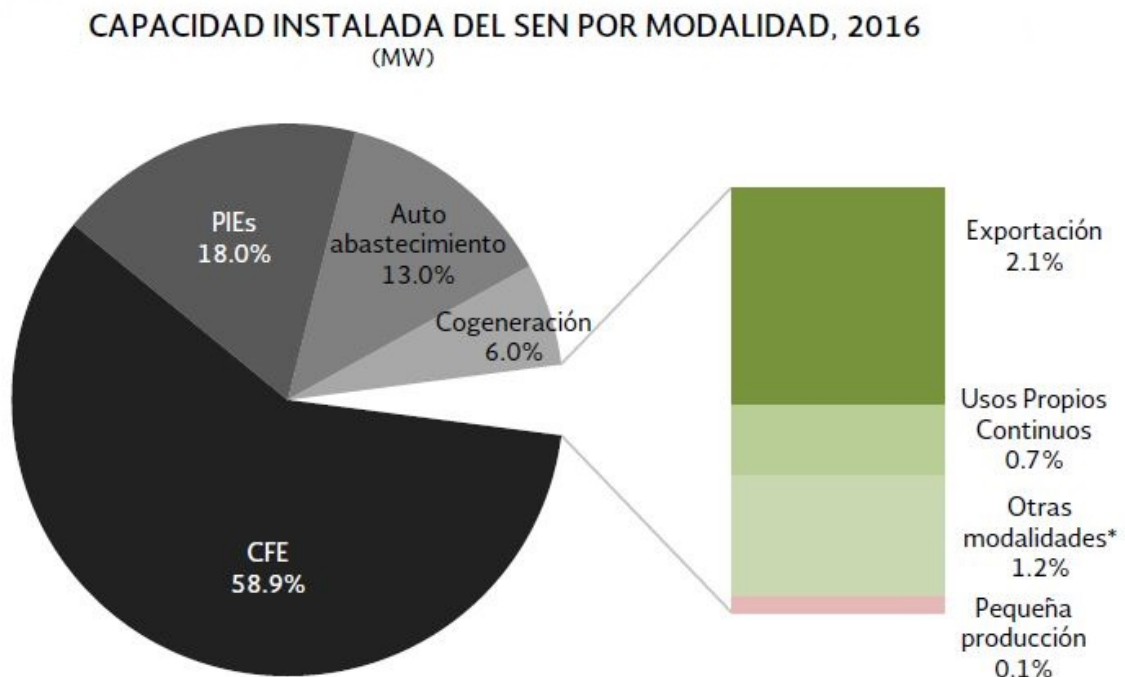
<sup>59</sup> SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031.

Gráfico 2.4 Capacidad Instalada por tecnología (MW) 2006-2016



Fuente: Fuente: SENER. (2017a). Prospectiva sector eléctrico 2017-2031

Gráfico 2.5 Capacidad instalada por modalidad (MW) 2016



Fuente: Fuente: SENER. (2017a). Prospectiva sector eléctrico 2017-2031

La distribución regional de la capacidad instalada a 2016 es la siguiente: el noroeste concentraba el 14.1%<sup>60</sup> del total de la capacidad —con Baja California que aportaba el 42.9% de esa capacidad con tecnologías convencionales principalmente—, el Noreste poseía el 25.8% de la capacidad total al contar con 18,942.3 MW —en su mayoría ciclo combinado—, el Centro Occidente contaba con 12,728.8 MW representando el 17.3% de la capacidad instalada total, el Centro poseía la menor participación con solo el 8.9% de la capacidad total instalada, mientras que el Sur-Sureste concentró la mayor capacidad instalada con 33.5% del total —predominando las centrales hidroeléctricas y teniendo el mayor crecimiento de energía eólica—. Al comparar la concentración de la capacidad con la proporción de energía generada, sobre sale que no corresponden en tamaño, ya que la región del Noreste aporta una mayor cantidad de energía al entregar al sistema el 31.2%<sup>61</sup> del total en contraste con el 25.8% de capacidad que posee, mientras que el Sur-Sureste —la segunda región que más aporta— genera 94,941.8 GWh que representa el 29.73% del total con una capacidad mayor al noreste de 33.5% del total, es decir, el Noreste con una capacidad menor entregó una mayor cantidad de energía y el Sur-Sureste que poseía la mayor capacidad de generación entregó menos energía que el Noreste.

Así la generación total al año 2016 fue de 319,363.5 GWh<sup>62</sup> y las energías limpias participaron con el 20.3%, mientras que el ciclo combinado aportó el 50.2%. En cuanto a la modalidad de generación, la CFE aportó la mayor cantidad de energía al proveer el 54.7%, seguida por los PIEs con 27.8%. Se espera que a futuro esta proporción se revierta, incrementando la energía proveída por los PIEs y reduciendo la energía entregada por CFE.

En transmisión, la capacidad instalada al año 2016 era de 74,208 MW, dividida en 53 regiones de transmisión con una extensión de 104,133 km de los cuales 98.3% pertenecen a CFE y el restante 1.7% aun pertenecía a la extinta LyFC. Mientras que en distribución se contaba con una capacidad de 53,528 MVA con una longitud de 779,119 km de los cuales el 93.7% pertenecen a Distribución CFE y el restante a otras subsidiarias de CFE.

A la fecha existen 11 interconexiones con EUA, Guatemala y Belice, de las cuales cinco son utilizadas únicamente como uso de emergencia y las restantes seis mantienen un flujo constante. En 2016, estas interconexiones registraron déficit comercial de energía eléctrica como en 2012, si bien en grado menor que aquella vez, ya que se exportaron 1,967.6 GWh e importaron 2,232.7 GWh, quedando como saldo neto -265.2 GWh<sup>63</sup>. Esta situación devino de fallas en el sistema eléctrico que impidió satisfacer la demanda total nacional y evidencia que en ciertos momentos no se puede responder a la demanda o que resulta más rentable para la CFE traer energía desde estos puntos de interconexión — principalmente en los sistemas de Baja California—. No obstante, la cantidad de energía importada es relativamente pequeña respecto al consumo total.

Para reducir estas afectaciones generadas por una demanda mayor a la oferta, el margen de reserva de planeación eficiente publicado el 28 de febrero de 2017<sup>64</sup> establece que el SIN debe contar con

---

<sup>60</sup> Idem.

<sup>61</sup> Idem.

<sup>62</sup> Idem.

<sup>63</sup> SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031. Pág. 64

<sup>64</sup> SENER (2017b). AVISO POR EL QUE SE DA A CONOCER LA POLÍTICA DE CONFIABILIDAD, ESTABLECIDA POR LA SECRETARÍA DE ENERGÍA. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017)

una capacidad instalada mayor al 21.3% de la demanda máxima, mientras que para Baja California y Baja California Sur estos porcentajes deben ser 20.9% y 35% respectivamente<sup>65</sup>. Por lo que al año 2017 se cumplía con creces estos requerimientos, ya que el SIN poseía un 34%, Baja California un 31% y Baja California Sur contaba con 56%<sup>66</sup> de capacidad excedentaria, lo que se traduce en ineficiencia del sistema, dado que se contaba con capacidad instalada que no se usa y que tampoco es requerida para mantener la integridad del sistema, por lo que las inversiones efectuadas en ellas son poco rentables. Sin embargo, debido a las constantes fallas existentes en el sistema y los recortes en el uso del gas natural —dado que tiene preferencia en su uso el sector privado— ésta capacidad excedente requerida para una planeación eficiente considerada en este trabajo como “demasiás” apenas permite mantener la eficiencia del sistema, mostrando falta coordinación en el sector y en las industrias, ya que mientras unas invierten en cantidades no necesarias, tampoco se promueve ni se otorga el combustible suficiente para el funcionamiento del sistema eléctrico, toda vez que se privilegian otros sectores industriales.

Según SENER, en los últimos diez años la demanda nacional de gas natural ha crecido a una tasa media anual de 3%<sup>67</sup>, siendo en el año 2016 de 7,618.7 MMpcd, de los cuales el 50.9% fue demandado por el sector eléctrico, es decir, se utilizaron 3,878.5 MMpcd para producir energía eléctrica derivado de que es el combustible fósil más utilizado dentro de la matriz energética del sector eléctrico, ya que es empleado principalmente en termoeléctricas con tecnología de ciclo combinado, que en 2016 concentraron el 37.1% de la capacidad instalada total, y con la cual se produjo el 50.2% de la energía total, equivalente a 160,378 GWh.

Razón por la cual este combustible tiene una relevante importancia en la matriz energética del sector eléctrico y del cual se reportan alertas críticas desde antes de 2008<sup>68</sup>, las cuales pudieron generar cortes en el suministro eléctrico si no fuera por los ya mencionados altos márgenes de reserva existentes hasta la fecha. Por lo anterior y coincidiendo con Melgar (2013), parecería que la seguridad energética en el sector eléctrico en México requiere de una planeación estratégica de largo alcance que incluya temas relacionados con los combustibles, tecnologías para la generación, márgenes de reserva, extensión, y capacidad de las líneas de transmisión, compatibilidad para la interconexión, y el mallado de la distribución. Temas abordados en los siguientes apartados. Ya que como se pudo observar hasta ahora, se ha garantizado el suministro continuo dado el alto nivel de capacidad con el que se cuenta pero que no fue programado ni visualizado para responder a las alertas críticas por el bajo suministro de gas natural.

Aunado a que el país como sus demás pares basa la transición energética en la generación de electricidad, y usa como combustible base al gas natural por sus notables características, lo que

---

<sup>65</sup> Estas diferencias se dan debido a que el Margen de Reserva Operativo (MRO) se calcula como la suma de la Reserva Rodante y la Reserva no Rodante. Donde la reserva rodante se refiere a la capacidad en MW de centrales eléctricas o recursos de demanda controlable sincronizados a la red eléctrica que pueden incrementar su generación o reducir su consumo dentro de un lapso establecido, generalmente de 10 minutos. Asimismo, la reserva no rodante es la capacidad en MW de centrales eléctricas o recursos de demanda controlable desconectados de la red eléctrica, pero que pueden sincronizarse y entregar su potencia disponible en un lapso establecido. Por su parte el CENACE debe garantizar que la reserva operativa este compuesta por lo menos del 50% de la reserva rodante.

<sup>66</sup> Según datos de SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031. Pág. 90

<sup>67</sup> SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031. Pág. 97-98

<sup>68</sup> Melgar, Lourdes. (2013). Transitando hacia la sostenibilidad: la transformación necesaria de la industria eléctrica en México. En Chanoa, Alejandro (coord.) Confrontando modelos de seguridad energética. México

hace evidente que la planeación del sistema eléctrico mantendrá su uso constante y en crecimiento por unos años más mientras las energías limpias o renovables lo relevan en la matriz de generación eléctrica. De allí la importancia de programar el desarrollo de la producción de gas para el largo plazo y de acuerdo con el crecimiento probable de la economía.

## Contexto regional de América del Norte

Con el fin de mostrar los aspectos relevantes de la geopolítica se incluye este pequeño apartado histórico-regional que expone el panorama de la situación y política energética llevada a cabo por el país durante el periodo seleccionado.

Con el inicio de las reformas estructurales de los años 80's a favor de la liberalización de la economía, México decidió garantizar la seguridad energética nacional en el marco de la seguridad energética de América del Norte, renunciando a la autosuficiencia y buscando una integración cada vez mayor con sus vecinos del norte. Comenzando a implantarla en los años 90's con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y las reformas energéticas posteriores de 1995, 2008 y 2013, esta última, la de mayor impacto y la que adoptó modelos organizativos y regulatorios similares a los de Estados Unidos.

Esta integración benefició a México en el momento en que EUA adoptó la política de mejorar su autosuficiencia, generando inversiones importantes en la extracción de gas natural por medios no convencionales, lo que llevó a EUA a ser un país exportador de Gas Natural, que dada la gran oferta existente, redujo considerablemente los precios del energético en el mercado internacional. México —que no invirtió y por ahora no ha invertido en gas natural, debido a que tiene esta conexión energética entre los países norteamericanos para una seguridad energética regional y no nacional— tomó la decisión de importarlo del país vecino beneficiándose de los bajos precios. No obstante, las importaciones de gas natural de México que provienen de EUA han crecido considerablemente, lo que podría vulnerar la seguridad energética del país y principalmente del sector productivo, ya que la generación de energía eléctrica a través de gas natural ascendió al 60% de la generación total en el año 2016.

Esta dependencia del gas natural podría no ser completamente desfavorable si se considera que la dependencia es mutua dadas las características físicas del gas natural que dificultan su transportación, en el sentido de que si México al compartir frontera y que actualmente invierte en infraestructura de transmisión por medio de gasoductos que se conectarán directamente a Estados Unidos, decidiera cancelar la infraestructura programada o reducir las importaciones drásticamente —lo que llevaría al país a un estado de crisis energética— le dificultaría a Estados Unidos vender su excedente de producción al mismo tiempo que lo haría más costoso, debido a que incurrirían en mayores costos de inversión para tener un mayor número de plantas de regasificación que les permitan exportar el Gas Natural de forma licuada a otros países, además de sumarse a la más estricta política climática en la actualidad —y la que puede desencadenarse a futuro— que prohíbe la quema del combustible en los pozos de shale, generando una mayor producción del energético y su consecuente mayor infraestructura para su transportación, almacenaje y venta. De esta forma pareciera que la dependencia es mutua, así como el beneficio. No obstante, los riesgos geopolíticos derivados de la política se mantienen presentes, para demostrarlo, cuando en enero de 2017

Donald Trump asume la presidencia de Estados Unidos, las políticas de integración con el país vecino se vieron dificultadas, ya que México no era de su total agrado y de acuerdo a su visión son muchas más las externalidades negativas de una relación comercial entre ambos países que las positivas. Por lo que Trump llevó la relación bilateral a etapas de incertidumbre y desencuentros que en determinados momentos aumentaron los riesgos y mostraron posibles vulnerabilidades del sistema. Vulnerabilidades que se vieron representadas cuando en Febrero del año 2021 —incluso ya sin Trump en la presidencia de EUA— se cancelaron por seguridad nacional, parte de las exportaciones de Gas Natural de EUA (Texas) hacia México, derivado de las fuertes heladas que se presentaron en el Estado de Texas<sup>69</sup>, dejando sin el suministro adecuado de Gas Natural al sistema eléctrico nacional<sup>70</sup>, provocando apagones controlados en determinadas regiones para mantener en funcionamiento la mayor parte del sistema eléctrico mexicano<sup>71</sup>, además de generar mayores costos en la generación de electricidad con Gas Natural debido a que la baja oferta del energético elevó considerablemente sus precios<sup>72</sup>.

## Conclusiones del capítulo

Como se observó en este capítulo, la electricidad tiene características únicas entre las que se encuentran: 1) Que no se puede almacenar a niveles requeridos por cualquier sistema, 2) Debido a que no se puede almacenar, ésta se genera cuando es requerida, lo cual aunado a que viaja a la velocidad de la luz requiere coordinar a todos los generadores para equilibrar el sistema, 3) Para su transmisión y distribución siempre toma el camino de menor resistencia, 4) Asimismo su transmisión ésta sujeta a interacciones físicas complejas, es decir, una afectación dentro de la red

---

<sup>69</sup> <https://www.ft.com/content/9b7cdf2-f43b-49c3-b8b8-b4840f95ebbd>

<sup>70</sup> “El desabasto de gas natural ha golpeado la generación eléctrica de México después de que los productores de Texas cortaron el suministro ante el congelamiento de infraestructura operativa.” [https://www.forbes.com.mx/actualidad-texas-prohibe-exportar-gas-natural/?fbclid=IwAR3Y82lCkWa4cTxDwTnc8YTGDpaBgCGv\\_zSwn0v1WbQKTgEGzqw4mrOMfsY](https://www.forbes.com.mx/actualidad-texas-prohibe-exportar-gas-natural/?fbclid=IwAR3Y82lCkWa4cTxDwTnc8YTGDpaBgCGv_zSwn0v1WbQKTgEGzqw4mrOMfsY)

<sup>71</sup> “Desde la mañana del lunes {15/02/2021/} se han registrado cortes de energía controlados en el país, primero en los estados del norte y luego en otras entidades como parte de una estrategia para evitar mayores afectaciones al sistema de distribución eléctrica.” [https://www.forbes.com.mx/politica-amlo-reducir-consumo-electricidad-6-a-11-noche/?fbclid=IwAR0DspzEnXcZ7xJrxmmd626gmoDBQHtPFCoUBIXaNUvUDGKk5oFnfru\\_Jol](https://www.forbes.com.mx/politica-amlo-reducir-consumo-electricidad-6-a-11-noche/?fbclid=IwAR0DspzEnXcZ7xJrxmmd626gmoDBQHtPFCoUBIXaNUvUDGKk5oFnfru_Jol)

“Ayer {16/02/2021}, cerca de 3.2 millones de personas sufrieron cortes de luz en 26 estados del país, después de que México comenzó a quedarse sin el suministro de gas que sufre el sur Estados Unidos por la tormenta invernal, que ha congelado gran parte de la infraestructura petrolera en la cuenca de Permian, una de las mayores productoras de hidrocarburos del mundo.” [https://www.forbes.com.mx/economia-mexico-hogares-hospitales-cortes-luz-industrias/?fbclid=IwAR3MUCRCFcn13F\\_kw9uEQ2ABquTOj427P1xUOQbu5SDGEalLzknu6gJpwvk](https://www.forbes.com.mx/economia-mexico-hogares-hospitales-cortes-luz-industrias/?fbclid=IwAR3MUCRCFcn13F_kw9uEQ2ABquTOj427P1xUOQbu5SDGEalLzknu6gJpwvk)

<sup>72</sup> “Los precios al contado en la vecina Oklahoma se dispararon a más de mil por millón de unidades térmicas británicas el miércoles {17/02/2021}, aumentando más de 100 veces con respecto a la semana anterior.” [https://www.elfinanciero.com.mx/mundo/gobierno-de-texas-prohibe-exportaciones-de-gas-natural-hasta-el-21-de-febrero/?fbclid=IwAR0qj5jYPgiQPdTomWP6T8arxMnp\\_aDz5\\_xLqgOF44W4wp-sVmlWZngLUak](https://www.elfinanciero.com.mx/mundo/gobierno-de-texas-prohibe-exportaciones-de-gas-natural-hasta-el-21-de-febrero/?fbclid=IwAR0qj5jYPgiQPdTomWP6T8arxMnp_aDz5_xLqgOF44W4wp-sVmlWZngLUak)  
“... se congeló la infraestructura para la transmisión de gas natural, lo que derivó en un incremento inusitado de sus precios, que pasaron primero de 3 a 100 dólares y luego hasta 900 dólares por millón de BTU” <https://www.forbes.com.mx/economia-cfe-anticipacion-desabasto-gas-apagones/?fbclid=IwAR3ivrtvhMB2JR-FXonGs0Ro1fr2-OUngJNh6hCFVzWLu0yEEaJmFb4vOe8>

puede verse reflejada a varios kilómetros. Por lo que a pesar de poder hacer uso de distintos energéticos para su generación la planeación, mantenimiento y funcionamiento de cualquier sistema eléctrico requiere de una política clara y adecuada a las necesidades y características de cada país.

De igual modo se visualizó que en las últimas dos décadas del siglo pasado y en las primeras dos del siglo XXI varios países llevaron a cabo reformas estructurales con el fin de incentivar la inversión privada y desregular los mercados —entre los cuales está inmerso el de la electricidad—. Con este contexto, se pudo observar que, dichas reformas cambiaron tajantemente los sistemas eléctricos, al pasar de una organización monopólica —como en el caso de México— a un recién creado mercado eléctrico, afectando las racionalidades de los actores e incrementando el número de éstos. Todo parece indicar que México no consideró suficientemente las experiencias de otros países, en los cuales la creación y coordinación del mercado eléctrico afectó su planeación y funcionamiento al carecer de regulaciones suficientes que coordinaran la racionalidad de los nuevos actores. No obstante, la reforma que establece la creación del mercado eléctrico mayorista, la creación de nuevos organismos y mayor autonomía a los organismos ya existentes con el fin de mejorar la regulación del mercado eléctrico, dejó de lado el proceso de planeación del sector energético nacional y por ende del sector eléctrico mexicano, ya que la nueva regulación únicamente menciona que esta recae en la SENER pero pareciera que nunca se materializa, debido a que la SENER no ha emitido ningún documento que marque las directrices de hacia a dónde debe dirigirse la política energética nacional, impidiendo la coordinación de los nuevos organismos y demás actores del sector hacia los mismos objetivos y metas, y hacia el reforzamiento de la integración energética con Norteamérica a través del Gas Natural, con los efectos derivados de la dependencia de la generación de electricidad de México respecto del gas estadounidense.

Lo anterior se observa en los datos de las tecnologías utilizadas para generar electricidad en el sector eléctrico mexicano, principalmente en los años 1990, 2003 y 2016. En los cuales se advierte que la configuración del sistema eléctrico evoluciona y logra su mayor diversificación en el año 2003, reduciendo el uso del combustóleo como fuente principal y aumentando el uso de Gas Natural, en línea con la integración energética de América del Norte. En este punto de mayor diversificación México tuvo la mejor oportunidad de realizar una planeación integral del sistema eléctrico nacional que buscará cubrir las nuevas necesidades eléctricas incluyendo prospectos sobre cómo acatar los nuevos requerimientos de energías limpias que se acordaron a nivel mundial en favor de un desarrollo más sustentable. Sin embargo, la decisión que se tomó desde el ejecutivo nacional y la CFE en esos años, si bien tomo en cuenta las reducciones de emisiones y mayor uso de energéticos limpios para los próximos años, nunca formalizó la planeación energética nacional más allá de las leyes y el PROSENER. Si bien este último a partir del año 2000 incluía previsiones bastante cercanas a la realidad de los requerimientos futuros del sector, no logró organizar los esfuerzos hacia una política energética integral que coordinara a todos los actores del sector energético. Descuidando la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética nacional, ya que al año 2016 las importaciones nacionales de Gas natural eran de alrededor del 60%, las cuales en su mayoría provenían y provienen del país vecino del norte —en cerca del 80% —, afectando negativa y significativamente a la seguridad energética nacional. Específicamente en el sector eléctrico en ese mismo año más del 60% de la electricidad se generaba con dicho combustible, con lo cual, descontando el uso nacional de Gas Natural por parte de privados, las importaciones provenientes

de EUA se pudieron utilizar en su totalidad para cubrir los requerimientos del combustible en el sector eléctrico, lo que se traduce en una mayor dependencia respecto a su uso y una posible vulnerabilidad respecto a su proveedor. Estos hechos validan la idea de generar una evaluación constante de la seguridad del sector eléctrico, que contribuya a la dirección a seguir para generar una política de seguridad energética nacional que habilite el desarrollo económico del país.



## Capítulo 3. Seguridad Energética y Seguridad del Sector Eléctrico

En este apartado se presentan y examinan distintas definiciones de seguridad energética para comprender sus alcances y cómo se ha desarrollado dicho concepto desde su aparición hasta la actualidad, incluyendo sus métodos de medición y evaluación aplicados por diversos países y organismos internacionales. Se presta mayor atención a aquella literatura que incluye a la electricidad y que muestra las relaciones e interacciones entre el sistema eléctrico y la seguridad energética, para comprender en qué contexto se enmarca la definición de seguridad energética del país, e indagar si ésta se puede ampliar o visualizar desde otro concepto como el de sistemas energéticos vitales. De este modo, usando el marco propuesto por Cherp y Jewell (2013) se delinea el sector eléctrico mexicano como un sistema energético vital con la ayuda de algunos indicadores seleccionados. Estos indicadores abarcan desde la seguridad energética del país hasta la seguridad del sector eléctrico mexicano y están clasificados de la siguiente forma: 1) Intensidad de uso de los energéticos; 2) Agotamiento Geológico, Dependencia y Diversificación; 3) Infraestructura y resiliencia con el fin de obtener un mejor entendimiento de las necesidades energéticas del país y del sector eléctrico nacional al exponer: la demanda de electricidad que debe ser cubierta para el funcionamiento del país, los recursos con los que se cuenta, las importaciones de energéticos para la generación, las tecnologías utilizadas, los niveles de infraestructura de generación, transmisión y distribución, finalizando con los grados de resiliencia presentes en el sistema que brinden seguridad en su funcionamiento ante posibles alteraciones. Estableciendo así los límites y posibles vulnerabilidades del sector eléctrico mexicano.

### Desarrollo del concepto: Seguridad Energética.

La atención a este concepto comienza a gestarse desde principios del siglo XIX con el uso masivo del motor de combustión interna que revolucionó los sistemas de movilidad al incorporarlo en automóviles, autobuses, barcos y aviones, lo que provocó que el petróleo surgiera como energía dominante. Razón por la cual, ya en las primeras décadas del siglo XX, como lo explican Cherp & Jewell (2011a), la Armada británica pasó de utilizar carbón nacional a utilizar petróleo importado, volviendo a Inglaterra vulnerable a la ocupación de los campos petroleros por parte de un enemigo o a ataques a las líneas de transporte y refinerías.

Así las batallas sobre los campos petroleros en Indonesia, Oriente Medio, el Cáucaso y Rumania durante la Segunda Guerra Mundial destacaron la importancia militar que poseen los suministros petroleros. Por tanto, durante la primera mitad del siglo XX la noción de seguridad energética estuvo estrechamente vinculada al suministro de combustibles para los militares.

Una vez terminada la guerra, la importancia del petróleo para los ejércitos no disminuyó y el petróleo se volvió vital para las sociedades industrializadas de muchas otras maneras, no solo en el ámbito militar. Sin embargo, en esta época la mayoría de los países industrializados no producían suficiente petróleo para satisfacer sus necesidades, lo cual, junto con la descolonización llevada a

cabo durante el mismo periodo, significaba que el petróleo se importaba de naciones independientes y no de territorios políticamente dependientes como antes de la guerra. Al mismo tiempo, muchos de estos países en desarrollo también se volvieron dependientes de los ingresos por exportaciones de petróleo para su desarrollo económico y estabilidad política.

No obstante, la vulnerabilidad de este sistema se hizo evidente en 1973 cuando la mayoría de los miembros de la OPEP, junto con varios países árabes no pertenecientes a la OPEP, redujeron los suministros de petróleo a los EUA y otros países en protesta por el apoyo de los EUA a Israel. Como resultado, el precio del petróleo se cuadruplicó provocando una crisis económica y exponiendo la fragilidad del sistema mundial al suministro de petróleo.

De tal forma que, en los primeros tres cuartos del siglo XX, el problema real de la seguridad energética era la protección de los suministros de petróleo, los cuales eran vitales para los ejércitos y las economías modernas. En palabras de Cherp y Jewell: “Energy security was conceptualized by political analysts who viewed war and peaceful diplomacy as part of the same ‘grand strategy’” [ La seguridad energética fue conceptualizada por analistas políticos quienes consideraban la guerra y la diplomacia pacífica como parte de la misma "gran estrategia".] (Cherp et al., 2011a, p. 2)

Esta estrategia a la que se refieren Cherp & Jewell, establecía regímenes internacionales en los cuales las interrupciones del flujo de petróleo hacia los países industrializados fueran menos probables. Como primer punto de esta “gran estrategia” los EUA utilizarían la fuerza militar en la Región del Golfo Pérsico, el segundo punto buscaba fomentar el mercado global de derivados del petróleo en virtud de que una multitud de actores garantizaría que ninguno de ellos ejerciera demasiado poder, como tercer y último punto se decidió establecer la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) con la misión de coordinar una respuesta de emergencia entre los países miembros ante las interrupciones en el flujo del petróleo que pudieran darse a futuro, para lo cual los países miembros contarían con reservas de petróleo que se utilizarían para contrarrestar dicha emergencia. Al mismo tiempo y con el mismo fin de asegurar el abastecimiento energético se comenzó a promover el cambio en el uso del petróleo por otras fuentes de energía —principalmente energía nuclear y gas natural— en usos como la calefacción y la generación de electricidad.

En este periodo el concepto de seguridad energética significaba principalmente mantener un suministro estable de petróleo, que fuera accesible (barato) ante las amenazas de embargos y manipulaciones de precios por parte de los exportadores.

Estas acciones concedieron resultados entre los años 80's y 90's haciendo que los precios del petróleo se redujeran y los temores por interrupciones físicas disminuyeran. Sin embargo, a principios del nuevo milenio como hace mención Oswald (2017), la crisis financiera global de 2008 cambió súbitamente el panorama de precios bajos, y aún con la rápida recuperación económica el precio del petróleo llegó a niveles máximos a partir de 2011. Lo cual condujo a una oferta excesiva de combustibles fósiles, sobre todo de no convencionales provenientes principalmente de EUA, Brasil, Argentina y Canadá, que saturaron el mercado mundial y produjeron uno de los más recientes colapsos en el precio del barril de crudo en 2015. Esta saturación del mercado junto con la desaceleración económica en China, el incremento en la eficiencia energética de algunos procesos productivos, así como una mayor disponibilidad de energías renovables habían mantenido una reducción sistemática de la demanda de petróleo, provocando una persistente sobreoferta de

petróleo con su debida reducción en el precio del energético que derivó en una reducción de los ingresos de los países exportadores hasta el año 2020, mostrando que aun estas naciones — exportadoras— al igual que las importadoras son vulnerables a las fluctuaciones del precio del energético. Este efecto ya había sido nombrado por los economistas como la maldición de los recursos naturales o enfermedad holandesa, ya que tales conceptos designan los efectos políticos y económicos negativos causados por la dependencia en la exportación de recursos naturales y las fluctuaciones en el precio de estas.

Pese a los resultados de la “gran estrategia” en los años 80’s y 90’s y la sobreoferta de petróleo después del año 2011, el concepto de seguridad energética se ha seguido actualizando y hasta la fecha no se ha logrado homogenizar, existiendo una gran cantidad de definiciones en la literatura que buscan abarcar e introducir dentro de su definición nuevos y más variados aspectos y dimensiones haciendo de este un concepto multidimensional. Entre las investigaciones que han buscado definir y homogenizar este concepto se encuentra la de Sovacool, et al. (2011) en la cual se puede encontrar una revisión de la literatura con 45 definiciones sobre como plantear la seguridad energética.

Por su parte en su documento Hippel, D., et al. (2011) contemplan incorporar algunos temas que constituyen desafíos teóricos y metodológicos a la definición de seguridad energética, como:

I) Ambiente.- El cuál consideran es el desafío más serio para el pensamiento de política energética tradicional, dado que el ambiente deber ser visto con una perspectiva de tiempo mucho más prolongada que la de las empresas o los gobiernos, con retos que pueden abarcar no solo a los energéticos sino la gestión de residuos radioactivos y cambio climático. Por tales motivos, se ha contemplado el incorporar el concepto de sustentabilidad a los objetivos de la seguridad energética, definida como: “... aquel proceso que puede mantenerse indefinidamente sin disminución progresiva de las cualidades valiosas dentro o fuera del sistema en el que opera el proceso o la condición prevaleciente”. Desde un punto de vista biofísico la sostenibilidad significa mantener o mejorar los sistemas de soporte de vida de la tierra. Por lo que el desafío y objetivo del desarrollo sostenible será mantener tanto la sostenibilidad del medio biofísico como la de los seres humanos, en el entendido de que este último deberá sostener al primero<sup>73</sup>.

II) Tecnología.- En este caso los riesgos asociados con el desarrollo y despliegue de tecnologías avanzadas —como energía nuclear, redes inteligentes y globales; y en el caso de los riesgos: accidentes nucleares, fallas de sistema, fracasos de I + D, etc.— desafían el pensamiento actual de la política energética, debido a que se subestima tales riesgos y se tiende a verlos tan solo como problemas de corto plazo y no de largo plazo.

III) Gestión de la demanda.- Otro desafío claro para el pensamiento de política energética es la necesidad de abordar la demanda de energía. Esto porque la política energética convencional busca asegurar el suministro asumiendo que la demanda es un hecho. Noción que ha estado cambiando

---

<sup>73</sup> Sobre este tema Dalby (2020) comenta que también debe buscarse una definición para la seguridad ambiental, ya que el estrés ambiental puede ser una causa de conflicto, además de que el desarrollo sostenible requiere condiciones ambientales estables para tener éxito. Véase: Dalby, S. (2010). Environmental Security and Climate Change, Oxford Research Encyclopedia of International Studies. Actualizado en 2020 en: <https://oxfordre.com/internationalstudies/view/10.1093/acrefore/9780190846626.001.0001/acrefore-9780190846626-e-168>.

desde mediados de la década de 1980, cuando el concepto de gestión por el lado de la demanda (DSM) se incorporó por primera vez en la planificación energética.

IV) Factores socio-culturales.- Una frase muy sonada principalmente en los EUA es “No en mi patio trasero” (NIMBY, por sus siglas en inglés) esta frase muestra claramente como las preocupaciones de justicia ambiental se están volviendo fenómenos globales, haciendo más difícil, lento y costoso ubicar “instalaciones molestas” como las grandes centrales eléctricas, instalaciones de tratamiento y eliminación de residuos, refinerías de petróleo o terminales de gas licuado o natural. Ya que, aunque las personas reconozcan la necesidad de tales instalaciones, muchas comunidades prefieren no tener las plantas cerca de su vivienda o vecindario. Haciendo surgir las preguntas sobre ¿quién tiene el derecho a decidir dónde ubicar tales instalaciones? ¿Quién tiene derecho a negarse? ¿Podrá cualquier formulación racional de políticas satisfacer a todos los interesados?

Con estos y otros desafíos que la literatura ha considerado incorporar para buscar la seguridad energética, se han generado distintos conceptos a fin de que se integren a la definición de seguridad energética y amplíen sus objetivos. Un ejemplo de esto son las cuatro As introducidas por el Centro de Investigación de Energía de Asia y el Pacífico (APERC, 2007) con las que se busca abarcar cuatro aspectos de seguridad energética —disponibilidad (availability), asequibilidad (affordability), accesibilidad (accessibility) y aceptabilidad (acceptability)— los cuales han sido considerados dentro de la literatura como punto de partida frecuente de los estudios contemporáneos de seguridad energética.

Dos de estas cuatro As —disponibilidad y asequibilidad— ya han sido incorporadas de manera destacada en los estudios clásicos de seguridad energética las cuales pueden verse desde los estudios de Deese (1979) y Yergin (1988) hasta los estudios actuales debido a que siguen siendo el núcleo de la definición general de seguridad energética. Las otras dos As —accesibilidad y aceptabilidad— están incorporadas entre los objetivos energéticos globales proclamados por el Consejo Mundial de Energía en su declaración del Milenio (WEC, 2000), sin embargo, en ese documento aún no se encontraban conectadas a la seguridad energética. Es hasta el informe de APERC (2007) cuando se incorporan a la definición de seguridad energética, no obstante, el informe no justificaba el uso de estas cuatro As en referencia a la literatura anterior, u observaciones empíricas o razonamiento lógico. Por lo que tampoco hizo una afirmación de que las cuatro As constituyeran un concepto genérico o características esenciales de la seguridad energética. A pesar de esto, la literatura de seguridad energética fue retomando estos conceptos, entre los que nos podemos encontrar estudios como el de Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. M., & Groenenberg, H. (2009) donde agruparon sus indicadores de seguridad energética respecto a las cuatro As, al cual llamaron esquema de clasificación. Por otro lado, Winzer (2012) reflexiona que la disponibilidad y accesibilidad debieran identificarse como fuentes de riesgo naturales y humanas respectivamente, mientras que la asequibilidad y la aceptabilidad fueran identificados como impactos económicos y ambientales respectivamente.

Hasta aquí es fácil observar que el introducir nuevos conceptos y objetivos, más que aclarar la dirección de la definición de seguridad energética la ha tornado más confusa, dado que cada concepto puede interpretarse no en forma general sino para cada caso de estudio, haciendo que la seguridad energética signifique diferentes cosas en diferentes situaciones y para diferentes

personas. Entre las explicaciones que exponen esta variación se encuentra que, primero, los sistemas de energía varían de un lugar a otro, dando lugar a diferentes problemas de seguridad energética dependiendo la región de estudio; en segundo lugar, siempre se busca expandir el término "seguridad energética" para adaptarlo a los temas de política energética de cada región ocupándose también de problemas como pobreza energética o cambio climático.

Pese a esto, la presencia de diferentes significados para la definición de seguridad energética no ha significado necesariamente la existencia de disímiles conceptos de ésta. En la mayoría de los casos, se entiende que este concepto puede encontrar diferentes expresiones para diferentes condiciones. A lo que Hempel hacía una excelente reflexión al decir que un buen concepto de ciencia social no debería tener como objetivo eliminar diferentes significados de un término en disputa, sino más bien "reducir las limitaciones, ambigüedades e inconsistencias ... [mejorando] ... la claridad y precisión de estos significados, así como su capacidad para funcionar en hipótesis y teorías con fuerza explicativa y predictiva" (Hempel, 1964, 12).

Por esto Cherp & Jewell (2014) hicieron la pregunta ¿Seguridad para quién? Ya que las cuatro A's mencionadas con anterioridad no responden a esta pregunta, ni tampoco se encuentra de forma explícita en las definiciones de seguridad energética clásica. Lo que abre múltiples interpretaciones especialmente para los conceptos de asequibilidad y aceptabilidad al no dejar claro para quien deberán ser asequibles y aceptables los energéticos en cuestión, ya que por un lado podrían ser asequibles en el sentido de buscar una mejor y mayor rentabilidad de las inversiones ejercidas en energía, mientras que otros podrán interpretarlo como precios bajos para los consumidores finales. En el caso de ser energéticos aceptables normalmente se hace referencia al impacto ambiental que los mismos sistemas energéticos puedan provocar, lo que nuevamente no deja claro qué grado de impacto es aceptable para cada uno de los diferentes actores del sector. Al respecto Keppler (2007) menciona que actualmente los recursos energéticos fósiles poseen problemas de aceptabilidad ambiental principalmente en los países desarrollados, lo que dificulta su disponibilidad ya que al mismo tiempo estos energéticos pueden encontrarse en regiones geopolíticamente inestables.

Otra pregunta para tomar en cuenta del trabajo de Cherp & Jewell (2014) es ¿Seguridad para que valores? Puesto que tanto el concepto de seguridad energética como las cuatro A's están vinculados a prioridades políticas, económicas, sociales, etc. Pero comúnmente los enlaces entre estas no son abordados, dejando abierta la respuesta de qué valores o sistemas de energía deben protegerse. No obstante, el concepto de seguridad energética ha comenzado a evolucionar incorporando nuevos energéticos con sus respectivos valores geopolíticos, los cuales mantienen una relación permanente con el bienestar económico, por lo que su importancia aumenta al poder ver estos nuevos valores como políticas sociales y de estabilidad. De tal forma que, al buscar proteger las distintas prioridades, se comenzará a salvaguardar los distintos sistemas de energía existentes y no la energía en general. Provocando que se usen métricas y políticas personalizadas para cada región buscando mejorar la seguridad energética de cada una de las energías utilizadas y no como una visión global.

De esta forma, cabe preguntarse ¿de qué amenazas deberá cuidarse la seguridad energética?, ¿de los valores existentes en el concepto de seguridad energética clásica o de los nuevos que se van incorporando? Esto dependerá igualmente de las preocupaciones, experiencias y percepciones de cada región. De los primeros estudios de seguridad energética así como de la visión de las cuatro

A's se pueden mencionar a modo general: amenazas geológicas (disponibilidad), geopolíticas (accesibilidad) y económicas (asequibilidad), mientras que las amenazas más actuales pueden abordar y explorar otras vulnerabilidades como la obsolescencia de la infraestructura, los ataques terroristas, los eventos naturales o la intermitencia de las energías solar y eólica, así como la misma resiliencia de los sistemas energéticos.

Resumiendo, hoy por hoy la visión de seguridad energética, ha dejado de enfocarse únicamente en los energéticos primarios como el petróleo —energético por el que comenzó a plantearse la seguridad energética—, y se ha abierto a energías secundarias o primarias no necesariamente fósiles, incorporando también enfoques que no solo buscan mantener el abastecimiento suficiente de energía, a la vez que se van actualizando otros aspectos ya utilizados en su definición tradicional como la geopolítica. Estos cambios en la definición de seguridad energética van en concordancia con el periodo de transición energética en que se encuentra el mundo, el cual busca la electrificación por vías menos contaminantes o con menores emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que las energías utilizadas durante esta transición como: gas natural y carbón —este último con el aprovechamiento de nuevas tecnologías para una transformación más eficiente con menor emisión de CO<sub>2</sub>— deben ser tomadas en cuenta dada la importancia y uso que se les da actualmente.

Para lograr esta visión de menos emisiones contaminantes se deberán coordinar los diversos tipos de energía para la implementación de energías renovables y limpias en el mediano y largo plazo. Esta coordinación no necesariamente se consigue expandiendo el concepto de seguridad energética a temas ambientales, puede lograrse a través de la política nacional de cada país, tomando como base a la política de desarrollo y observando la política de seguridad energética y ambiental como piezas claves de las políticas sectoriales de cada país, cada una en concordancia y visión con el objetivo final de la política de desarrollo nacional.

En este entendido, en el presente trabajó se presentan algunas definiciones que se han generado hasta la fecha, las cuales buscan entregar un concepto claro y que abarque las inquietudes que llevaron a la realización de dicho trabajo:

-IEA: Disponibilidad ininterrumpida de energía a un precio asequible.

-Bhattacharyya (2011): La seguridad en el suministro de energía debe ser una oferta fiable y adecuada a precios razonables. Es decir, abastecimiento ininterrumpido de energía que sea capaz de satisfacer la demanda de la comunidad global.

-Bompard (2017) La seguridad energética se puede definir como la capacidad de asegurar la disponibilidad de los diferentes tipos de energía para uso final, en la cantidad requerida, cuando se solicite, y en horizontes de corto, mediano y largo plazo. Por lo cual es necesario asegurar el acceso a las fuentes de productos básicos, su transporte al país, la posible transformación en productos secundarios y su distribución dentro del propio país mediante infraestructuras adecuadas.

-Comisión Europea:"[garantizar] la disponibilidad física ininterrumpida de productos y servicios energéticos en el mercado, a un precio asequible para todos los consumidores (privados e industriales), al tiempo que contribuye a los objetivos sociales y climáticos más amplios de la UE.

Así mismo, Klare (2009) considera que debe tomarse en cuenta la geopolítica de la energía definiéndola como la distribución geográficamente desigual de las reservas de energía,

especialmente el petróleo y gas natural, con sus ramificaciones financieras, y poder e influencia indebidos para los países que poseen estos recursos.

Dichas definiciones que si bien son pocas o demasiado concisas se eligieron debido a que abarcan dimensiones que podrían aplicar al caso mexicano, intencionalmente en ninguna se menciona el cambio climático o las emisiones de carbono como parte fundamental, a pesar de que claramente afectan el funcionamiento de un país y de su sistema energético. Sin embargo, vale la pena recordar que el motivo del presente trabajo es evaluar la seguridad del sector eléctrico dentro de un contexto de seguridad energética, entendiendo a esta última en su concepto más claro y conciso como la continuidad del suministro de energía hacia un país, y entendiendo al calentamiento global como una política igual de importante pero de distinta índole que deberá ser estudiada en otros tipos de trabajo, y que en una visión de política nacional claramente deben conjugarse ambas políticas. Ya que como lo menciona Winzer (2012) de esta forma se separa la seguridad del suministro de muchos otros objetivos de política, lo cual permite medir dicho concepto con mayor precisión y a la vez reducir el doble conteo de aspectos potencialmente menos importantes<sup>74</sup>.

Recapitulando, últimamente la literatura de seguridad energética ha propuesto que este concepto puede significar diferentes cosas en diferentes situaciones y para diferentes personas. Esto no quiere decir que existan varios conceptos de seguridad energética, más bien, que hay diferentes expresiones en condiciones diversas. No obstante, se debe tener cuidado con las interpretaciones, ya que algunas buscan aumentar la prioridad de algunas agendas —políticas, sociales, etc.—, que por muy legítimas que sean —como mitigación del cambio climático, reducción de la pobreza energética, etc.—, el nombrarlas en relación con la seguridad energética provoca un distanciamiento sobre lo que debe manifestar el concepto de seguridad energética. Por otro lado, también se debe procurar que el concepto de seguridad energética aplicado en cada investigación sea lo suficientemente específico para reflejar los problemas propios del contexto a evaluar, y lo suficientemente genérico para permitir una comparación más amplia, utilizando preferentemente hechos concretos en lugar de opiniones generales y siguiendo siempre las percepciones y prioridades políticas. Por lo que como lo mencionan Cherp y Jewell (2013) encontrar y ajustar todos los factores y significados en un concepto determinado de seguridad energética es la ciencia y el arte de las evaluaciones de seguridad energética.

Para lograr estas compensaciones, concuerdo con Cherp y Jewell (2014) que un buen punto de partida es conceptualizar la seguridad energética desde la noción de seguridad general como lo hizo Baldwin (1997, citado en Cherp, A., & Jewell, J., 2014), al mencionar que seguridad económica, seguridad ambiental, seguridad energética, etc., son distintas formas de seguridad y no conceptos diferentes. Por tal razón, Baldwin (1997, citado en Cherp, A., & Jewell, J., 2014) definió la seguridad como “baja probabilidad de daños a los valores adquiridos” y basándose en Wolfers (1952, citado en Cherp, A., & Jewell, J., 2014), argumentó que la definición adoptada en situaciones específicas

---

<sup>74</sup> Otra perspectiva puede ser visualizada desde el punto de vista de Bang (2010, citado en Nyman, J., 2018) quien refiere que mientras la combinación de la energía con el clima genero políticas más respetuosas con el medio ambiente, la mayoría se centró en las políticas de seguridad energética, como es el caso de esta investigación, ignorando los efectos del cambio climático y dejándolo fuera de la agenda política la mayoría de las veces. Véase: Nyman, J. Rethinking energy, climate and security: a critical analysis of energy security in the US. *J Int Relat Dev* 21, 118–145 (2018). <https://doi.org/10.1057/jird.2015.26>

debe responder al menos a las siguientes tres preguntas: ¿Seguridad para quién? ¿Seguridad para que valores? Y ¿De qué amenazas?

Cherp y Jewell (2014) encontraron que muchas definiciones de seguridad energética no responden estas preguntas, ya que muchos estudios contemporáneos van más allá de los países importadores de petróleo de la OCDE e incluyen a naciones de todos los niveles de desarrollo, además de utilizar una variedad de fuentes de energía —no solo petróleo— y contemplar al transporte y otros sectores. Incluso se percataron de que la definición clásica de seguridad energética no hace explícita la pregunta ¿seguridad para quién? Por lo que los estudios actuales amplían la variedad de interpretaciones sobre la definición de seguridad energética y no dilucidan para quien usan los conceptos de asequibilidad u otros como aceptabilidad.

Siguiendo con la pregunta ¿Seguridad para que valores? Cherp y Jewell mencionan que hay que preguntar ¿Qué sistemas de energía se deben proteger? Anteriormente, y en los estudios que usan la definición clásica de seguridad energética era evidente e implícito que los valores a proteger eran los nacionales como: independencia política, integridad territorial y el suministro de petróleo. Sin embargo, los estudios más actuales se extienden más allá del petróleo e incluyen a otros sectores energéticos, además de relacionarlos con el bienestar económico, la estabilidad política y social de cada país, etc. Por lo que Cherp y Jewell (2014) proponen identificar y explorar las conexiones entre los sistemas de energía y los valores sociales importantes. De esta forma proteger los “valores” de una nación o región debe interpretarse como proteger los distintos sistemas de energía de esas naciones o regiones, lo cual implica utilizar métricas y políticas particulares y específicas.

Respecto a ¿Seguridad de qué amenazas? Cherp y Jewell (2014) aclaran que las políticas de seguridad energética se ocupan de los “estándares” ya alcanzados en lugar de los deseados como haría una política normal de servicios públicos. Esto quiere decir que las políticas de seguridad energética deben proteger los valores existentes, los cuales se conforman por experiencias de interrupciones y percepciones de riesgos, tal como los estudios clásicos surgidos de las interrupciones en los sistemas existentes. Evidentemente el concepto de seguridad energética no puede enumerar todos los riesgos o vulnerabilidades posibles, pero si puede proporcionar un marco para identificarlas, medirlas y gestionarlas. Por lo tanto, una definición más genérica de seguridad energética permite simultáneamente cubrir una amplia variedad de situaciones y brindar una dirección clara para su evaluación.

De lo anterior se puede concluir como en su momento lo hicieron Cherp y Jewell (2013) que la seguridad energética es una noción sistémica donde lo que es seguro para un sistema particular puede no serlo para sus subsistemas o viceversa, lo que requiere definir explícitamente los límites de los sistemas energéticos a evaluar. Para lograrlo se debe regresar a las preguntas ¿Qué proteger? ¿Qué valores proteger? Y ¿De qué amenazas? Para que las políticas de seguridad energética no se centren en proteger una energía “abstracta” sino los sistemas energéticos críticos para las sociedades, concretamente los sistemas energéticos vitales.

Partiendo de esto, en esta investigación se usa la definición de seguridad energética propuesta por Cherp y Jewell (2014) “Baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales”, en el entendido de que estos están conformados por los recursos energéticos, la infraestructura, y los usos de la energía, permitiendo así seguir los flujos de la energía y priorizar sus funciones sociales críticas.



Donde la vulnerabilidad es la combinación entre la exposición a los riesgos y la capacidad de recuperación. Como sus autores lo mencionan esta lógica tiene tres ventajas:

- 1) Identifica para quién es la seguridad, es decir, para los sistemas energéticos vitales, y precisa que son los valores adquiridos los que se protegerán. De igual modo, al mencionar “baja vulnerabilidad” se responde a la pregunta ¿de qué amenazas proteger?<sup>75</sup>;
- 2) No se restringe a sectores específicos, cadenas de suministro o a sus problemas, otorgando flexibilidad para evaluar sistemas históricos, actuales o futuros en diversos contextos;
- 3) Se pueden generar mayores especificidades de los sistemas de energía vital al explorar sus vulnerabilidades y comprender el proceso político que conduce a la priorización de ciertos sistemas de energía.

De esta forma el evaluar la seguridad energética con esta definición implica: 1) identificar el sistema energético en cuestión —el cual puede ser modificado en el futuro—; 2) identificar sus vulnerabilidades; 3) desarrollar, aplicar e interpretar indicadores para caracterizar estas vulnerabilidades.

Dentro de esta lógica, la definición de sistemas energéticos vitales abarca y puede contener en su interior a la última y única definición del gobierno mexicano expuesta en un documento oficial<sup>76</sup> durante el periodo de estudio de esta investigación, la cual establece que la Seguridad Energética para México queda entendida como la “capacidad para mantener un superávit energético que brinde la certidumbre para continuar con el desarrollo de actividades productivas, además debe de incrementar la accesibilidad a los mercados, internación de los productos y almacenamiento preventivo, principalmente enfocado en aquellos energéticos cuya dependencia de las importaciones pueda crecer a niveles que impliquen riesgos asociados a la continuidad del suministro” SENER. (2014a). Por consiguiente, la función social crítica de este sistema energético puede entenderse como el flujo energético continuo que permita el desarrollo de las actividades del país. Mientras que el superávit, la accesibilidad a los mercados, la internación de los productos, el almacenamiento preventivo, la dependencia y nuevamente la continuidad, implican mantener una baja vulnerabilidad.

Con estos lineamientos referentes a cómo entiende el país a la seguridad energética nacional y con la finalidad de unificarlos con los fines de este trabajo, dentro de la revisión de los marcos existentes para evaluar la seguridad energética, existen dos marcos que considero los más completos en la literatura, los cuales son el Modelo de seguridad energética a corto plazo (MOSES) de la IEA y el Índice de Riesgo de Seguridad Energética Internacional de la Cámara de Comercio de los EUA, los cuales incorporan algunos aspectos del sistema eléctrico. Sin embargo, el nivel de detalle de éstos es insuficiente para el propósito de este trabajo: evaluar efectivamente la seguridad del suministro eléctrico, afectando lo más mínimo la representación de la seguridad energética a nivel nacional.

---

<sup>75</sup> Vulnerabilidades entendidas como la combinación de exposición al riesgo y la resiliencia de los sistemas energéticos vitales.

<sup>76</sup> SENER. (2014a). Estrategia Nacional de Energía 2014-2028.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>

Por lo que en apartados posteriores se propone realizar un índice general de seguridad del sector eléctrico enmarcado en la definición de sistemas energéticos vitales.

## Seguridad en el Sector Eléctrico

Para evaluar la seguridad de los sectores eléctricos, el enfoque de sistemas energéticos vitales — que se desprende de la definición de seguridad energética elegida para esta investigación—, proporciona una plataforma para explorar sus vulnerabilidades como una combinación de la exposición a los riesgos y la resiliencia, vinculadas a las funciones sociales críticas. Este enfoque facilita la evaluación de la seguridad energética de forma más específica al reflejar el contexto y los problemas particulares de cada región y sistema, basándose en hechos concretos que responden a percepciones y prioridades políticas, siendo al mismo tiempo lo suficientemente genérico para una comparación más amplia de ser necesaria. Así al definir a la seguridad energética como la baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales, esta se puede traducir como proteger a los sistemas energéticos de las fallas que puedan alterar su funcionamiento y la estabilidad de la sociedad.

Como se explicó en el apartado anterior, el enfoque de sistemas energéticos vitales parte de la premisa de que el término energía en seguridad energética no designa una caja negra con contenido amorfo, si no un conjunto de sistemas interrelacionados, cada uno de los cuales consta de elementos conectados entre sí y con el mundo exterior y con un conjunto particular de vulnerabilidades (Cherp y Jewell, 2014).

Derivado de lo anterior, en esta investigación el concepto de seguridad energética posee una noción sistémica que, denota que lo que es seguro para un sistema en particular puede no serlo para sus subsistemas y viceversa. Por lo tanto, evaluar la seguridad energética con esta definición implica: I) definir los límites de los sistemas energéticos a evaluar, de forma clara y explícita, y II) responder a la pregunta ¿Qué proteger? Sin centrarse en una “energía abstracta”, sino en todos los sistemas energéticos críticos para las sociedades —ya sean reales o percibidos—. Es decir, centrarse en los sistemas energéticos vitales.

Es de notar que esta noción de sistema energético vital combina dos aspectos: 1) El término “vital” que significa que es fundamental para el funcionamiento y la estabilidad de una sociedad<sup>77</sup> y; 2) El término “sistema” el cual significa que consta de recursos, materiales, infraestructura, tecnologías, mercados y otros elementos conectados entre sí, siendo algo más grande de lo que son individualmente, pero conectados con el mundo exterior. Desde el punto de vista de seguridad energética, el significado de tales conexiones es que, en el caso de una interrupción, los elementos de un sistema pueden reemplazarse entre sí, pero los elementos externos al sistema no podrán hacerlo.

Siguiendo con la propuesta de Cherp y Jewell (2014), estos sistemas de energía vital pueden definirse en términos de sus límites geográficos —nacionales, subnacionales, regionales o del

---

<sup>77</sup> Ya que como lo menciona Leung et al. (2014). "Vital" no significa que solo depende de las características de un sistema energético en particular, sino también de su importancia histórica y el poder de los intereses institucionales asociados.

mundo en su conjunto—, y en términos de sus límites sectoriales —una fuente de energía primaria como el petróleo crudo, un portador de energía como la electricidad, o un uso final de la energía como el transporte—. La combinación de ambos límites —geográficos y sectoriales— genera un gran número de sistemas energéticos vitales —p. ej., “el mercado mundial del petróleo”, “la red eléctrica europea” o “el transporte en China”—, los cuales pueden ser objeto de una evaluación de la seguridad energética.

Es de resaltar que los sistemas energéticos vitales también se pueden estructurar en torno a portadores de energía como la electricidad, donde las redes y las centrales eléctricas nacionales representan un sistema energético verdaderamente unificado. Aunado a que la generación de electricidad generalmente está basada en una combinación de fuentes para que las interrupciones en un combustible puedan compensarse con una mayor entrada de otro combustible. Asimismo, los sectores de uso final —que algunos llaman servicios de energía— también se pueden considerar sistemas energéticos vitales, por ejemplo: un uso final de energía vital para todos los países es el transporte, debido a que aún en la actualidad una sociedad moderna no puede funcionar sin una flota de vehículos de motor.

Conceptualizando, el término sistemas energéticos vitales parte de la premisa de que el término energía en seguridad energética no designa una caja negra con contenido amorfo, si no un conjunto de sistemas interrelacionados. Estos sistemas pueden definirse en términos de sus límites geográficos o sectoriales, asimismo también pueden estructurarse en torno a portadores de energía como la electricidad, lo que permite definir los límites del sistema energético a evaluar y ayuda a especificar su sentido vital, entendiendo esto último como algo fundamental para el funcionamiento y la estabilidad de una sociedad, por lo cual este sistema energético debe cubrir con dicha premisa. De esta forma un sistema energético vital estará compuesto por recursos, materiales, infraestructura, tecnologías, mercados y otros elementos conectados entre sí con el propósito de dar funcionalidad y estabilidad a una sociedad, por lo que su evaluación desde una perspectiva de seguridad energética constará en analizar los problemas particulares de cada región y sistema, basándose en hechos concretos que responden a percepciones y prioridades de cada región, logrando así seguir los flujos de la energía y priorizar sus funciones sociales críticas.

Una vez conceptualizado el término sistemas energéticos vitales, se expone porque los sectores eléctricos pueden visualizarse como tales. Se sabe que los sectores eléctricos generalmente están compuestos por recursos, infraestructura, diversos tipos de tecnología para su transformación y operación, mercados —en aquellos sectores abiertos a la competencia—, actores, entidades que rigen y planean su funcionamiento, y consumidores. Todos estos componentes se interrelacionan entre sí para funcionar, legitimando su conceptualización como sistemas. Para el caso específico del sector eléctrico mexicano, como se expuso en el capítulo 2, su reglamentación también valida visualizarlo como un sistema al abarcar los insumos necesarios para su funcionamiento, las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, la planeación y control del SEN, así como la operación del Mercado Eléctrico Mayorista. Ahora bien, el considerarlos como sistemas también requiere que sus elementos puedan ser sustituibles, y los sectores eléctricos cumplen con este requisito, ya que los recursos, la infraestructura, las tecnologías, el mercado y todos sus actores pueden ser sustituidos por otros (p. ej. su matriz energética dispone de varios insumos energéticos para generar electricidad, lo que modifica las tecnologías utilizadas y la infraestructura), cabe aclarar que aunque sus elementos puedan ser

sustituídos, el reemplazarlos requiere de tiempos que pueden extenderse hasta más de 5 años para efectuarse debido a permisos, inversión y ejecución de la inversión. Por otra parte, los sectores eléctricos también pueden dividirse en subsistemas, como generación, transmisión y distribución, así como en subsistemas que realizan las actividades de generación, operación, transmisión y distribución, comercialización, planeación y operación del mercado; además de poder fusionarse con un sistema más grande —el sistema energético de un país— como un todo. Por lo anterior a partir de ahora en esta investigación el término sistema eléctrico se usa como sinónimo de sector eléctrico (a menos que se especifique lo contrario) con el fin de expresar y ayudar a una mejor comprensión de la evaluación realizada en esta investigación.

En lo que respecta al uso del término vital, el sistema eléctrico ha obtenido una importancia relevante en la literatura reciente, generada por las nuevas necesidades de la población en las que apoya funciones vitales para la sociedad —como la salud, educación, etc.—; su renovado papel en la economía dada la transición energética mundial hacia fuentes energéticas más limpias —ambos temas abordados en el capítulo 1—; y por su amplitud en términos de tamaño geográfico específicamente en el caso mexicano ya que este abarca casi la totalidad de la población en México. Estas cualidades le conceden la importancia para ser llamado sistema energético vital, dados sus riesgos de interrupción visualizados en años pasados, como los repetidos apagones que sucedieron en California después de la liberalización de su sector eléctrico, y más recientemente en México cuando el clima frío en Texas inhabilitó la transferencia de gas natural hacia México, provocando apagones tanto en Texas —donde incluso hubo pérdidas humanas— como en México —donde no paso de apagones por horas— que afectaron la calidad de vida de las personas y la productividad de las empresas afectadas, vislumbrando que estos riesgos son parte de las vulnerabilidades que puede tener un sistema eléctrico como el mexicano.

Así al corroborar al sector eléctrico mexicano como un sistema energético vital y siguiendo la metodología propuesta por Cherp y Jewell (2014) se distinguen sus posibles vulnerabilidades, concibiendo estas vulnerabilidades como una combinación de la exposición a los riesgos y la resiliencia<sup>78</sup>.

Por consiguiente, se plantea que los riesgos de la seguridad energética difieren respecto el perfil temporal. Es decir, “pueden darse en forma de choques —interrupciones de corto plazo que se desarrollan rápidamente— o tensiones —fenómenos que se acercan lentamente y son más duraderos como el crecimiento implacable de la demanda, el agotamiento de los recursos y el envejecimiento de la infraestructura (Stirling, 2010)—” (Cherp y Jewell, 2014). Igualmente, estos riesgos se distinguen no solo por su naturaleza —como lo han hecho otros estudios contemporáneos de seguridad energética—, sino también por sus orígenes —o fuentes, como los llamó Winzer (2012)—, los cuales pueden ser generados por actores sociales o fuerzas de la naturaleza como lo describe Baldwin (1997; citado en Cherp y Jewell, 2014). Por lo que el origen de los riesgos puede clasificarse en tres perspectivas según Cherp y Jewell (2013):

1) Perspectiva de soberanía, que ve el origen de los riesgos en acciones deliberadas de actores extranjeros, teniendo sus raíces en la ciencia política y centrándose en los intereses, el poder, el

---

<sup>78</sup> Su capacidad para responder a las interrupciones

espacio de maniobra, etc. Esta perspectiva probablemente persista en el futuro a menos que se logren disolver todos los tipos de políticas e intereses energéticos en conflicto a nivel mundial.

2) Perspectiva de robustez, con el origen de sus riesgos en fenómenos naturales y tecnológicos, como la escasez de recursos, el envejecimiento de la infraestructura y los eventos naturales. Riesgos que probablemente se intensifiquen a medida que los sistemas energéticos se vuelvan más avanzados, dinámicos e integrados. Esta perspectiva tiene sus raíces en las ciencias naturales y la ingeniería, centrándose en las probabilidades, la magnitud y los impactos de los eventos.

3) Perspectiva de resiliencia, con el origen de los riesgos en factores sociales, económicos y tecnológicos en gran medida impredecibles, teniendo sus raíces en la ecología, la economía y el análisis de sistemas complejos. Esta perspectiva al no depender de configuraciones específicas de los sistemas energéticos refleja preocupaciones genéricas que surgen de su exposición a factores complejos e inciertos.

Con este contexto y retomando el estado del sector expuesto, se pueden señalar las siguientes vulnerabilidades del sistema eléctrico mexicano: la concentración en el uso de recursos energéticos para generación, la dependencia en la importación de los insumos energéticos para generación tanto en niveles como en proveedores, el bajo crecimiento de las líneas de transmisión y distribución, baja calidad en el servicio, y poca flexibilidad de su capacidad. Cualquier interrupción en alguna de ellas puede causar una interrupción significativa en el sistema eléctrico mexicano — como el bajo acceso a importaciones de gas natural en 2021 que ya ocasiono apagones en el sistema—, además de que ya fueron abordadas en las políticas y retóricas de la seguridad energética nacional, caracterizando así al sistema eléctrico mexicano.

Para complementar esta señalización de vulnerabilidades del sector eléctrico mexicano, se hace uso del marco de evaluación propuesto por Larsen E., Osorio, S. y Ackere, A. (2017) , cuyos objetivos coinciden con los de la presente investigación: 1) Capturar la evolución en el tiempo de la seguridad del suministro eléctrico para evaluar su progreso e identificar a futuro los posibles problemas que pudieran surgir, incluso antes de que se materialicen; y 2) Proporcionar una instantánea de la situación actual con el fin de visualizar y comprender sus debilidades para determinar qué acciones se pueden llegar a requerir. En vista de que como menciona Bompard, un punto clave a considerar, es el hecho de evaluar la seguridad energética cada cierto tiempo, debido a que “[ La evaluación del nivel de riesgo energético, en un momento dado, y su evolución en un horizonte de corto plazo, mediante enfoques basados en la ciencia, son cruciales para definir y mejorar las medidas de defensa y mitigación. Mientras que, en el mediano plazo, el análisis de riesgo relacionado con posibles escenarios alternativos permite que se realice una planeación estratégica en términos de nuevas fuentes y nueva infraestructura].” (Bompard et al., 2017, p. 144). Adicionalmente la flexibilidad de este marco le permite adaptarse a las especificidades del caso mexicano.

Larsen et al. (2017) identificaron doce dimensiones que influyen en el rendimiento de un sistema eléctrico<sup>79</sup>, en las cuales adaptaron métricas existentes o desarrollaron nuevas con el fin de evaluar el rendimiento de cada una de ellas. De las doce dimensiones originales del marco, se seleccionaron

---

<sup>79</sup> La revisión bibliográfica para obtener estas dimensiones —según sus autores— incluyó una amplia variedad de enfoques, desde marcos cuantitativos hasta documentos de políticas, cubriendo de esta forma diferentes aspectos como las fuentes de energía primaria y los usos potenciales de la energía.

para este trabajo únicamente diez —mismas que se utilizarán para crear el índice general de seguridad del sector eléctrico mexicano más adelante—. Al avanzar por cada una de estas dimensiones se señala cuáles son las posibles vulnerabilidades en las que puede incurrir el sistema eléctrico y cuáles son los indicadores que podrían desprenderse para analizar dichas vulnerabilidades.

### 1) Adecuada capacidad de generación

Esta dimensión se refiere a cubrir la capacidad necesaria para satisfacer la demanda interna a corto y mediano plazo con la capacidad de generación existente, evitando un corte en el suministro provocado por falta de infraestructura para generación, es decir, combate una parte de la vulnerabilidad por falta de oferta en la generación, medida a través de la relación entre la capacidad instalada y la demanda máxima. Esta adecuación de la capacidad se ha medido tradicionalmente por el margen de reserva (MR) y el margen de reserva operativo (MRO) ambos indicadores ya utilizados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y cuyos datos se encuentran en las estadísticas energéticas nacionales.

### 2) Resiliencia

Para esta dimensión la resiliencia se define como "la capacidad de reducir la magnitud o duración de eventos disruptivos". Por lo que la efectividad de una infraestructura o empresa resiliente dependerá de su capacidad para anticipar, absorber, adaptarse y recuperarse rápidamente de un evento potencialmente disruptivo. En este sentido, la capacidad de recuperación será referida como la capacidad de los sistemas eléctricos para mantener un suministro eléctrico ininterrumpido ante cambios repentinos en la disponibilidad de recursos.

No obstante, medir la capacidad intrínseca de un país para adaptarse a un cambio repentino es bastante abstracto; ya que como lo mencionan Larsen et al. (2017) "el ejecutar experimentos "reales" para establecer esta capacidad es inconcebible, y los experimentos de simulación solo proporcionan información limitada". Por lo que un país con mayor diversificación en la matriz energética de su sistema eléctrico tendrá una mejor posición para evitar la escasez resultante de eventos externos y fortuitos, reforzando el argumento de no solo medir los riesgos del sistema sino su resiliencia a través del enfoque de vulnerabilidades. De esta forma siguiendo una de las principales recomendaciones por todos los trabajos de seguridad energética, en este trabajo la resiliencia en el sistema eléctrico mexicano es medida como un proxy de su concentración —o diversificación— existente tanto en las tecnologías y capacidad utilizadas en la generación, como en el uso intensivo de sus combustibles y la cantidad de centrales por tipo de tecnología al interior del sistema. Así para obtener dicho nivel de concentración se hace uso del enfoque del índice Herfindahl-Hirschman (HHI) para formular el indicador expresado.

### 3) Fiabilidad

La fiabilidad es entendida en la perspectiva de sistemas, como la capacidad del sistema eléctrico para proporcionar un suministro confiable —refiriéndose generalmente a la calidad del servicio— entendida como la prestación del servicio de forma ininterrumpida, dado que la electricidad es un producto no diferenciado. Esta dimensión genera un mayor entendimiento de las interrupciones brindando principalmente información sobre la cantidad de eventos y la duración de estas. En este caso las métricas más utilizadas por los encargados del funcionamiento de los sistemas eléctricos

en casi todo el mundo son el Índice de duración promedio de interrupción del sistema (SAIDI), y el índice de frecuencia de interrupción promedio del sistema (SAIFI). Estos indicadores no eran utilizados por la CFE para evaluar la fiabilidad en el caso mexicano hasta hace unos pocos años, sin embargo la CFE utilizaba indicadores muy parecidos a los mencionados por lo que en este trabajo también se toman en cuenta dichos indicadores propios de CFE, ya que al abarcar casi el total del periodo de estudio permiten su evaluación a través del tiempo.

#### 4) Flexibilidad de suministro

Los sistemas eléctricos también lidian con desequilibrios a corto plazo o repentinos, ya sea debidos a pronósticos imprecisos de la demanda, problemas técnicos o más recientemente, a la variabilidad inherente de las fuentes intermitentes de generación renovable. Por lo que los generadores con tiempos de respuesta más rápidos —por ejemplo: las plantas de almacenamiento hidroeléctrico y las turbinas de gas de ciclo combinado (CCGT, por sus siglas en inglés)— serán los que pueden y deben satisfacer las fluctuaciones repentinas en la demanda y ayudar a compensar la pérdida de otras opciones de suministro de energía, atacando nuevamente a las vulnerabilidades presentes en la oferta, en este caso referentes a los desfases entre la demanda y la oferta en tiempo real. Para este fin la medida de flexibilidad es la relación entre, la carga flexible disponible —como: el almacenamiento hidroeléctrico y los CCGT— y, la carga máxima suministrada por energías variables (VRES, por sus siglas en inglés) durante el último año. Este indicador cobra mayor relevancia en los países que incorporan cada vez más generación a partir de fuentes intermitentes como la solar y la eólica, debido a que al utilizar estas energías que como su nombre lo indica no suministran energía de manera constante requieren de plantas de respaldo que posean rampas de encendido más veloces para suministrar rápidamente la energía faltante cuando las intermitentes dejan de suministrarla, evitando desequilibrios al interior del sistema.

#### 5) Condición de la red

Esta dimensión se enfoca en las vulnerabilidades presentes en el rendimiento y adecuación de la red. Es decir, el grado en que la adecuación de la capacidad de transporte —en este caso: transmisión y distribución— y el envejecimiento de la red afectan la confiabilidad del sistema. Estos factores a su vez están influenciados por la topología de la red, y la distribución geográfica de los nodos de demanda y oferta. Ya que, con líneas eléctricas congestionadas, la reorganización de los flujos de electricidad en un sistema altamente descentralizado se vuelve cada vez más complicada y puede provocar interrupciones. Aunado a que los sistemas más antiguos que operan cerca de su nivel de saturación tienen más probabilidades de sufrir eventos en cascada.

##### Adecuación de la capacidad de la red

Normalmente las evaluaciones de adecuación de la capacidad se centran exclusivamente en el segmento de generación, sin embargo, la adecuación de la capacidad de la red eléctrica también merece atención, ya que para transportar la electricidad generada se requiere de redes de transmisión y distribución. Existen varios mecanismos para tratar la gestión de la congestión cuando el sistema funciona dentro de un mercado; los dos más utilizados son la división del mercado y la redistribución. En el primero, un mercado se divide en diferentes zonas provocando diferentes precios por zonas, mientras que, en el segundo a algunos generadores cuya potencia contribuye a la congestión, se les pide que produzcan menos y a otros se les pide que aumenten la producción.

Para estos dos casos Alomoush citado por Larsen et al. (2017) propone diferentes indicadores para medir la congestión y su gravedad. Para el primer caso hace uso de los precios zonales y propone un "índice de precios marginales por ubicación" para medir las diferencias entre los precios zonales y el precio marginal sin restricciones. Para el segundo caso, propone el "Índice de carga de congestión total", que es la relación entre la carga de congestión total (TCC por sus siglas en inglés) y la generación total del sistema. Donde TCC expresa la diferencia entre lo que pagan los consumidores —estrictamente por la electricidad, es decir, excluyendo cualquier otra tarifa— y lo que pagan los generadores. Alternativamente, la congestión se puede medir en una sola línea eléctrica crítica. Esto se puede hacer usando el factor de distribución de transferencia de energía, que es el flujo físico en la línea de transmisión en cuestión como una fracción del flujo entre los dos puntos conectados por la línea de energía.

Dado que el mercado eléctrico en México no está tan desarrollado, al igual que los indicadores que emanan de él, en este trabajo se utiliza otro indicador no mencionado por Larsen et al. pero que para el caso mexicano puede aportar información relevante sobre el estado de la red. Este indicador es la longitud de líneas tendidas al interior del sistema o del territorio nacional, tomando en cuenta la capacidad de transmisión. Con este indicador se puede saber si la evolución en la tasa de crecimiento de las líneas de transmisión mantiene una tendencia parecida al crecimiento de la demanda o generación de electricidad, ya que si este no fuera el caso podría vaticinar posibles congestiones futuras.

#### Envejecimiento de la red

Las interrupciones no planificadas debido a fallas del sistema y el aumento de interrupciones planificadas debido a mantenimiento y actualizaciones son más frecuentes en las redes antiguas y con poco o nulo mantenimiento. De tal forma que las inversiones en transmisión y distribución deben apuntar no solo a aliviar la congestión agregando capacidad de transmisión, sino también a modernizar y aumentar la resiliencia de la red. Por lo que la edad de la red es un indicador apropiado del rendimiento actual y los posibles problemas que pudiera presentar la red a futuro.

#### 6) Gestión de la demanda

La seguridad del suministro también se puede mejorar al influir en la demanda, este método es conocido como gestión del lado de la demanda (DSM por sus siglas en inglés) e incluye la conservación de la demanda, la eficiencia del consumidor y el cambio de carga. Con él se complementa la resiliencia de las vulnerabilidades que poseen riesgo de interrupción al buscar la resiliencia no solo en la oferta del sistema sino también en su demanda.

#### Conservación de la demanda

La conservación generalmente se refiere a generar una reducción temporal de la demanda en respuesta a precios más altos u otras presiones externas. Esto puede ser medido restando la demanda interrumpible de la demanda máxima al calcular el margen reducido. En México no es posible observar una reducción en la demanda que se deba a la respuesta por parte de los consumidores a un precio más alto. Esto se debe a que no existe actualmente un mercado eléctrico abierto a todos los consumidores sino solo a aquellos consumidores calificados y avalados por la CRE, por lo que calcular este indicador no es posible debido a que los datos no existen o no son abiertos al público en general.



## Eficiencia

La eficiencia del consumidor es la relación entre el servicio de energía y la energía requerida para brindar ese servicio. Al mejorar la eficiencia en el consumo disminuye la demanda, trayendo consigo mayores márgenes de capacidad disponible y un mayor nivel de seguridad del suministro eléctrico. El indicador más utilizado para medir la eficiencia es la intensidad energética, representado como la actividad económica de un país (PIB) por unidad de electricidad consumida (TWh). No se utiliza el nivel de consumo de electricidad, debido a que su interpretación puede resultar imprecisa en casos donde una disminución en el consumo que se interpretaría como una mejora de eficiencia en realidad fuera el resultado de una recesión económica, por ejemplo.

## Demanda de Flexibilidad o cambio de carga

A diferencia de las medidas de conservación y eficiencia, el cambio de carga no implica una reducción de la demanda, pero ayuda a aliviar el estrés en los sistemas eléctricos durante los picos de demanda u otros desequilibrios en la demanda y oferta. Así cuanto más flexible es la demanda, más carga se puede desplazar cuando sea necesario. En consecuencia, el aumento de la flexibilidad de la demanda también contribuye a la seguridad del suministro eléctrico.

Como métrica de flexibilidad de la demanda, se utilizan estimaciones de la demanda flexible en relación con la demanda total. Como se explicó anteriormente, la carga desplazada no es necesariamente una demanda máxima, sino una demanda que se puede “asignar” de una manera más eficiente para que coincida con el perfil de generación, lo que generalmente conduce a una asignación de recursos más rentable. En este caso la flexibilidad en la demanda ayuda a cumplir con el principal desafío de los planificadores del sistema eléctrico que es la demanda pico anual, debido a que los cambios de carga generalmente conducen a curvas de carga más planas. En México aún no se tiene el indicador para calcular esta demanda flexible y su cálculo no se puede llevar a cabo por la falta de datos de los consumidores respecto a que demanda pueden desplazar a otros horarios más rentables y eficientes.

### 7) Eficiencia regulatoria

La regulación debe buscar asegurar el buen funcionamiento de los mercados eléctricos, por lo que su objetivo es enviar las señales correctas tanto a los inversores como a los consumidores en el momento adecuado. Por lo que esta dimensión está enfocada en el desempeño del mercado y observar la necesidad de proporcionar incentivos a los generadores convencionales. Las vulnerabilidades en esta dimensión abarcan tanto riesgos para el suministro continuo como riesgos en la asequibilidad requerida para el funcionamiento del sistema.

## Funcionamiento del mercado

Como en cualquier mercado se debe prevenir la existencia de todo tipo de poder de mercado, para evitar distorsionarlo. Para saber si existe este poder de mercado los indicadores generalmente utilizan el enfoque HHI, que permite medir la concentración existente entre las plantas o empresas generadoras. Un valor alto en estos indicadores indica una alta concentración y posible poder de mercado por parte de las plantas o empresas, lo que conducirá probablemente a precios más altos, afectando la asequibilidad de los consumidores.

## Incentivos para generadores convencionales

Las presiones ambientales junto con el nivel de costo no competitivo de las VRES hasta hace poco condujeron a los responsables políticos a nivel mundial a proporcionar incentivos para estos tipos de tecnologías. Sin embargo, estos incentivos a las VRES han conducido a una menor demanda residual de generadores térmicos, volviéndolos económicamente inviables. Olvidando por completo que estos se requieren para equilibrar el sistema eléctrico y como respaldo durante condiciones climáticas adversas, afectando su asequibilidad para el funcionamiento y repercutiendo como posibles interrupciones de suministro.

Lo que ha desembocado en la implementación de diferentes formas de apoyo para la generación térmica, llamadas dentro de la regulación como mercados de capacidad, pagos de capacidad y reservas estratégicas. De esta forma el porcentaje de la tarifa asignada para soportar generadores convencionales, es decir, generadores hidroeléctricos, nucleares y térmicos, mide el soporte requerido para mantener estas tecnologías en línea.

### 8) Sustentabilidad

Es reconocido que los compromisos ambientales tienen un impacto considerable en la seguridad del suministro, debido a las importantes transformaciones e inversiones necesarias para reducir el impacto ambiental de los sistemas energéticos. Por otro lado, la mayoría de los estudios relacionados con el aspecto económico de sostenibilidad se centran en el hecho de que la energía debe ser asequible para los consumidores, teniendo una menor atención la visión del lado de la oferta: la cual busca que la producción de energía sea lo suficientemente rentable para garantizar la disponibilidad de instalaciones que puedan producir y transportar la energía. En este sentido recordemos que la disponibilidad de energía es una de las dimensiones que recibe mayor atención en los estudios de seguridad energética con un marcado enfoque a la existencia de recursos —lo cual es particularmente importante en los mercados de combustibles fósiles dado el carácter agotable de estos— pero confiar únicamente en ellos para generar electricidad pone en peligro la disponibilidad futura de la electricidad. Por lo que la sustentabilidad en su caso más reducido deberá ser evaluada según Larsen et al. cuando menos utilizando cuatro aspectos de la sostenibilidad: sostenibilidad ambiental, asequibilidad, rentabilidad y dependencia de los combustibles fósiles.

#### Sostenibilidad del medio ambiente

Aún no es claro en la discusión mundial si la sostenibilidad ambiental debe ser incorporada en la definición de seguridad energética, ergo, como una dimensión de la seguridad del suministro eléctrico. Para el caso de este trabajo en específico y debido a las metas que se ha impuesto el gobierno mexicano y las afectaciones derivadas del ambiente cada vez más claras en la producción y el consumo de energía<sup>80</sup>; por ejemplo, el efecto del cambio climático sobre los patrones y

---

<sup>80</sup> Hay estudios que han evaluado los efectos del cambio climático en la demanda de combustibles un ejemplo es el de Eskeland y Mideksa quienes muestran que en Europa un aumento de la temperatura dará como resultado una demanda de electricidad significativamente mayor. Eskeland, G.S., Mideksa, T.K. (2010). Electricity demand in a changing climate. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 15, 877–897. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9246-x>

disponibilidad del agua<sup>81</sup>, es adecuado incorporar la sostenibilidad ambiental a la evaluación de la seguridad del suministro eléctrico con el fin de secundar el avance hacia un desarrollo más sostenible<sup>82</sup>. Por lo tanto, la sostenibilidad ambiental se evalúa con base a las emisiones generadas por el sector, debido a que la generación y transformación de la energía es considerada una de las actividades más contaminantes y que en mayor medida inducen el cambio climático, aunado a la complejidad de medir hasta qué punto los impactos ambientales afectan de manera directa o indirecta el sector eléctrico. Por consiguiente, el indicador se enfoca en el impulsor del cambio climático, es decir, las emisiones generadas por el sector eléctrico, por lo que mide las emisiones anuales de carbono por unidad de producción (TWh), haciendo de este un aspecto ambiental directamente medible.

### Asequibilidad

Una métrica adecuada de asequibilidad debe relacionar los costos de los combustibles con los ingresos de los consumidores, por ejemplo, calculando la relación entre los costos de los combustibles y el PIB, o de forma más específica como el porcentaje de los gastos en combustible en los ingresos de los hogares. De esta forma, la métrica podría quedar como los costos de los energéticos para generación eléctrica respecto al PIB o como la relación entre el costo promedio de electricidad por hogar y el salario medio de los hogares. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que comparar el costo de la electricidad con el ingreso medio en un país con alta desigualdad de ingresos —como es el caso de México— podría proporcionar una visión engañosa de la asequibilidad.

### Rentabilidad

Por el lado de la oferta, la sostenibilidad económica debe reflejar la adecuación de los ingresos de los generadores<sup>83</sup>, los cuales dependen en su mayoría de los costos, las tasas de rentabilidad y de retorno, y los precios. Ya que sin un ingreso que permita su funcionamiento con rentabilidad, éstos generadores eventualmente dejaran de generar electricidad provocando una menor flexibilidad en el sistema eléctrico que se traducirá en afectaciones a los consumidores, perjudicando su acceso al servicio. Por esto es importante distinguir entre generadores de carga base y de carga pico. Ya que es probable que los generadores de carga base sean rentables debido a que seguramente el precio

---

<sup>81</sup> De acuerdo con van Vliet et al. más de dos tercios de las centrales hidroeléctricas enfrentarán una reducción en su capacidad debido a la reducción de las entradas y al aumento de la sedimentación. Por su parte las plantas termoeléctricas también se verán afectadas ya que utilizan grandes cantidades de agua para sus sistemas de enfriamiento. Dado que el 98% de la generación mundial proviene de estas dos fuentes, este impacto no debería ser ignorado. van Vliet, M., Wiberg, D., Leduc, S. et al. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Clim Change* 6, 375–380. <https://doi.org/10.1038/nclimate2903>

<sup>82</sup> Visión plasmada en las metas autoimpuestas por el país en la Ley de Transición Energética: Fracción VI del Art. 2 de la Ley de Transición Energética que establece: “Reducir, bajo condiciones de viabilidad económica, la generación de emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica”. Artículo Tercero Transitorio de la Ley de Transición Energética.- La Secretaría de Energía fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25 por ciento para el año 2018, del 30 por ciento para 2021 y del 35 por ciento para 2024.

<sup>83</sup> Una disminución en los precios no necesariamente reduce la rentabilidad de los generadores, ya que puede deberse al progreso tecnológico, obteniendo un uso más eficiente del combustible. Del mismo modo, un aumento de los precios como resultado de los cambios en los precios del petróleo y el gas o los tipos de cambio no necesariamente aumenta la rentabilidad de los generadores. Estos generadores “pico” enfrentan condiciones de mercado cada vez más difíciles debido a la mayor penetración de VRES subsidiados, los cuales no solo bajan los precios de generación, sino también la carga residual.

supera en gran medida sus costos marginales. En cambio, los productores marginales, es decir, las unidades pico, tienen horas de producción relativamente cortas y, en ocasiones, estos solamente pueden recuperar sus costos marginales, dejándolos sin margen para cubrir sus costos fijos. De tal forma que la rentabilidad de estos generadores es realmente importante ya que el tener períodos prolongados de rentabilidad insuficiente puede traer como resultado pocas o ninguna inversión en nueva capacidad, e incluso se podrían esperar problemas en su funcionamiento o cierres anticipados, llevando a una escasez en el sistema. Para intentar medir la rentabilidad de ambos generadores —convencionales y de pico— se puede utilizar su factor de carga respectivamente. Donde una disminución significativa en su factor de carga fungiría como una alerta temprana de posibles riesgos a futuro<sup>84</sup>.

#### Dependencia de combustibles fósiles.

Como se ha mencionado la disponibilidad de energía es la dimensión que recibe mayor atención en los estudios de seguridad energética, por esta razón en este trabajo se proponen los indicadores más utilizados en la literatura por tipo de combustible fósil empleado en la generación de electricidad: 1) la relación entre la generación por tipo de tecnología —en este caso únicamente aquellas que empleen combustibles fósiles— respecto a la generación total, 2) los años de reserva por combustible fósil, el cual es la relación entre las reservas existentes entre el consumo anual del energético en cuestión, 3) la tasa de restitución de reservas por combustible fósil, 4) la autosuficiencia por tipo de combustible fósil y, 5) el consumo del combustible fósil en el sector eléctrico respecto a la oferta nacional de ese combustible.

Por último, al ser los combustibles fósiles un patrimonio finito, eventualmente se requerirá del reemplazo de la generación basada en este tipo de combustibles. Por lo que serán necesarias políticas que permitan reemplazar el uso de carbón, petróleo y gas natural por tecnologías de generación renovables en el largo plazo. Esto también puede ser ayudado por medio del progreso tecnológico en la generación y almacenamiento de electricidad, sin embargo, actualmente no es posible hacerlo y los avances tecnológicos a futuro son difíciles de predecir. Por lo que el indicador únicamente llevará el registro de como se ha avanzado en esta meta final de largo plazo de sustituir la generación con combustibles fósiles con una generación renovable, para lo cual se medirá la participación en la generación actual basada en fósiles y la generación por fuentes renovables tomando en cuenta su potencial de expansión, para saber si se han cumplido las metas del gobierno o en qué nivel se encuentran.

#### 9) Geopolítica

Actualmente la dependencia del gas importado para electricidad es reconocida como una amenaza para la seguridad del suministro eléctrico, como ejemplos se puede observar a Europa con el gas de Rusia y a Argentina con el gas de Bolivia. De igual forma la dependencia en la electricidad importada puede representar una amenaza al disminuir los incentivos a la inversión de largo plazo en una región determinada. Por esta razón el grado en que el sistema energético de un país pueda ser vulnerable dependerá de la concentración de sus importaciones. En consecuencia, dentro de esta

---

<sup>84</sup> Al no tener los costos e ingresos de las empresas, se asume que entre más tiempo se encuentren en funcionamiento mayor será su probabilidad de recuperar sus costos y ser rentables.

dimensión de geopolítica se distinguen dos subdimensiones: dependencia y vulnerabilidad de las importaciones de energéticos fósiles.

#### Dependencia de las importaciones

Con este indicador se busca capturar hasta qué punto las importaciones son necesarias para satisfacer la demanda local. Dentro de este se busca incluir las importaciones de combustibles primarios utilizados para la generación de electricidad —por ejemplo, gas, carbón y petróleo—, así como las importaciones directas de electricidad. En este sentido cuanto mayor sea el porcentaje importado de cada combustible para satisfacer la demanda nacional, el país será más dependiente. En este análisis es esencial tomar en cuenta las relaciones con los países exportadores y la balanza comercial con cada uno de ellos.

#### Vulnerabilidad

La vulnerabilidad dependerá de los volúmenes importados y el número de proveedores que facilitan estas importaciones. Ya que un país podría estar en grave peligro si surgen problemas políticos o condiciones climáticas extremas con los países exportadores. Para medir esta dimensión se pueden utilizar dos métricas: 1) La relación entre las importaciones y la oferta nacional de cada energético y 2) la relación entre las importaciones y la demanda de cada energético en el sistema eléctrico nacional.

#### 10) Acceso

Para muchos países en desarrollo es necesario el seguimiento continuo de la proporción de la población que tiene la posibilidad física de conectarse a la red y recibir electricidad, es decir, el acceso a la energía con el que cuenta un país.

A partir del origen de los riesgos en seguridad energética y del marco de evaluación propuesto por Larsen et al. (2017) se puede inferir que las posibles vulnerabilidades del sector eléctrico mexicano se pueden resumir en:

- **No cubrir la capacidad necesaria** para satisfacer la demanda interna a corto y mediano plazo con la capacidad de generación existente, es decir, que la oferta de capacidad para generación eléctrica sea menor a la solicitada por la demanda de los distintos consumidores. Lo cual requiere adecuar la capacidad y puede supervisarse a través del Margen de Reserva y el Margen de Reserva Operativo, además de beneficiarse del desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia de generación, traduciéndose en mayor generación con menos capacidad instalada.
- **No mantener un suministro eléctrico ininterrumpido** ante cambios repentinos en la disponibilidad de recursos energéticos, es decir que, a falta de insumos energéticos (combustibles como el carbón, gas natural, combustóleo) la generación eléctrica no cubra la demanda de electricidad. La resiliencia ante estos eventos puede mejorarse por medio de una mayor diversificación, tanto en las tecnologías utilizadas en la generación, como en

el uso intensivo de sus combustibles y la cantidad de centrales por tipo de tecnología al interior del sistema.

- **Falta de calidad en el servicio**, entendida como la prestación del servicio de forma ininterrumpida dado que la electricidad es un producto no diferenciado. En este caso los eventos de interrupción son generados entre otros por una mala gestión y operación del sistema, mantenimientos mal coordinados, baja inversión y obsolescencia de equipos, etc. Por lo que, al considerar las interrupciones como afectaciones en la calidad del servicio, la cantidad de eventos y la duración de estas afectaciones a los usuarios finales pueden monitorearse por medio del SAIFI y SAIDI respectivamente.
- **Variabilidad inherente de las VRES y desequilibrios repentinos a corto plazo** debidos a pronósticos imprecisos de la demanda o problemas técnicos. La forma de generar resiliencia ante estos eventos —generalmente imprevistos— es disponiendo de una mayor carga flexible disponible en el sistema. Ésta mayor carga flexible, entendida como aquella capacidad que posee tiempos de arranque cortos, es puesta en operación tan pronto se presenten los eventos repentinos, reduciendo las afectaciones al sistema.
- **Rendimiento y adecuación de la red**, así como el envejecimiento de ésta que afectan la confiabilidad del sistema. En los riesgos por el lado del rendimiento y adecuación de la red se hace referencia principalmente a líneas eléctricas congestionadas, reorganización de los flujos de electricidad y operación cerca de su nivel de saturación, riesgos que generan más probabilidades de sufrir eventos en cascada. Para monitorear las vulnerabilidades del sistema eléctrico mexicano, en esta investigación se propone el uso de la tasa de crecimiento en la longitud y la capacidad de transmisión de las líneas tendidas al interior del territorio nacional, la cual deberá ser igual o mayor a la tasa de crecimiento de la generación eléctrica<sup>85</sup>, asumiendo que si estas crecen cuando menos al mismo ritmo la gestión en las líneas de transmisión deberá ser menor.
- **Concentración en el uso de recursos energéticos** para generación, es decir, que la generación de electricidad provenga en su mayoría de uno o unos pocos energéticos. Esto se combate generando mayor diversificación en las tecnologías de capacidad instaladas lo que generará una mayor diversificación en el consumo energético para generación eléctrica.
- **Dependencia de combustibles fósiles**, los cuales se agotan cada vez más rápido por la mayor demanda energética mundial y al ser considerados como energéticos no renovables debido al tiempo necesario para que estén disponibles nuevamente.
- **Altos niveles de dependencia en la importación** de insumos energéticos para generación, tanto en niveles como en proveedores. Como las existencias de energéticos principalmente de origen fósil no se encuentran repartidas en todos los países y en las mismas proporciones, generalmente se espera que los países hagan uso de los energéticos que se encuentran al interior de su territorio para reducir al mínimo la vulnerabilidad que la dependencia de combustibles importados pueda generar ante interrupciones de indistinta índole en su suministro.
- **No estar preparado para transformaciones e inversiones necesarias** para reducir el impacto ambiental de los sistemas energéticos. Además de lo expuesto anteriormente, en

---

<sup>85</sup> Debido a la escasez de datos requeridos por los indicadores propuestos en el marco de evaluación de Larsen et al. (2017)

general muchos de los energéticos que no se importan tampoco emiten emisiones contaminantes durante su uso, o estas son mínimas comparadas con los otros energéticos, reduciendo vulnerabilidades pocas veces visualizadas al ser originadas por el cambio climático, del cual el sector eléctrico es uno de los principales contribuyentes a su desarrollo.

- **Falta de asequibilidad** para los consumidores y rentabilidad para los generadores. Sin la existencia de servicios de respaldo por falta de rentabilidad de los generadores, existe un riesgo latente de desconexiones de la red al reducir la oferta de generación, la cual no puede hacer frente a eventos disruptivos o a la demanda máxima, derivando en un suministro eléctrico con interrupciones. Así mismo la búsqueda de rentabilidad por parte de los generadores no significa que la asequibilidad de los consumidores sea descuidada ya que si un porcentaje alto de los ingresos de los consumidores se destina al consumo energético probablemente no cubran la totalidad de sus necesidades energéticas, contradiciendo el fin principal de utilizar energía para el desarrollo de las economías y de las personas.
- **Falta de acceso a la electricidad por parte de la población.** Sin acceso a la electricidad la población en general no puede cubrir sus necesidades básicas, ni efectuar sus derechos. Por esta razón y aludiendo al término vital que engloba la importancia histórica del sector se debe buscar que el sistema eléctrico cubra al 100% de la población.

Con este resumen, se constata que las vulnerabilidades mencionadas anteriormente son lo suficientemente específicas para hacer eco de las preocupaciones de seguridad energética actuales e históricas del sistema eléctrico mexicano y se refuerza el argumento de analizarlas como vulnerabilidades y no solo como riesgos debido a que distinguir entre las distintas capacidades de riesgo y las capacidades de resiliencia no siempre puede hacerse en la realidad, por lo que a veces estas dos solo pueden analizarse de forma combinada. Muchas veces, para obtener información sobre las causas de las vulnerabilidades potenciales de los sistemas de energía vital se requiere de una comprensión detallada de cómo funcionan estos sistemas, razón por la cual en el capítulo dos se explica el desarrollo del sector eléctrico mexicano antes de 1990 y de 1990 a 2016, que otorgó el contexto necesario para decidir de forma sistemática y transparente, cuales vulnerabilidades utilizar —y cuáles excluir— en la evaluación. Vulnerabilidades que aún serán confirmadas con el uso de algunos indicadores de seguridad energética y de seguridad del sector eléctrico.

## Estadísticas e indicadores de seguridad energética nacional y del sector eléctrico mexicano.

Vislumbradas las posibles vulnerabilidades del sector eléctrico, se validan con el uso de indicadores de seguridad energética que reflejen estas vulnerabilidades. Varios de estos indicadores se seleccionaron de los sugeridos en la abundante literatura, mientras que otros se diseñaron específicamente para el propósito de esta evaluación particular<sup>86</sup>. No obstante, se debe tener

---

<sup>86</sup> Selección y diseño guiado por la pregunta ¿qué tan bien representan un riesgo o vulnerabilidad particular del sistema eléctrico nacional?, analizado como un sistema energético vital y sobre la base de los datos disponibles.

presente que un indicador rara vez es una medida directa de un riesgo o una capacidad de resiliencia, ya que son proxys cuantitativos que ofrecen una señal sobre el estado de un sistema energético complejo y dinámico. También cabe aclarar que un solo indicador puede señalar la presencia de varias vulnerabilidades, p. ej. la dependencia de las importaciones refleja la exposición a cortes de suministro deliberados y volatilidad de precios. De manera similar, una vulnerabilidad puede reflejarse en varios indicadores, p. ej. el riesgo de apagones se refleja en la frecuencia histórica, la antigüedad de las centrales eléctricas, la capacidad disponible y la diversidad de generación de electricidad.

Por lo que los indicadores para evaluar la seguridad del sector eléctrico, dentro del enfoque de sistemas energéticos vitales, deben cubrir los siguientes criterios: 1) Ser relevantes para las preocupaciones de seguridad energética actuales e históricas; 2) Ser calculables a partir de datos disponibles y significativos; 3) Proporcionar información adicional a la proporcionada por otros indicadores; 4) Reflejar las vulnerabilidades clave del sistema eléctrico; 5) Ser lo suficientemente genéricos para ser aplicables ante cambios de largo plazo que afecten el funcionamiento actual del sistema.

De tal suerte que en esta investigación se presentan indicadores clasificados según: 1) intensidad de los energéticos; 2) Agotamiento Geológico, Dependencia y Diversificación; 3) Infraestructura y Resiliencia. Los indicadores permiten mostrar de forma más entendible la transformación del sector durante el periodo de tiempo seleccionado — 1990-2016 —. Con este fin, la clasificación presenta primero los indicadores de seguridad energética nacional que dan contexto e introducen a los principales energéticos utilizados en el sector energético mexicano; segundo, la demanda de electricidad que debe ser cubierta para el funcionamiento del país; tercero, los principales energéticos con los que se genera, sus precios y los recursos energéticos propios del país; cuarto, las importaciones de energéticos para generación y la concentración en el uso de combustibles; quinto, los niveles de infraestructura tanto para generación como transmisión y distribución, y las tecnologías utilizadas; y sexto, finaliza con los niveles de resiliencia presentes en el sistema, los cuales brindan seguridad en el funcionamiento del sector eléctrico ante posibles alteraciones.

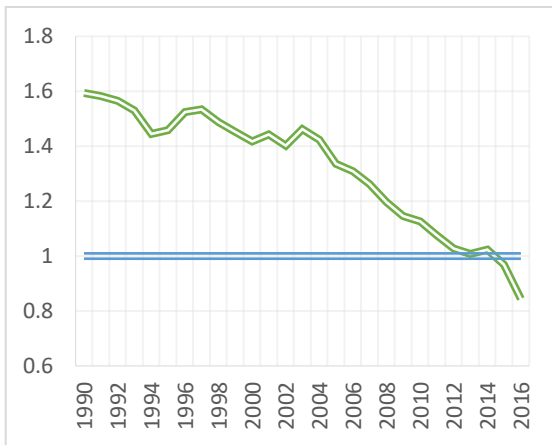
Después del descubrimiento de yacimientos de petróleo en México a finales del siglo XIX y su continua explotación después de la nacionalización en 1938, México basó sus requerimientos energéticos en el petróleo como el resto del mundo. En la década de los 70's con el descubrimiento de Cantarell, el segundo pozo mundial más grande descubierto hasta la fecha, después de Ghawar al este de Arabia Saudita, el país poseyó reservas suficientes para cubrir completamente su demanda energética, generando de esta forma independencia respecto al resto del mundo debido a que dejó de importar un aproximado de 6,000 barriles diarios, para exportar 37,000 unidades diarias en el año de 1979<sup>87</sup>. Con este descubrimiento México retornó a la categoría de país exportador neto de crudo y al séptimo lugar como productor mundial de petróleo.

---

<sup>87</sup> <https://www.forbes.com.mx/ascenso-y-descenso-de-la-industria-petrolera-de-mexico/>

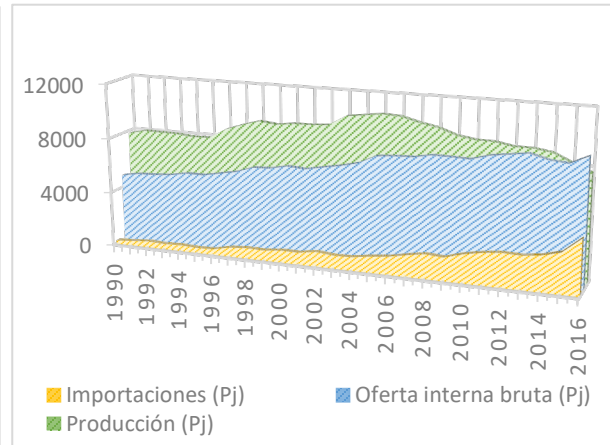


Gráfico 3.2 Autosuficiencia energética nacional



Fuente: Elaboración propia con datos del SIE

Gráfico 3.1 Oferta interna, producción e importación de energía total (Pj)



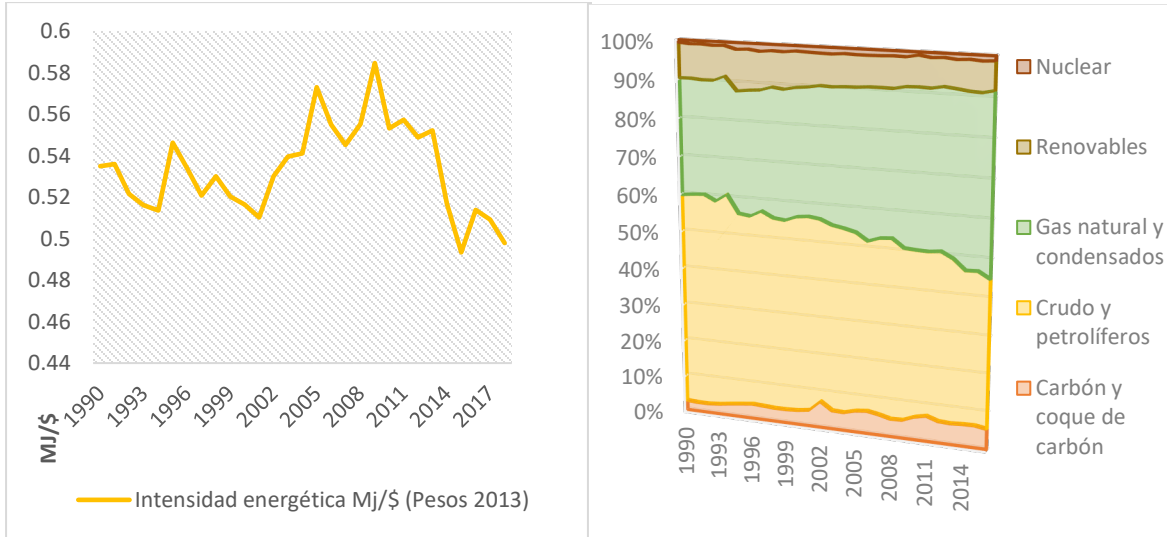
Fuente: Elaboración propia con datos del SIE

A partir de esta época México gozó de una seguridad energética total ya que producía una cantidad mayor de energéticos de la que requería, al menos así es visto por los distintos índices de seguridad energética construidos por autores externos, quienes observan los requerimientos energéticos de forma macro y no a un nivel de detalle de requerimientos por fuente de energía. Esta visión internacional de la seguridad energética se basa en que, con la producción de petróleo alcanzada, el país podría importar los demás energéticos que le hicieran falta.

Por lo tanto, como se puede observar en los Gráficos 3.1 y 3.2, México producía 50% más de la energía demandada por el país a principios de los años 90's, manteniendo un crecimiento en la producción de energía casi a la par que el crecimiento de la demanda energética nacional, por lo que el nivel de autosuficiencia se mantuvo en un rango de 1.6 y 1.4 hasta el año 2004, año en que Cantarell alcanza su máximo productivo y comienza el declive del campo petrolero. Después de este año, la producción total de energía decae mientras que la demanda energética nacional no cede — como en cualquier país en vías de desarrollo —, por lo que en el año 2014 apenas y se conserva el nivel de autosuficiencia al producir un 2% más del necesario energéticamente. Y es a partir del año 2015 que después de casi cuatro décadas México pierde autosuficiencia y comienza a depender de las importaciones, como se muestra en el Gráfico 2.2 donde se observa que las importaciones mantuvieron una tendencia muy parecida al desarrollo de la oferta interna, al crecer en el periodo de estudio a una tasa media anual de 11.3%.

## 1) Intensidad de los energéticos

Gráfico 3.3 Intensidad energética nacional (Mj/\$) Gráfico 3.4 Oferta energética nacional por tipo de fuente (Pj)



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE y BM

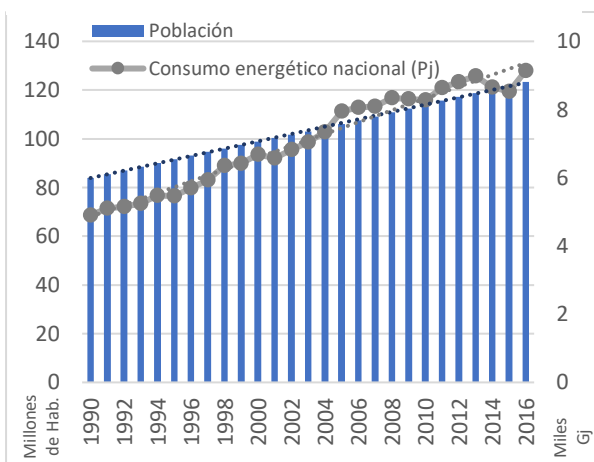
Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

Respecto a la intensidad energética del país en el Gráfico 3.3 se observa que ésta ha fluctuado con tendencia a la baja, principal y más notoriamente desde el año 2013, año en que se publica la reforma energética, no obstante al ser apenas su publicación en ese año no se le puede atribuir esta reducción en la intensidad energética en sí, ya que probablemente se deba a la reducción de pérdidas no técnicas en la electricidad por un lado, así como a factores económicos como la lenta, titubeada y estancada recuperación del PIB desde 2015, que trajo consigo su debida reducción en el uso de energéticos.

En el caso de la oferta interna (Gráfico 3.4), se observa la relevancia que en el consumo energético al interior del país y con el pasar de los años adquiere el gas natural, junto la cada vez más reducida participación del petróleo y sus derivados, generada por el decaimiento de su producción, así como el inicio de la transición energética hacia fuentes renovables o menos contaminantes. De igual forma se puede observar que el carbón presenta un mayor uso en el consumo energético actual del país respecto a 1990.

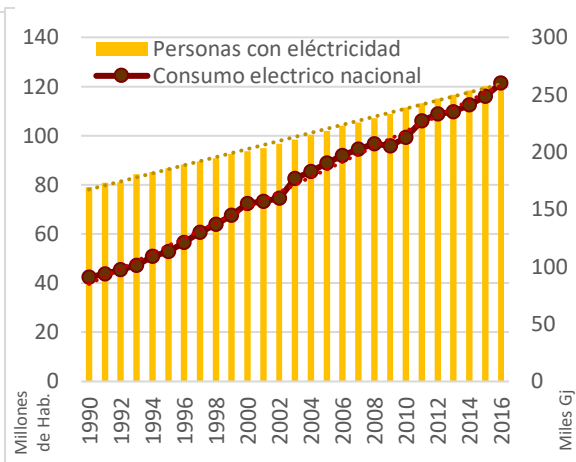
Por otro lado, al aumentar la población se espera crezca la generación de energía que satisfaga el aumento en el consumo energético producto de los requerimientos energéticos de los nuevos habitantes. Para el periodo de estudio (1990 – 2016) el incremento en la población se dio a una tasa media anual de crecimiento del 1.56% por lo que se esperaría un aumento en la oferta energética relativamente mayor al crecimiento reportado en la población pero que junto con una pequeña mejora en la intensidad energética no debiera representar un incremento sustancial en el consumo energético per cápita.

Gráfico 3.5 Población y consumo energético



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

Gráfico 3.6 Habitantes con energía eléctrica y consumo eléctrico per cápita

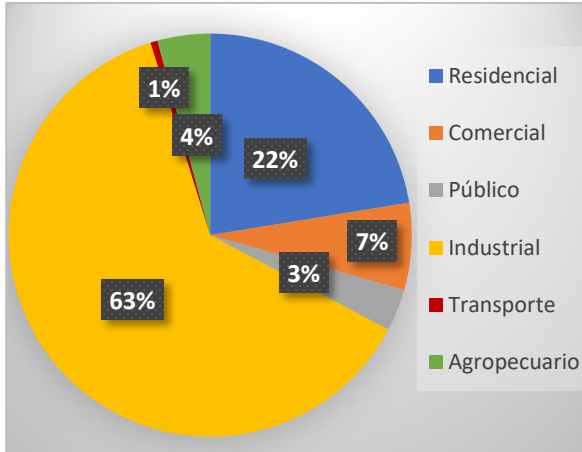


Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

Lo anterior se verifica en el Gráfico 3.5 donde se observa que el consumo de energía nacional mantuvo una tendencia de crecimiento mayor al crecimiento de la población, al mantener un crecimiento relativamente constante sin que esto signifique revertir o acelerar la tendencia de crecimiento del consumo, derivado de la mejora en la eficiencia energética del país provocado por una menor intensidad energética. Mismo caso en el Gráfico 3.6 donde se observa que el consumo de electricidad aumenta más rápidamente que la cantidad de personas que cuentan con el servicio, que al año 2017 se situaba en 98.6% del total de la población. Lo anterior derivado de que la población ha comenzado a consumir energías de mayor calidad como la electricidad que elevan su calidad de vida, por lo que mientras México sea un país en vías de desarrollo un aumento en el consumo de electricidad per cápita relativamente moderado y un mayor consumo de energía pueden y deben mantenerse.

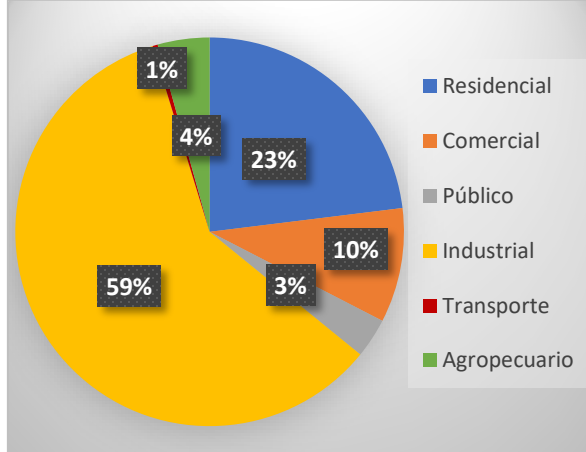
En el caso de los sectores, un mayor y pronunciado consumo de energía significa que ese sector o crece más que la economía y que la oferta energética o que aumenta su intensidad energética esto es, crece su ineficiencia. Como se observa en los Gráfico 3.7 y 3.8 el mayor consumo de energía eléctrica se realiza en el sector industrial. Al comparar ambas gráficas, se ve que la industria ha mejorado su consumo en la última década al reducir su participación en el consumo eléctrico nacional en cuatro puntos porcentuales, mientras que el sector comercial ha tomado casi la totalidad de esta participación no consumida por la industria. Este incremento del sector comercial se debe principalmente a que el país se ha enfocado en los últimos años en ofrecer y consumir servicios, provocando una mayor demanda de energía eléctrica por parte de estos. Respecto al consumo residencial, también incremento su participación en el consumo nacional de electricidad en 1%. Por otro lado, también es fácil de observar en el gráfico que el sector transporte casi no utiliza energía eléctrica, lo cual se espera pueda revertirse en el futuro dada la transición energética mundial en la que México debe ser participe.

Gráfico 3.8 Participación de los sectores en el consumo de electricidad. Año 2005



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

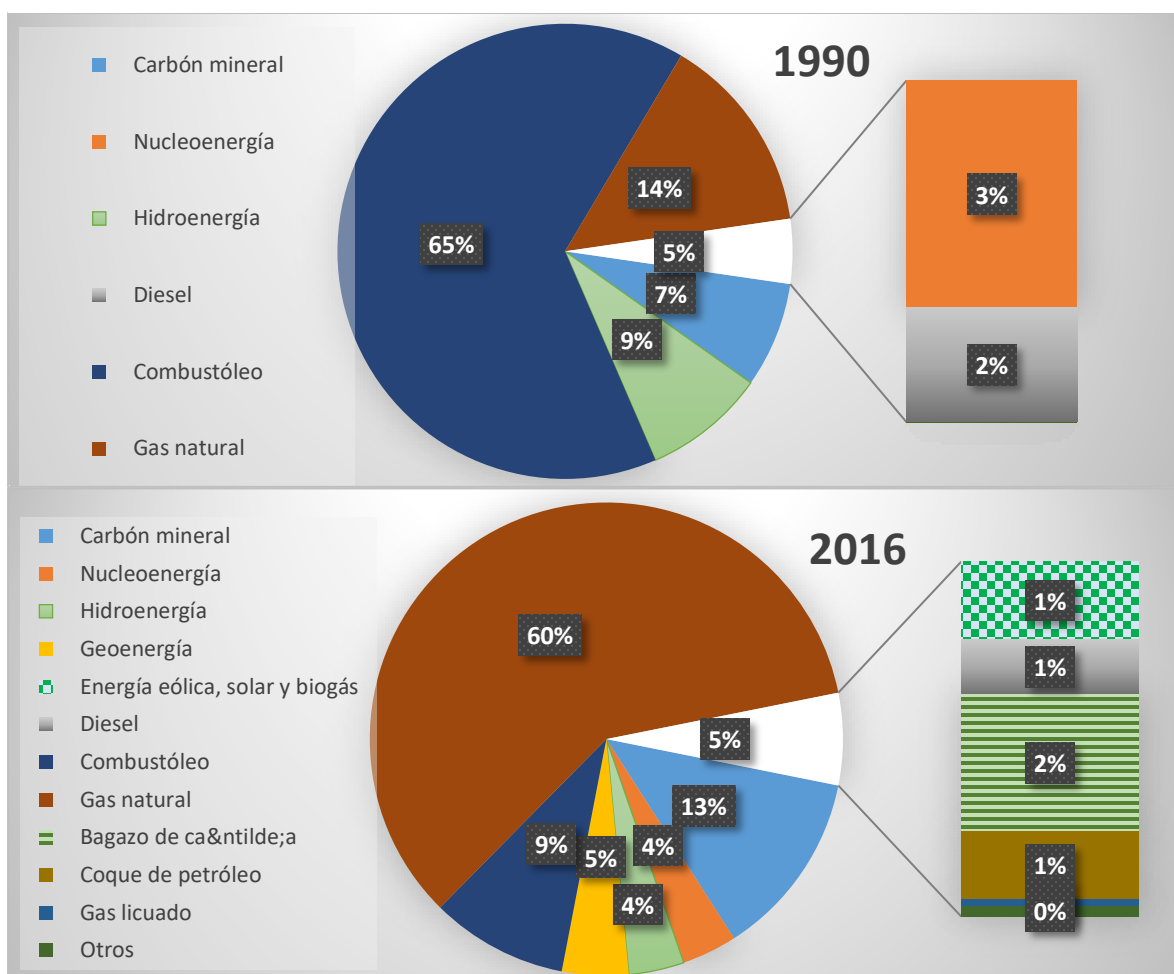
Gráfico 3.7 Participación de los sectores en el consumo de electricidad. Año 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

Junto con el análisis del consumo de energía eléctrica por sectores es conveniente resaltar el consumo de las distintas fuentes de energía que nos permita saber su intensidad en el uso para generación, en este caso se compararon tanto el consumo de energías primarias como secundarias para generación de electricidad del año 1990 y 2016 (Gráfico 3.9), los cuales resultan contrastantes y muestran claramente el cambio en la política energética en el ámbito de la transición energética con el gas natural como combustible óptimo para la generación eléctrica dadas sus bajas emisiones contaminantes comparadas contra los demás combustibles fósiles.

Gráfico 3.9 Consumo energético en el sector eléctrico. Años: 1990, 2016.



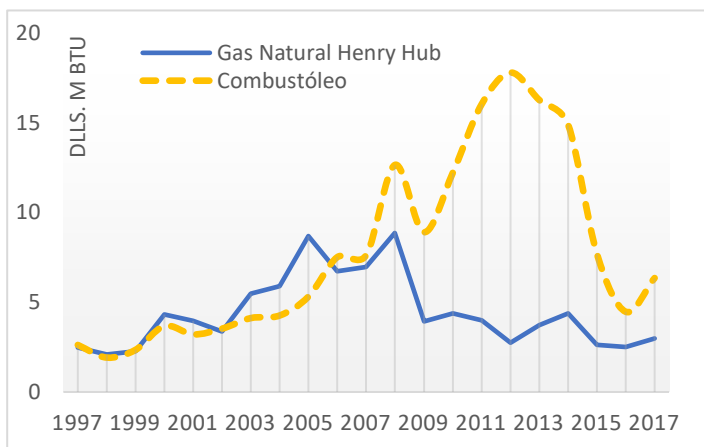
Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Los cambios en el uso de energéticos para generación eléctrica en el Gráfico 3.9 son claros, se comenzó en los primeros años de la década de los 90's con la reducción en el uso del combustóleo para la correcta integración energética con América del Norte. Ya en la primera década de los 2000, gracias al interés por la transición energética se comienzan a promover algunas fuentes renovables, entre ellos el gas natural como energético óptimo para la transición<sup>88</sup>. Y una vez que EUA está por volverse exportador neto y superavitario en gas natural gracias a su producción por medios no convencionales —que también ha provocado bajos costos en la producción de gas natural en la zona Henry Hubb (Gráfico 3.10)—, el cambio en el consumo de combustibles para generación eléctrica es drástico, revelando que la vulnerabilidad por concentración en el uso mayoritario de un solo energético simplemente sufrió un cambio de energético. No obstante, es claro que el consumo de energéticos para generación también se fue diversificando, ya que se ve una mayor participación de las energías renovables como la geenergía, la eólica, solar, bagazo de caña, así como incrementos en la energía nuclear y el uso nuevamente de carbón mineral.

<sup>88</sup> Ya qué cumple con la fracción VI del Art. 2 de la Ley de Transición Energética que establece: “Reducir, bajo condiciones de viabilidad económica, la generación de emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica”.

Como se mencionó, en ambos periodos se puede notar una dependencia alarmante en el uso de dos combustibles. Para el año 1990 el combustóleo representaba el 65% del consumo energético para generación eléctrica, el cual era satisfecho con una producción nacional elevada que permitía cubrir sin problema los requerimientos del sector eléctrico. En el caso del año 2016 es aún más alarmante esta dependencia —a pesar de que se consume un 5% menos que la intensidad del combustóleo en 1990— debido a que la producción de Gas Natural en México comenzó a decaer a partir del año 2010, por lo que no alcanza a satisfacer los requerimientos del sector eléctrico ni del consumo privado.

Gráfico 3.10 Precios del combustóleo y Gas Natural



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE y EIA

Es así que desde los años 90's la oferta nacional de gas natural se ha apoyado en una cada vez mayor importación del combustible. Siendo esta oferta nacional de gas natural sustentada en cerca del 60% por las importaciones del energético en el año 2016, provenientes en su mayoría del país vecino del norte. Dejando a México en un nivel de dependencia externa y posible vulnerabilidad energética en el caso de que EUA tomará la decisión de exportar hacia México una cantidad menor de gas natural o que las relaciones comerciales existentes como es el caso del T-MEC<sup>89</sup> se rompieran —como ya sucedió con el TLCAN—, dificultando enormemente el flujo y tiempo requerido para las exportaciones provenientes desde EUA<sup>90</sup>.

## 2) Agotamiento Geológico, Dependencia y Diversificación

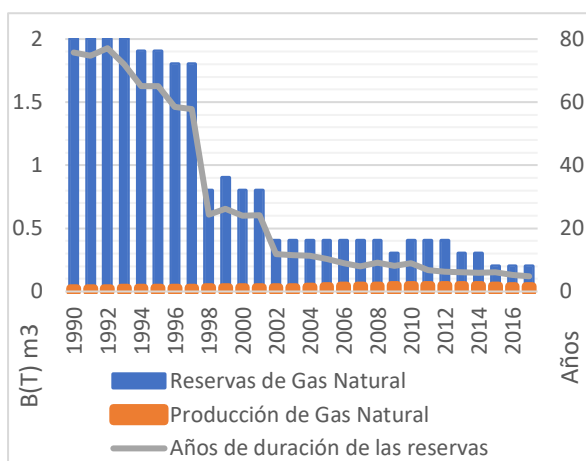
En la generación de electricidad en México participan principalmente tres tipos de combustibles fósiles: gas natural, carbón y combustóleo. Como únicamente los dos primeros combustibles son energías primarias, es en éstos en los que se muestra su desarrollo tanto en las reservas como en su producción. En el caso del combustóleo su disponibilidad se vería afectada principalmente por tres razones: 1) Indisponibilidad de materia prima, siendo un caso muy extraño para el sector energético mexicano ya que es exportador neto de petróleo; 2) Reducción en la producción, caso actual en México donde las refinerías han reducido la producción del combustible por falta de mantenimiento y obsolescencia de las plantas dado el tipo de combustible utilizado; 3) Logística de distribución, es decir, falta de infraestructura para su transportación, caso no aplicable a México ya

<sup>89</sup> El cual en su Capítulo 11 ayuda a eliminar los obstáculos técnicos al comercio.

<sup>90</sup> La legislación estadounidense establece que se requiere de un permiso para exportar gas natural. No obstante, este "obstáculo" es evadido por aquellos países que son socios por medio de un acuerdo de libre comercio, ya que la autorización se deberá otorgar sin modificación ni demora. Por lo que si se diera el caso de que el T-MEC se cancelará, nuestro país pasaría al estatus de ser un país sin acuerdo de libre comercio, y la autorización se otorgaría solo después de haber sido evaluada de manera positiva para el interés público, así como haber recibido comentarios favorables por parte de la ciudadanía y pasado satisfactoriamente las evaluaciones de impacto ambiental. Haciendo este proceso de importación verdaderamente tortuoso, y de mayor planeación al tener que contabilizar el tiempo que deberá esperarse para la autorización, así como estar sujeto a un riesgo político mayor.

que se demostró que el país tenía la infraestructura necesaria para que el combustible generará el 65% de la electricidad requerida por el país a principios de la década de los años 90's.

Gráfico 3.11 Reservas y Producción de Gas Natural



Fuente: Elaboración propia con datos de BP.

Gráfico 3.12 Reservas y Producción de Carbón



Fuente: Elaboración propia con datos de BP.

Como se observa en el Gráfico 3.11 el gas natural muestra signos de agotamiento en el presente, pero pareciera que esta realidad no alarma a los encargados de la política energética nacional. Esto puede deberse a que, si bien al año 2017 se poseían reservas para solamente cinco años de producción —línea gris, valor de 4.8 en el año 2017—, es porque la producción resulta bastante pequeña en comparación con las reservas existentes —también bastante exiguas—. Tanto el volumen de las reservas como su vida útil podrían alargarse con exploración y el descubrimiento de nuevos yacimientos —de petróleo<sup>91</sup>—, o se disponga de tecnología para extraer gas no asociado al crudo. Pero sería necesario no considerar con demasía en que será posible importar indefinidamente el gas de Estados Unidos siempre a precios bajos.

Esta reducida producción y notable contracción de las reservas de petróleo, se originó en la política de imponer a PEMEX el enfocarse en los proyectos más rentables —para así pagar los impuestos especiales a los que se encuentra sujeto por ley— de tal forma que si se compara la rentabilidad de la producción de gas natural contra la rentabilidad que genera el petróleo, el primero queda relegado dentro de sus objetivos y solamente se extrae de forma asociada. Lo que se suma a que el gas natural de EUA es barato, incluso más que el gas asociado mexicano, toda vez que hay un importante rezago en esta última tecnología.

Dado lo anterior y sabiendo que el país se encuentra en un periodo de transición energética, donde el gas natural parece el combustible óptimo por los encargados de la política energética nacional, ya que representa el 60% de los insumos energéticos para la generación de energía eléctrica y cerca del 50% de la capacidad efectiva lo requiere, es fácil notar la vulnerabilidad que el país posee por la mala coordinación del sector y las empresas energéticas nacionales en los últimos años. La cual

<sup>91</sup> Recordemos que la extracción de gas natural al interior del país se realiza principalmente de forma asociada.

puede verse reforzada por la reforma energética que busca una mayor competencia económica en el sector con el fin de elevar la eficiencia, alterando de esta forma los incentivos económicos de las empresas productivas del Estado<sup>92</sup> para alinearlos a una visión puramente de mercado. Olvidando por completo la planeación del sector que permita el crecimiento y desarrollo del país, ya que estos no dependen únicamente de la elevación de la eficiencia sino de la mejora en la productividad y una mayor acumulación de capital.

Por otro lado, en el caso del carbón solo se obtuvieron datos de las reservas para el año 2017<sup>93</sup> (Gráfico 3.12), en el que se muestra que México posee grandes reservas de carbón y la producción anual apenas y llega a representar el 1% de éstas, de tal forma que al ritmo de producción actual su vida útil sería aproximadamente 93 años, por lo que no se estaría presentando algún tipo de vulnerabilidad por el lado de las reservas. Mientras que, México dejó de producir el carbón requerido únicamente para la generación de electricidad desde el año 2001 y se mantuvo en un promedio cercano al 85%, con su nivel más bajo en 2016, año en el cual solamente se produjo el equivalente a 255.85 Pj, es decir el 68.4% del carbón requerido en el sector eléctrico. Si esta tendencia en la producción continuara, se presentaría dependencia de las importaciones para cubrir la demanda, lo cual no representaría gran riesgo si se logra diversificar la importación a través de distintos países proveedores.

Con las reservas y la producción de estos energéticos en mente, se procede a observar cuál es su nivel de autosuficiencia, tanto a nivel nacional como para el caso específico de su utilización en la generación eléctrica, con el fin de averiguar si existe vulnerabilidad por indisponibilidad del combustible. Para este punto ya no se toma en cuenta la existencia de reservas de los recursos sino su factibilidad a la hora de extraerlos o transfórmalos en combustibles para la generación de electricidad, de tal forma que al poseer un determinado nivel de producción se asume que se cuenta con los recursos y con la infraestructura para disponer de ellos.

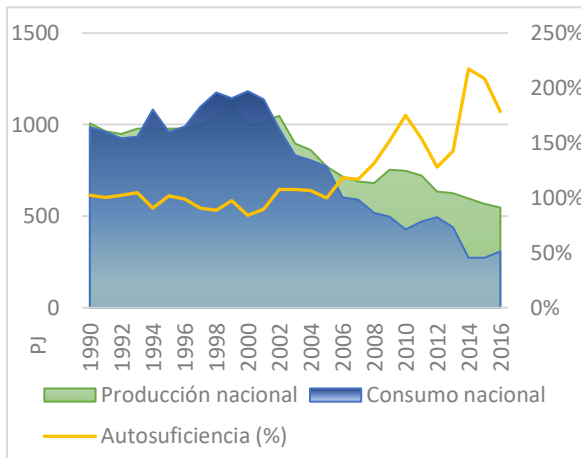
---

<sup>92</sup> Anteriormente empresas estatales mejor conocidas como paraestatales. Recordemos que este nuevo concepto de Empresa Productiva del Estado les impone la tarea de generar valor económico y rentabilidad para el Estado mexicano, procurando así un mejoramiento de su productividad que debe ir en línea con la sustentabilidad y la minimización de costos para beneficio de la población y el desarrollo nacional. Por lo que su objeto cambia de 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, a objetivos que van en línea con los mecanismos de mercado.

<sup>93</sup> BP. (Junio, 2018). *BP Statistical Review of World Energy. [Coal Reserves]*. Recuperado de <http://www.bp.com/statisticalreview>

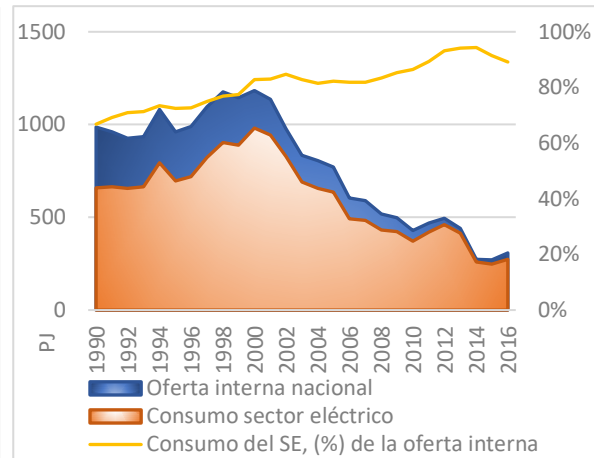


Gráfico 3.14 Autosuficiencia Nacional del combustóleo



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Gráfico 3.13 Consumo del SE en la Oferta Interna de combustóleo



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

El primer caso por observar es el del combustóleo (Gráfico 3.13) el cual ha mantenido una producción superior a la demanda nacional en la mayoría de los años, ya que únicamente se requirió de las importaciones para cubrir la demanda interna en el periodo comprendido entre 1994 y 2001 exceptuando al año 1995. A partir del año 2006 ha mantenido una autosuficiencia de más del 17%, llegando a producir hasta más del doble del consumo en 2014 y 2015. Esta autosuficiencia no se logró con mayor producción, la cual como se observa comienza a reducirse empezando el nuevo milenio —después de alcanzar su punto más alto— como resultado de la baja refinación existente, debido a que las refinерías del país dejaron de ser funcionales para el tipo de crudo que se extrae actualmente, reduciendo drásticamente la producción de combustóleo. Por lo que la autosuficiencia se logra por una menor demanda del combustible en el sector eléctrico, donde comenzó a ser sustituido por el gas natural. Lo anterior es visible en el Gráfico 3.13 donde se observa como el consumo de combustóleo en el sector eléctrico comienza a reducirse después del año 2000, sucediendo lo mismo con la producción de combustóleo que sigue una tendencia decreciente. De modo que el consumo de combustóleo del sector eléctrico es casi en su totalidad el consumo que se realiza del energético en cuestión dentro del país.

Gráfico 3.16 Autosuficiencia Nacional del Carbón

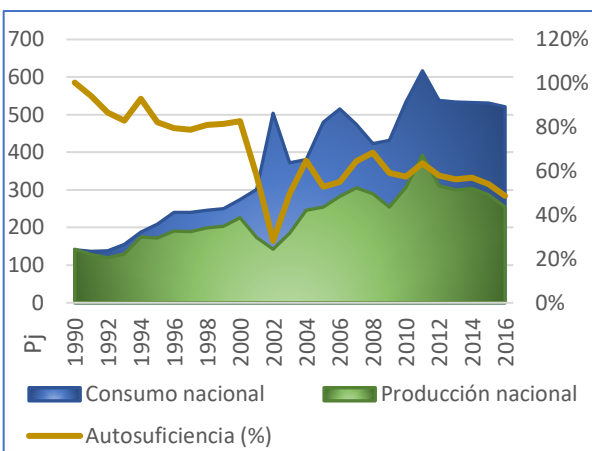
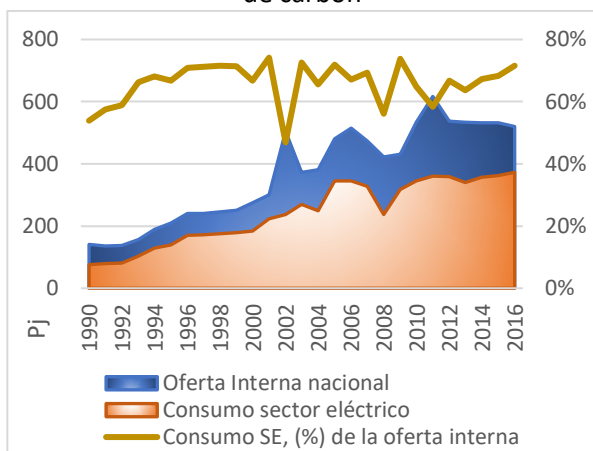


Gráfico 3.15 Consumo del SE en la Oferta Interna de carbón



En el caso del carbón (Gráfico 3.16) la autosuficiencia nacional dentro del periodo de estudio se logró únicamente en el primer año, después de ahí se mantuvo relativamente constante por encima del 80% durante la década de los 90's. Empezando el nuevo milenio la producción de carbón a nivel nacional comienza a reducirse hasta su punto mínimo en 2002, precisamente el mismo año que el consumo comienza a expandirse a tasas cada vez mayores, provocando que en ese año se padezca el menor nivel de autosuficiencia al representar la producción menos de un tercio del consumo nacional. Después de ese año la producción comienza a recuperarse hasta casi una década después, cuando en el año 2012 la producción emprende nuevamente un descenso hasta el año 2016 con una producción de poco menos del 50% del consumo nacional. Esto quiere decir que en dos décadas y media se perdió el 50% de la autosuficiencia del carbón, revelando que si el consumo del energético continua con su tendencia actual de crecimiento, se deberá aumentar su producción para no llegar a casos como el del gas natural que ha mostrado niveles alarmantes de dependencia y vulnerabilidad.

Por otro lado, es de notar que dentro del periodo de estudio el consumo de carbón para generación de electricidad (Gráfico 3.15) creció a una tasa de 6.3% mientras que el consumo nacional de carbón solo creció a una tasa de 5.1%. Revelando una mayor participación del energético dentro de la generación eléctrica<sup>94</sup> que ha empujado el crecimiento de la demanda nacional. Lo cual es visible en el Gráfico 3.15 donde se observa que el uso del carbón en el sector eléctrico paso del 7% en 1990 a 13% en 2016, como parte de la diversificación del consumo energético en el sector eléctrico. Lo que llevó a que para el año 2016 el consumo de carbón dentro del sector eléctrico representara el 71.6% de la demanda nacional de carbón, en contraste con el 53.8% del año 1990<sup>95</sup>.

Sin embargo, este continuo crecimiento en el consumo de carbón que no puede ser satisfecho por la propia producción nacional es contradictorio en el sentido de que como se explicó anteriormente las reservas de carbón para México son demasiado altas, lo que puede estar evidenciando una falta de coordinación y política de producción del energético como en el caso del gas natural. Al respecto Wallace (2009) menciona que la reducción en la producción de carbón puede deberse a los altos costos de inversión para extraer el energético, al mismo tiempo que para las carboeléctricas situadas en la costa del pacífico les puede resultar más rentable la importación del energético que la compra nacional debido a los altos costos de transportación al atravesar la Sierra Madre Occidental. Aunado a que el carbón nacional posee una mayor cantidad de azufre respecto al importado, lo que vuelve al carbón nacional aceptable pero no óptimo para su uso dentro de las carboeléctricas. Estos factores que generan mayores costos pueden y deben abatirse invirtiendo en nuevas tecnologías de extracción y procesamiento, e infraestructura de transporte, las cuales podrán resultar costosas en un principio, pero traerán mayores beneficios a largo plazo al aprovechar los recursos nacionales. A menos que la decisión sea mantenerlos en el subsuelo y no explotarlos. En cualquiera de los dos casos, invirtiendo o no, y de continuar con la tendencia actual

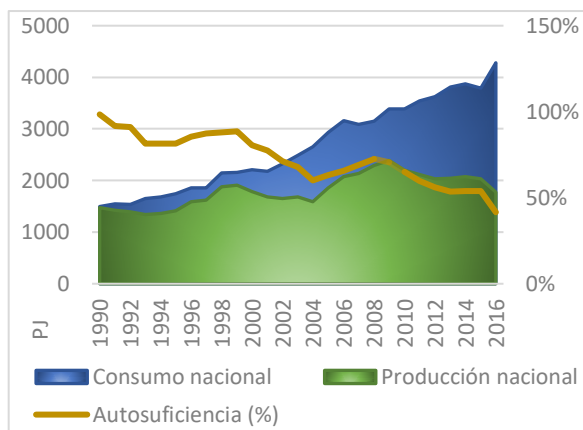
---

<sup>94</sup> Wallace (2009) había notado el incremento cuando menciona que "El incremento esperado de la participación de carbón se debe fundamentalmente al deseo del gobierno de diversificar el uso de los combustibles para la generación de electricidad y, por lo tanto, reducir la dependencia elevada del uso de gas natural"

<sup>95</sup> Siendo esto posible en parte por la reducción en el consumo de carbón por parte del sector industrial. También analizado por Wallace (2009) cuando menciona que "...El consumo industrial de carbón disminuyó 3.5% por año entre 1990 y 2002, como resultado de mejoras de eficiencia en el uso de energía en la industria siderúrgica". Para más información consultar: Wallace (2009), El carbón en México. Economía Informa, 359.

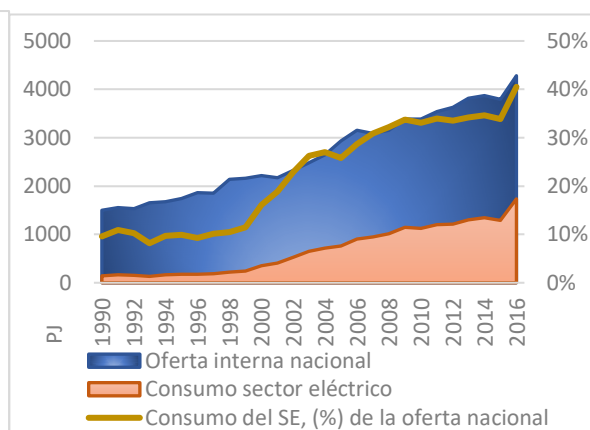
se deberá buscar una mayor diversificación en las importaciones que equilibre la calidad de los combustibles con la seguridad energética nacional y la seguridad del sector eléctrico.

Gráfico 3.18 Autosuficiencia Nacional del Gas Natural



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

Gráfico 3.17 Consumo del SE en la Oferta Interna de Gas Natural



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

Por último, respecto al gas natural (Gráfico 3.18), éste elevó su consumo nacional en más del doble, del año 2000 al año 2016, mientras que la producción nacional mantuvo un reducido crecimiento que llegó a su punto más alto en el año 2009 para después decrecer y situarse en niveles cercanos a la producción del año 2000. Por lo que la oferta total de gas natural del país tuvo que ser cubierta desde comienzos del nuevo milenio por las importaciones, las cuales representaban poco más de veinte por ciento de la oferta nacional a inicios del milenio y terminaron aportando más del cincuenta por ciento para finales del periodo. Este escenario de dependencia en las importaciones, por parte de un combustible que desde los años 90's ha aumentado su participación en la oferta energética nacional hasta llegar a tener una participación del 46.83% en el consumo nacional de energía, es alarmante. Y la alarma es aún más intensa para el sector eléctrico donde —recordando el Gráfico 3.9— el consumo de gas natural representó el 60% del consumo energético para generar electricidad en el año 2016.

Asimismo, si se vuelve al Gráfico 3.11 se puede observar que la paralización en el aumento de la producción de gas natural y su posterior caída pueden deberse en causa a la drástica reducción de las reservas a finales del siglo XX. Y a que a PEMEX —ahora llamada Empresa Productiva del Estado después de la reforma energética de 2013— se le obliga a enfocarse en aquellos proyectos que sean más rentables con el fin de que logre mantener sus finanzas en niveles adecuados para su funcionamiento, debido a que la cantidad de impuestos especiales a los que se encuentra obligada por ley imponen límites a su desarrollo. Haciendo que sus visiones de mercado e inversión se centren en la exploración y producción de petróleo que ofrecen mayor rentabilidad que aquella generada produciendo gas natural. Relegando a este último dentro de sus objetivos y extrayéndolo solamente de forma asociada.

Por otra parte, el consumo de gas natural del sector eléctrico (Gráfico 3.17) en el periodo de 1990 a 2016 creció a una tasa media anual de 10.1%<sup>96</sup> llegando a representar el 40.5% del consumo nacional de gas natural en el año 2016. Este aumento acelerado en el consumo de gas natural por parte del sector eléctrico comenzó con el nuevo siglo, mismo momento en que las reservas sufren una reducción considerable, y la integración energética de América del Norte ya ha comenzado a desarrollarse con ayuda del TLCAN. Lo que permitió asegurar la obtención del energético a pesar de que la producción caía, manteniendo así el desarrollo de la transición energética que beneficiaba al sector eléctrico por medio de una mayor diversificación.

Respecto a las medidas de dependencia de las importaciones, las cuales son las más utilizadas en seguridad energética, debido a que permiten realizar desagregaciones por combustible<sup>97</sup> o región, al mismo tiempo que pueden ser expresadas en términos monetarios o físicos con el fin de saber la cantidad de producto importado y su participación en el total de la oferta interna de energéticos. En este trabajo estas medidas de dependencia se enfocan en los energéticos analizados con anterioridad: petróleo, carbón y gas, los cuales como se ha visto son los de mayor relevancia para el sector eléctrico mexicano.

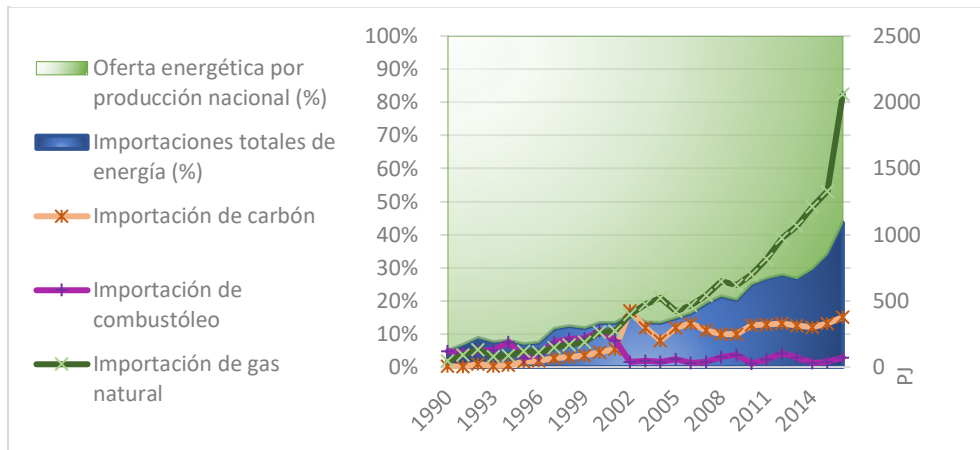
En este sentido, la oferta interna de energía de un país solo puede ser satisfecha por la producción nacional y por las importaciones, de tal forma que si la energía importada comienza a tomar un papel relevante en la oferta energética nacional o de algún energético en específico, también se estaría elevando el grado de dependencia. Por lo que, dependiendo cuan diversificada se encuentre la matriz energética de un país o región, esta dependencia podrá representar o no vulnerabilidad alguna, recordando que la vulnerabilidad es entendida como la combinación entre la exposición a los riesgos y su capacidad de recuperación. Otros autores también argumentan que mantener una vulnerabilidad por dependencia significaría que un país no es capaz de tomar sus propias decisiones de política energética de forma libre y soberana, o donde tomarlas representaría aceptar un costo alto ya sea económico, político o social.

---

<sup>96</sup> Consumo medido en Petajoules.

<sup>97</sup> A la hora de hacer la medición se deben restar las exportaciones para que el indicador proporcione una visión más realista de la dependencia.

Gráfico 3.19 Participación total de la energía importada e importación de carbón, gas natural y combustóleo.

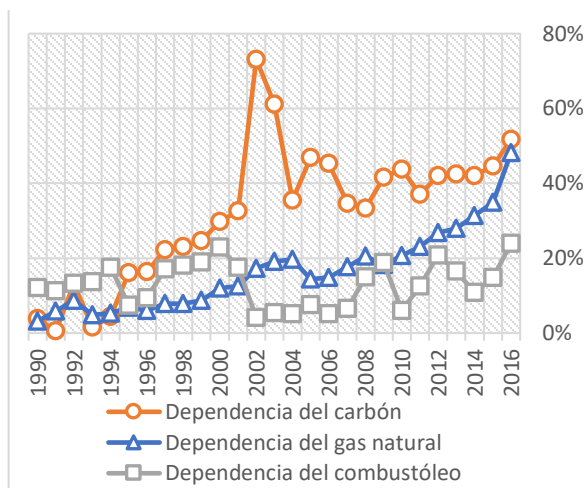


Fuente: Elaboración propia con datos de SIE

En el Gráfico 3.19 se muestra el desarrollo de la participación de las importaciones en la oferta interna de energía, las cuales pasaron de representar el 5% en 1990 a representar cerca del 44% al año 2016, situación alarmante al manifestar que casi la mitad de los recursos energéticos necesarios para mantener el funcionamiento del país tienen que provenir de otros países. Más, no necesariamente debe representar una vulnerabilidad para la seguridad energética ya que existen otros países con alta dependencia en la importación que minimizan riesgos al diversificar tanto los energéticos como los proveedores.

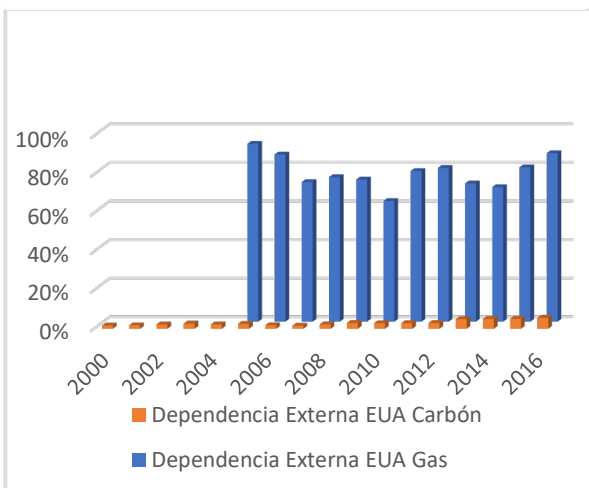
También es palpable el rápido crecimiento de las importaciones de gas natural que contrasta con la reducción en las importaciones de combustóleo que se da a comienzos de la década anterior por la nueva estructura de participación energética en el sector eléctrico. El carbón, al ser un energético utilizado en muchas otras industrias continua su tendencia de crecimiento de las importaciones. Así mismo pareciera que el incremento de las importaciones de gas natural está altamente correlacionado con el crecimiento de las importaciones totales.

Gráfico 3.21 Dependencia externa: Carbón, Gas Natural y Combustóleo



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Gráfico 3.20 Dependencia externa con EUA: Carbón y Gas Natural



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE y EIA.

En los Gráfico 3.21 y 3.20 se puede observar la participación de las importaciones de los tres energéticos analizados —carbón, gas natural y combustóleo— en su propia oferta nacional, es decir, la dependencia externa que se tiene de estos energéticos. Se puede observar que de los tres el de mayor dependencia es el carbón ya que esta dependencia se ha mantenido cercana al 40% desde 2005 a pesar de las reservas existentes en el país; en el caso del combustóleo se redujo la dependencia en la década pasada pero volvió a crecer en la década actual hasta el año 2016, probablemente como resultado de la reducción en la refinación de crudo; mientras que el gas natural ha mantenido una tendencia creciente hasta posicionarse en 48%, por lo que a partir del año 2015 las importaciones de gas natural alcanzarían a cubrir el total del consumo de gas natural del sector eléctrico.

En este sentido, dentro de la visión de seguridad energética de América del Norte sería relevante mostrar la dependencia de los energéticos provenientes de Estados Unidos en las importaciones de México por tipo de energético. Sin embargo, la recolección de datos no permitió realizar este ejercicio para los tres energéticos, ni para todo el periodo, ya que en el caso del gas natural tenemos que, al contrastar los datos de las exportaciones de EUA hacia México, con las importaciones de gas natural de México, resultaba que estas últimas eran menores a lo que EUA había enviado al país, esto es resultado de que las estadísticas públicas de SENER solo muestran el nivel de importación de gas natural realizado por PEMEX, e ignoran las importaciones realizadas por el sector privado —no necesariamente a través de PEMEX—. No obstante, la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) emite un reporte del balance de gas natural por mes en el que se incluyen las importaciones no realizadas por PEMEX en el país, con lo que se puede obtener información de las importaciones totales de gas natural desde el año 2005<sup>98</sup>.

Con esta información se sabe que desde 2005 la dependencia de México del gas natural de EUA representa en promedio cerca del 80% —87% en 2016— de las importaciones totales de gas natural, representando un severo riesgo para la seguridad energética de México, ya que al año 2016 la oferta nacional de gas natural se cubría con casi el 60% de importaciones, las que provienen de

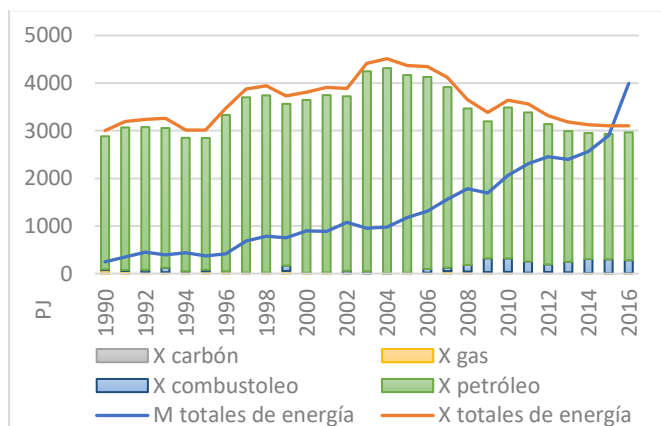
<sup>98</sup> [https://portal.cnih.cnh.gov.mx/downloads/es\\_MX/estadisticas/Balance%20Gas%20Natural.xlsx](https://portal.cnih.cnh.gov.mx/downloads/es_MX/estadisticas/Balance%20Gas%20Natural.xlsx). Consultado: septiembre 2018

un solo proveedor —EUA—, que aportó poco más del 50% del gas natural requerido por el país en el último año de estudio. La dependencia de las importaciones desde un solo mercado, hasta hace unos meses podía exacerbarse por las relaciones bilaterales y políticas con el país vecino, ya que en ocasiones dependen en mayor o menor grado del momento político y de cómo lo evalúe el presidente estadounidense o de la manera en que éste pondere mantener las ventas de gas a México.

No se encontraron datos de la cantidad de combustóleo exportada por EUA hacia México, mientras que para el carbón los datos solo se encuentran disponibles a partir del año 2000. No obstante, estos muestran que durante la primera década del presente siglo las importaciones de carbón provenientes de EUA fluctuaron por debajo del 3% y es a partir del año 2013 que rebasan este umbral —en algunos años duplicando los valores de la década anterior— pero sin rebasar un porcentaje mayor al 6%. Si la tendencia de importación de carbón desde EUA se mantiene significaría menores riesgos para la seguridad energética respecto al caso del gas natural, dado que si el país vecino no pudiera o se negara a exportar el carbón, esta pequeña dependencia sería fácilmente revertida importándolo desde otros países, a diferencia de lo que sucede con el gas natural por sus propiedades intrínsecas.

El riesgo de la seguridad energética de México sería mayor en el caso de que las importaciones de combustóleo crecieran más que el resto de los energéticos provenientes de Estados Unidos y las compras externas de carbón se mantuvieran e incluso se intensificaran. El riesgo es elevado pues el peso de las importaciones de estos productos es alto y provienen en cerca del 50% de los Estados Unidos. En este supuesto la seguridad energética nacional quedaría en buena medida en manos de las decisiones tomadas por el país vecino, lo que implica que la matriz energética se encuentra altamente concentrada en productos y en un mercado de origen.

Gráfico 3.22 X: Carbón, Gas Natural, Combustóleo



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Es interesante, como información adicional que permite ampliar el panorama energético nacional, observar el comportamiento de las exportaciones de estos mismos energéticos. En virtud de que en los pocos índices de seguridad energética<sup>99</sup> a nivel internacional sitúan a México con niveles muy favorecidos de seguridad energética, principalmente por sus grandes niveles de exportación de energéticos<sup>100</sup>, que en su mayoría son exportaciones de petróleo como se puede observar en el Gráfico 3.22 y mínimas y poco significativas las

exportaciones de gas y carbón, mientras que las exportaciones de combustóleo comenzaron a

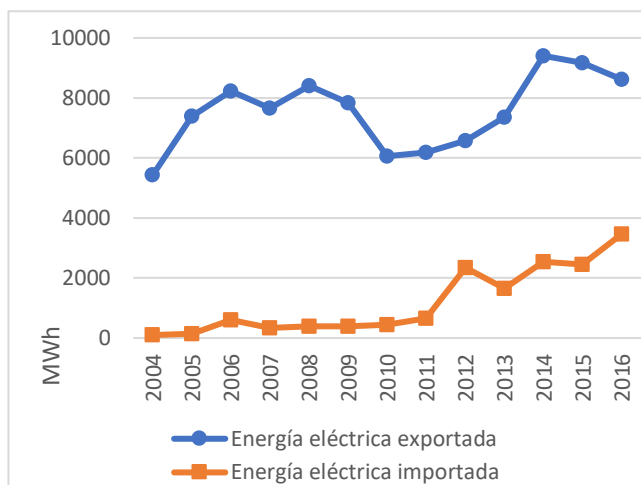
<sup>99</sup> Como es el caso del Índice de Riesgo de Seguridad Energética publicado por el Instituto para la Energía del Siglo XXI a cargo de la Cámara de Comercio de los Estados Unidos.

<sup>100</sup> Lo que en los nuevos estudios o actualización de los índices actuales —donde se evaluó a México— deben cambiar, dado que en términos absolutos el país ha dejado de ser autosuficiente a partir del año 2015 y las exportaciones son menores a las importaciones.

aumentar a mediados de la década anterior y tomaron un poco de mayor relevancia a principios de la década actual. Lo anterior es coherente con lo observado en los gráficos anteriores donde se muestra que los energéticos con mayor demanda e importación son los mismos que tienen las menores exportaciones. Mientras que el combustible al tener una participación menor en el sector eléctrico en la actualidad y siendo este su principal consumidor, comienza a tener una mayor participación en las exportaciones totales para aprovechar el excedente nacional.

Por último en lo que respecta a importaciones y exportaciones de energía, el comercio exterior de electricidad (Gráfico 3.23) que en un primer momento se creó para vender el excedente de generación eléctrica del país a los países colindantes de Centro América y algunos estados de EUA —pudiendo de esta forma aprovechar la electricidad no consumida ya que ésta no puede ser almacenada— presentó niveles muy bajos de importación cumpliendo su función de exportación, aun así, las importaciones de electricidad a partir del año 2012 emprendieron un crecimiento a altas tasas llegando a cuadruplicar las importaciones de la década anterior.

Gráfico 3.23 Comercio Exterior de Electricidad



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

No obstante, este comercio externo de electricidad es relativamente pequeño comparado con la generación y oferta nacional, razón por la cual a comienzos del siglo XXI era utilizado para la venta de excedentes, mientras que las importaciones más recientes han sido principalmente para cubrir fallas temporales en la generación o para prevenir alertas y emergencias<sup>101</sup> en el funcionamiento de los sistemas eléctricos del país. Por lo que si estas siguieran en aumento podrían representar claras señales del mal funcionamiento de los sistemas eléctricos o escases de energéticos para generación que comenzarían a figurar como riesgos en la seguridad del sector eléctrico. En un funcionamiento más de mercado también podría significar que resulta más rentable importar energía eléctrica que producirla, en los casos en que los nuevos competidores del mercado mayorista soliciten el permiso ante la CRE. Lo anterior en virtud de las modificaciones generadas después de la Reforma Energética de 2013<sup>102</sup>.

Una vez conocida la elevada dependencia de los energéticos importados desde EUA, es necesario conocer cuan diversificada es la producción nacional de energía primaria para evaluar mejor las

<sup>101</sup> Más información en CRE. (2018). Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2017. México; El Financiero “Dispara calor importación de electricidad a nivel récord” <http://www.elfinanciero.com.mx/monterrey/dispara-calor-importacion-de-electricidad-a-nivel-record>;

<sup>102</sup> Previsto en el Décimo Transitorio de la Ley de la Industria Eléctrica, y autorizado previo al inicio de operaciones del mercado mayorista en las “disposiciones generales para la importación de energía eléctrica...” publicadas por la CRE en el DOF el 24 de Diciembre 2014. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5377267&fecha=24/12/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5377267&fecha=24/12/2014).



vulnerabilidades del sistema. Esto permite comprender más finamente qué tipos de energía primaria se producen, cuál es su participación en la producción total de energía y si sus niveles de concentración resultan beneficiosos para la seguridad energética. Por lo que, para el mismo periodo de estudio, en el Cuadro 2.1 se muestra como se ha desarrollado la producción nacional y como ha ido cambiando la participación de las distintas fuentes en periodos de 5 años hasta llegar al año 2016.

Cuadro 3.1 Diversidad fuentes primarias en la producción nacional total de energía

| Año  | IHH                  |  | Participación |     |             |        |                         |         |
|------|----------------------|--|---------------|-----|-------------|--------|-------------------------|---------|
|      | General <sub>1</sub> | Hidrocarburos, nuclear, renovables, carbón | Petróleo      | Gas | Condensados | Carbón | Renovables <sub>2</sub> | Nuclear |
| 1990 | 0.4517               | 0.1488                                     | 71%           | 19% | 2%          | 2%     | 6%                      | 0%      |
| 1995 | 0.4416               | 0.1946                                     | 70%           | 18% | 2%          | 2%     | 7%                      | 1%      |
| 2000 | 0.4400               | 0.1809                                     | 70%           | 19% | 1%          | 2%     | 6%                      | 1%      |
| 2005 | 0.4364               | 0.1770                                     | 71%           | 17% | 2%          | 2%     | 6%                      | 1%      |
| 2010 | 0.4388               | 0.1997                                     | 64%           | 24% | 1%          | 3%     | 7%                      | 1%      |
| 2015 | 0.4781               | 0.2319                                     | 61%           | 25% | 1%          | 3%     | 8%                      | 1%      |
| 2016 | 0.4733               | 0.2383                                     | 63%           | 23% | 1%          | 3%     | 8%                      | 1%      |

1) Las fuentes renovables fueron desglosadas para calcular el IHH

2) Fuentes renovables: Hidroenergía, Geoenergía, Solar, Eólica, Biogás, Biomasa.

Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

En un primer instante se puede observar que la participación de petróleo en la oferta total de energía ha disminuido con el pasar de los años —tema ya expuesto— provocando también una reducción de los condensados. Por otra parte, la participación del gas natural creció el doble que el aumento de las renovables, mientras que el carbón también aumento su participación, pero en menor medida que los anteriores, y la energía nuclear se mantuvo. La caída del petróleo en la participación de la oferta total de energía, coincide con el máximo de producción de Cantarell, significando que esa reducción en la participación no significaría necesariamente el aumento en la producción de las demás energías sino una clara reducción en la producción de petróleo que provoca al mismo tiempo una menor producción de condensados que se extraen en conjunto. Por otro lado la mayor participación de las renovables pareciera que no se da gracias a una mayor producción de estas sino a la reducción de la producción de petróleo que afecta a la oferta total de energía generando un incremento en su participación, ya que su incremento es pequeño por lo que más bien han mantenido una producción constante derivada principalmente de la producción de hidroenergía y biomasa e incrementos provenientes de la geoenergía en los años 1995 y 2003.

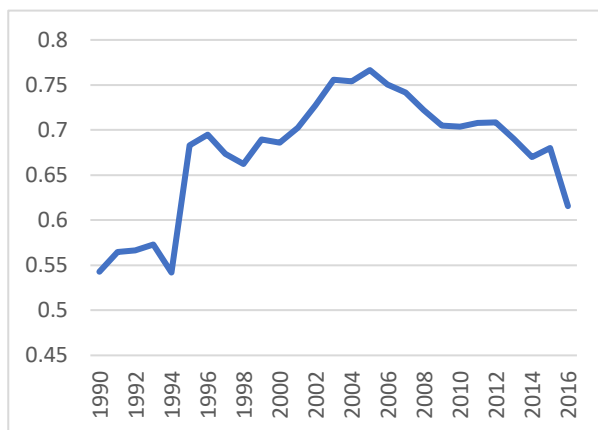
En el Cuadro 3.1 también hay información sobre la aplicación del inverso del Índice Herfindhal-Hirschman (IHH)<sup>103</sup> en la configuración de la matriz energética de México. Este índice permite saber la concentración de los energéticos en la producción de energía al adquirir valores entre 0 y 1, como se usa el inverso tendremos una menor concentración —que se traduce como una mayor

103 Anexo A en Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. M., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2166–2181. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.006>

diversificación— cuando su valor sea más cercano a 1. Por lo tanto, se puede observar que la diversificación de fuentes primarias en la producción ha aumentado de 1990 a 2016. Si bien dentro de este periodo también se vio reducido el índice, tuvo su repunte a finales del periodo siendo este último mayor a la reducción, el cual es causa de la mayor participación obtenida por las renovables, el carbón y el gas natural, y la clara reducción de la participación del petróleo. De igual forma se realizó el inverso del IHH clasificando las fuentes de energía primaria únicamente en hidrocarburos, renovables, nuclear, y carbón con lo cual se obtuvo un índice muy cercano a cero, significando concentración resultado de la clasificación utilizada —ya que para el índice solo existirían 4 tipos de energía, lo cual no es cierto— pero permitiendo verificar que la concentración en la producción realmente disminuyó durante el periodo, ya que el incremento del índice con esta clasificación avanzó casi una décima.

Este mismo índice fue aplicado para el sector eléctrico, buscando el nivel de diversificación en el consumo de las distintas fuentes de energía —ya sea primarias o secundarias— para la generación de energía eléctrica.

Gráfico 3.24 IHH Consumo de Energía



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

El IHH para el consumo de energía al interior del sector eléctrico representado en el Gráfico 3.24, comienza con un nivel de concentración medio situándose cerca del 0.55 para dar un gran salto en el año de 1995 producto de una mayor participación de las energías renovables, principalmente por la incorporación de geoenergía ayudada por una pequeña reducción en la participación del combustóleo. El segundo punto de importancia es aquel donde se sitúa el mayor nivel de diversificación que fue alcanzado en el año 2005 con un IHH de 0.76, producto de que dos años antes se efectuara el punto medio de la transición realizada dentro del sector

eléctrico, donde se está reduciendo el consumo de combustóleo para dar paso al uso del gas natural con una participación de 0.338 del primero y 0.319 del segundo —por lo que para el año 2005 el consumo de combustóleo era ya menor que el de gas natural— al mismo tiempo que se va incrementando el uso de carbón y coque de petróleo. Los siguientes años muestran una clara concentración en el uso de combustibles nuevamente producto —como se mencionó— de la reducción en la participación del combustóleo que dio lugar a la concentración en el uso de gas natural, el cual no regresó a los niveles de 1990 con el combustóleo, gracias a una mayor participación de las energías renovables principalmente eólica y solar, junto con incrementos en el uso de diésel y bagazo de caña.

Se espera que en los próximos años se acelere la diversificación del consumo energético con un uso mayor de las energías eólica, solar y geoenergía, con un preferible y necesario incremento de la hidroenergía, así como de la energía nuclear, o en un caso menos limpio incrementos en las plantas de generación convencional, a fin de dar mayor confiabilidad al sistema, al mismo tiempo

que se revierte la concentración en el uso de gas natural, dejándolo relegado para cuando el sistema posea sus mayores picos de demanda o el sistema entre en estado de alerta.

### 3) Infraestructura y Resiliencia

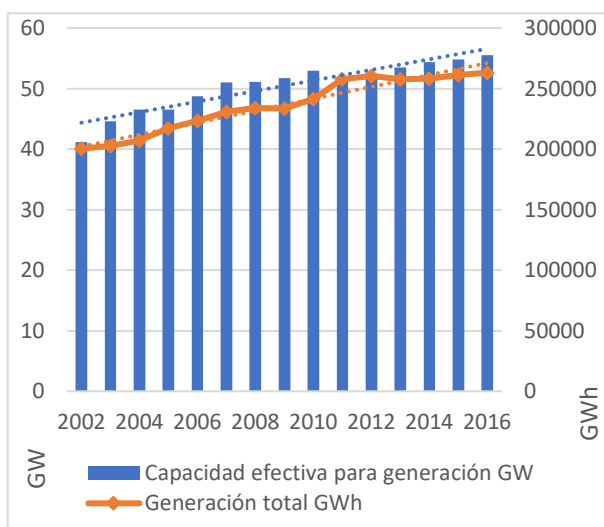
Sabiendo cuáles combustibles son utilizados para la generación de energía eléctrica y en cuáles de ellos existen riesgos que se pueden convertir en vulnerabilidades, es necesario preguntarse cuáles son las características actuales de la infraestructura del sector eléctrico, para tener una variable proxy de la resiliencia del sistema. Ya que los indicadores de resiliencia —como su definición lo explica: capacidad de resistir y capacidad de recuperación— esclarecen si los niveles de infraestructura del sector energético mexicano y principalmente del sector eléctrico, a pesar de las alarmas y dependencias expresadas por los indicadores en el apartado anterior, permiten la adecuada recuperación y hacer frente a toda emergencia que agravaría los bajos niveles de seguridad energética.

Lo anterior sugiere la necesidad de visualizar si la capacidad efectiva que posee el sector eléctrico se ha desarrollado conforme al aumento en el consumo de energía eléctrica. Observando el Gráfico 2.25 se desprende que la capacidad efectiva instalada del sector eléctrico mexicano se ha expandido casi a la par que la generación de energía eléctrica, la que, ha crecido más rápidamente en los últimos años.

Situación similar se registra en el tendido de las líneas de transmisión (Gráfico 3.26), las cuales han crecido desde el año 2004 a una tasa media anual de 1.38% contra el 1.86% del crecimiento en generación para el mismo periodo, lo cual puede, en el largo plazo, dar pie a posibles afectaciones sino se tiene una planeación clara del sistema, debido a que el crecimiento de la capacidad de generación, transmisión y distribución ha crecido a tasas más pequeñas que la demanda de electricidad.

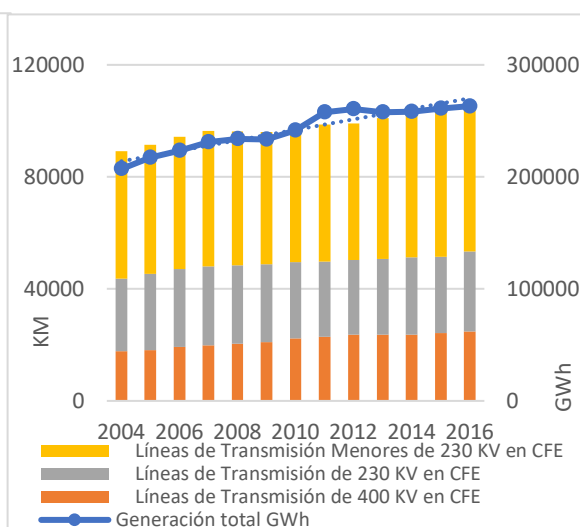
Más adelante se abundará si la capacidad efectiva realmente es realmente suficiente para cubrir la generación total de energía eléctrica, por ahora solo se muestra el desarrollo de estos indicadores desde 2002 y 2004 respectivamente.

Gráfico 3.25 Capacidad Efectiva (GW) y Generación Total (GWh)



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Gráfico 3.26 Longitud de Líneas de Transmisión (Km)



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Pasando al número de plantas existentes por tipo de tecnología al 2018, se hace uso nuevamente del indicador IHH para establecer el porcentaje y nivel de participación que cada tecnología representa en el total, según el número de centrales en funcionamiento por tipo de tecnología, obteniendo también el total de centrales para generación eléctrica en funcionamiento.

Cuadro 3.2 IHH Centrales de Generación por tipo de Tecnología.

| Tecnología             | Número de Centrales | Participación | Tecnología                         | Número de Centrales | Participación |
|------------------------|---------------------|---------------|------------------------------------|---------------------|---------------|
| Bioenergía             | 34                  | 4.20%         | <b>Lecho Fluidizado</b>            | 2                   | 0.25%         |
| Carboeléctrica         | 15                  | 1.85%         | <b>Nucleoeléctrica</b>             | 2                   | 0.25%         |
| Ciclo Combinado        | 97                  | 11.99%        | <b>Solar Fotovoltaica</b>          | 41                  | 5.07%         |
| Cogeneración Eficiente | 36                  | 4.45%         | <b>Termoeléctrica Convencional</b> | 79                  | 9.77%         |
| Combustión Interna     | 95                  | 11.74%        | <b>Termosolar</b>                  | 1                   | 0.12%         |
| Eólica                 | 55                  | 6.80%         | <b>Turbogás</b>                    | 125                 | 15.45%        |
| Geotérmica             | 27                  | 3.34%         | <b>Total</b>                       | 809                 | 100.00%       |
| Hidroeléctrica         | 200                 | 24.72%        | <b>IHH</b>                         | 0.73426119          |               |

Fuente: Elaboración propia con datos de PRODESEN SENER 2018

En el Cuadro 3.2 se percibe que la hidroeléctrica es la que cuenta con el mayor número de centrales en funcionamiento, pero muchas de ellas son a pequeña escala. Presentándose aquí una debilidad del indicador al no mostrar eficazmente su participación dentro de la generación, como si lo hace el IHH de capacidad efectiva y el IHH de consumo energético en la generación, éste último expuesto con anterioridad y en mi opinión el más relevante. No obstante, el fin del indicador de resiliencia— como lo sugiere la IEA— es mostrar cuáles centrales pueden ser compensadas por otras, en caso de que llegaran a sufrir un paro, interpretando que tener un mayor número de centrales por tecnología permite compensar más fácilmente las alertas y emergencias del sistema, lo cual si bien permite un nivel mayor de flexibilidad no asegura que la central en reserva tenga la misma capacidad que la que entró en paro. Cayendo incluso en la misma interpretación de algunos respecto al MR y MRO, que lo visualizan como una sobreinversión por contar con una sobrecapacidad que se encuentra ociosa.

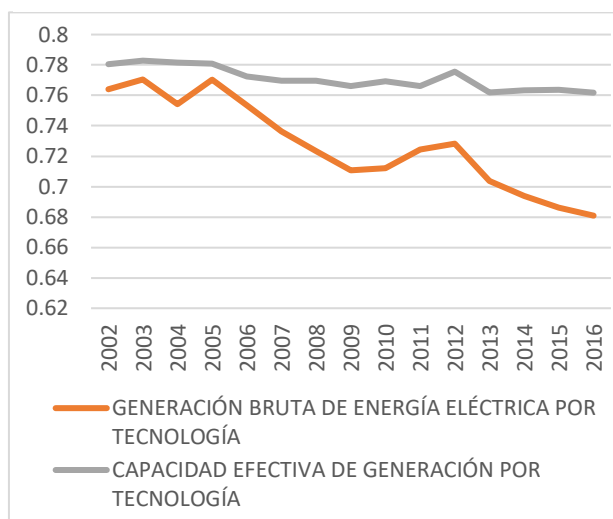
Lo que sí es relevante, es que el segundo tipo de tecnología con mayor número de centrales es la de Turbogás, altamente contaminante, razón por la cual normalmente es relegado su uso para casos de alerta y emergencia. El número de centrales de turbo gas puede interpretarse de dos formas: 1) Existe en el sistema una capacidad suficiente de respaldo para hacer frente a las emergencias y mantener un equilibrio entre la oferta y demanda de electricidad, o 2) A pesar de que su uso principal quede relegado a los casos de alerta y emergencia, actualmente se está produciendo energía eléctrica de forma continua con estas centrales, invalidando los compromisos de incrementar el uso de energías limpias, reducir las emisiones y lograr los objetivos comprometidos por el país en tratados internacionales. Los datos del SIE (Sistema de Información Energética) desvelan que desde 1997 la generación eléctrica con tecnologías de Turbogás emprende tasas de crecimiento elevadas que van del 49% hasta el 152% en el año 2000, después del cual su uso se mantiene constante por los próximos 3 años registrando decrementos importantes durante 2004 y 2005, para crecer moderadamente a partir de 2007 y hasta 2016 con excepción del año 2015 que presento nuevamente un crecimiento elevado en su uso, pero menor al del periodo comprendido entre 1997-2000. Aun así, a pesar de que su uso se elevó bastante a finales del milenio anterior y comienzos del nuevo, los datos muestran que la participación de esta tecnología en la generación total es reducida, rodando el 3% durante su periodo de mayor crecimiento 2000-2003. Los datos también señalan que su participación en la gran mayoría del periodo 1994-2016 fue cercana al 1%, indicando que su uso si puede ser considerado enteramente para mantener en condiciones óptimas de funcionamiento y continuidad al sistema eléctrico nacional.

Al enfocar en el inverso del índice IHH del Cuadro 2.2, éste representa un grado aceptable de diversificación por número de plantas por tecnología, al ser su valor de 0.73. La cuestión aquí es que una mayor cantidad de plantas de generación no necesariamente significa un mayor tamaño de capacidad, debido a que en este indicador se ignora el tamaño de planta y únicamente se toma en cuenta la cantidad de plantas disponibles para su funcionamiento, por lo cual no se debe prestar mucha relevancia en cuanto a resiliencia en casos de emergencia. Aun así, es claro que la existencia de una mayor diversificación en la cantidad de plantas existentes y disponibles para su funcionamiento traerá beneficios y ayudará en alguna medida a mantener y elevar la seguridad del sector eléctrico.

Como información adicional la participación de las renovables en el total de centrales por tecnología haciende al 44% mientras que la participación del número de centrales que utilizan combustibles fósiles es del 55%.

Continuando con la infraestructura disponible en el sector eléctrico y su relación con la resiliencia, se midió el inverso del IHH para evaluar la concentración en la generación bruta de electricidad por tipo de tecnología (Gráfico 3.27), el cual a principios de siglo se encontraba a niveles bastante aceptables pero que tuvo un decremento de poco más de 0.09 en el año 2016. Con lo expuesto anteriormente es fácil colegir que este decremento es resultado del mayor uso de tecnologías que utilizan gas natural — termoeléctricas de ciclo combinado y turbo gas—, ya que solo el ciclo combinado representa el 51.7% del uso de este tipo de tecnología para generar electricidad.

Gráfico 3.27 IHH en Generación Bruta y Capacidad Efectiva por tipo de tecnología.



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

En el caso del IHH de capacidad efectiva de generación también se presenta un decremento, reducción que es mucho más pequeña que en el IHH anterior al mantenerse dentro de un rango mayor a 0.75. Esto es debido a que las inversiones en capacidad de generación no cambian a corto plazo, sino que estas sufren cambios a mediano y largo plazo, por lo que retirar o ingresar una nueva central eléctrica al sistema lleva bastante tiempo, provocando que casi no se vea alterada la estructura de la capacidad de generación del sistema eléctrico nacional. No obstante, a pesar del tiempo que lleva modificar la estructura de generación eléctrica, el índice debería aumentar y no reducirse como ha sucedido en los últimos 10 años. Esto con el fin de mejorar la seguridad energética a través de una mayor diversificación, ya que es una de las principales recomendaciones que se hacen para poseer seguridad energética.

Para los siguientes indicadores de resiliencia: Volatilidad media anual de la producción, Margen de reserva del sistema eléctrico interconectado, Margen de reserva operativo del sistema eléctrico interconectado, Porcentaje del promedio de paros en generación (SAIFI), Tiempo de interrupción por usuario (antes TIU ahora SAIDI), y Pérdidas totales de energía eléctrica. Se utiliza el documento generado por la CRE titulado Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2017 ya que dicho informe engloba los indicadores mencionados y algunos más, permitiendo mostrar los niveles de confiabilidad existentes en el sistema eléctrico nacional. Por otra parte, se obtuvieron datos referentes a estos indicadores a través del sistema de información energética, el cual utiliza datos de SENER y CFE principalmente, para contrastarlos con lo mencionado en el reporte de la CRE. Cabe aclarar que los datos recabados en su mayoría representan el funcionamiento de la CFE ya que esta era la única entidad encargada de generar y suministrar energía eléctrica hasta antes de la reforma energética de 2013.

Para comprender como la CRE observa estos indicadores y evalúa la confiabilidad del SEN, en este documento se incluye una síntesis de su propuesta de 2018, con la finalidad de dar contexto. En el documento se establece que es la primera vez que la CRE realiza esta evaluación dado el mandato que tiene por parte de la LIE para dar confiabilidad al sistema eléctrico nacional, la cual realiza a través de parámetros cuyos valores mínimos de desempeño puedan ser observados para mantener las condiciones de disponibilidad, calidad y continuidad del servicio eléctrico. Por lo que, con la regulación vigente, necesitó aplicar nuevos indicadores que son utilizados internacionalmente o reformular algunos otros como los indicadores propios de CFE, entre estos últimos encontramos el Tiempo de Interrupción por Usuario (TIU) ahora SAIDI.

De esta forma, para asegurar que el sistema cuente con la capacidad suficiente para una operación confiable, la CRE tuvo que crear Protocolos correctivos y preventivos<sup>104</sup> que consisten en procedimientos expeditos que debe seguir el CENACE para gestionar la contratación de potencia en casos de emergencia, es decir, cuando los demás mecanismos de Confiabilidad no le permitan responder a estas condiciones de emergencia afectando los márgenes de reserva, al punto de colocar al SEN en una situación inminente de racionamiento que pueda afectar el suministro de energía eléctrica a los usuarios. El protocolo preventivo, se aplica cuando el CENACE identifica que el SEN está próximo a entrar en estado operativo de emergencia, y existen las condiciones suficientes para llevar a cabo un proceso de evaluación competitivo para la contratación de potencia. En este protocolo, la CRE evalúa ex-ante la alternativa o combinación de alternativas, y selecciona aquella que represente la opción técnica más conveniente para evitar la condición de emergencia. Mientras que el protocolo correctivo, se aplica cuando el CENACE identifica que el SEN está próximo a entrar en estado operativo de emergencia, y no hay suficiente tiempo para llevar a cabo un proceso de evaluación competitivo para la contratación de potencia. En este protocolo, la CRE evalúa de manera ex-post, las acciones tomadas por el CENACE.

En esta misma línea a partir de la reforma energética de 2013 la generación y suministro de energía eléctrica pasó de un monopolio estatal a funcionar a través de un mercado, por lo que la CRE tuvo que establecer en 2016 un requisito mínimo de potencia<sup>105</sup> que deben cumplir los suministradores y los usuarios calificados participantes del mercado, con el objeto de proporcionar una herramienta de confiabilidad a través de la cual se garantice la instalación de capacidad de generación suficiente en el SEN para cumplir con los márgenes de reserva de planeación. El requisito de adquisición de potencia se determina a partir de la demanda de los centros de carga en las horas críticas del SEN y de la Reserva de Planeación mínima prevista en la Política de Confiabilidad<sup>106</sup>.

Con lo anterior la CRE declara poseer herramientas para evaluar y monitorear el desempeño del SEN al agregar criterios operativos como: Margen de reserva operativo; Frecuencia; Tensión; Ocurrencia e impacto de Disturbios en el SEN; Estados de alerta y de emergencia en el SEN; Déficit de potencia en el SEN; Salidas de centrales generadoras; Criterios del Código de Red aplicables a la planeación del SEN; y Principales obras del PRODESEN.

Para realizar estos indicadores el CENACE, la CRE y CFE ya conocen el comportamiento de la demanda de energía eléctrica en el país tanto por regiones como por periodos de tiempo,

---

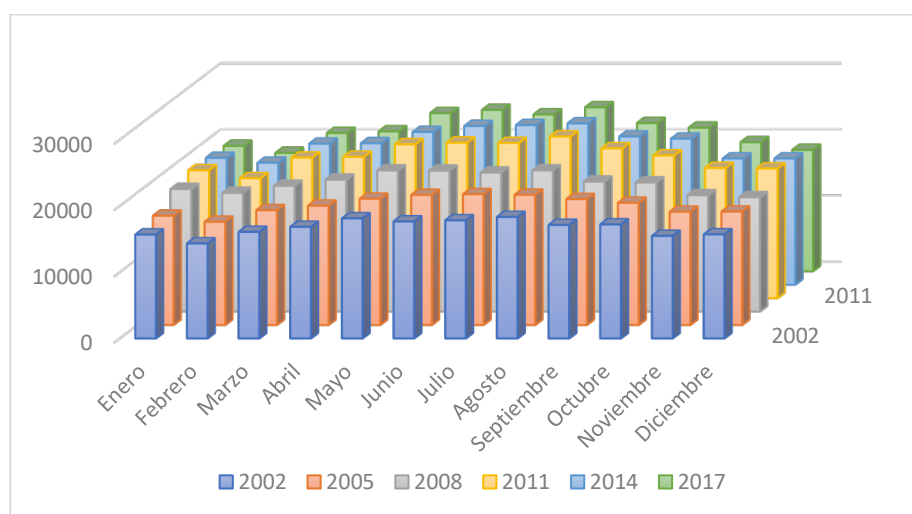
<sup>104</sup> Acuerdo A/073/2015 publicado por la CRE con base en los artículos 12, fracción XXII y 135 de la LIE.

<sup>105</sup> Resolución RES/916/2015, publicada en el DOF el 14 de enero de 2016.

<sup>106</sup> [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017)

estaciones del año, meses, días e incluso su comportamiento por horas. A este comportamiento muchas veces se le conoce como demanda máxima coincidente, y permite tener un estimado de la cantidad de energía eléctrica que se requerirá generar. De esta forma saben si es necesario poner a funcionar o apagar centrales para mantener la potencia y frecuencia del sistema. La IEA a través del documento solicitado a Jewell (2011) donde genera su índice MOSES nos invita a tomar en cuenta algo muy parecido a esta demanda máxima coincidente nombrando a su indicador volatilidad media anual de la producción con la finalidad de mostrar los niveles de producción en los distintos periodos del año haciendo posible estimar aquellos periodos donde será necesaria una mayor producción de energía eléctrica, así como analizar las posibles nuevas inversiones en generación. Para lo cual se obtuvo la información de la generación bruta mensual de energía eléctrica para distintos años y así mostrar parte de su comportamiento.

Gráfico 3.28 Generación Mensual de Electricidad (GWh)



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Como se puede observar en el Gráfico 3.28 la generación aumenta razonablemente con el pasar de los años, pero es innegable su comportamiento mensual, con el que claramente se puede observar un patrón de cómo se desarrolla la generación durante el año y los meses en que se tiene una mayor demanda de energía eléctrica, los cuales se encuentran durante el verano, así como el mes de enero. La información anterior permite de igual manera saber con qué recursos se cuenta dependiendo la estación o mes del año y saber que centrales eléctricas serán las primeras en utilizarse para proveer la oferta de electricidad.

Respecto al margen de reserva operativo (MRO), este se refiere a la capacidad en MW de Centrales Eléctricas o Recursos de Demanda Controlable que pueden incrementar su generación o consumo dentro de un lapso establecido, combinando tanto reserva rodante como no rodante<sup>107</sup>. En este

<sup>107</sup> Reserva rodante: Capacidad en MW de Centrales Eléctricas o Recursos de Demanda Controlable sincronizados a la red eléctrica para incrementar su generación o reducir su consumo dentro de un lapso establecido. Reserva No Rodante: Capacidad en MW de Centrales Eléctricas o Recursos de Demanda Controlable desconectados de la red eléctrica, que puedan sincronizar y entregar su potencia disponible dentro de un lapso establecido. Definiciones 2.1.120 y 2.1.118 respectivamente publicadas en el DOF el 08/09/2015 en el Acuerdo por el que la Secretaría de Energía emite las Bases del Mercado Eléctrico.



punto CENACE debe asegurar que la reserva operativa este compuesta por al menos 50% de reserva rodante.

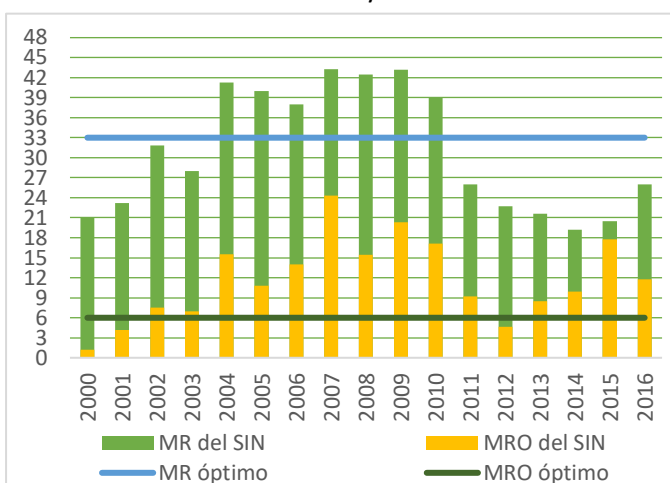
Cuadro 3.3 Niveles de Reserva Operativa para los estados operativos del SEN

| Estado Operativo    | Reserva Operativa (RO) |           |
|---------------------|------------------------|-----------|
|                     | SIN                    | Otros     |
| <b>Normal</b>       | ≥6%                    | ≥11%      |
| <b>Alerta</b>       | 3%≤RO< 6%              | 4%≤RO<11% |
| <b>Emergencia</b>   | RO<3%                  | RO<4%     |
| <b>Restaurativo</b> | N/A                    | N/A       |

Fuente: CRE. (2018) Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2017

Con los datos recabados del SIE y CFE es evidente en el Gráfico 3.29, que en el periodo de 2000 a 2016 existieron tres casos en los cuales el MRO estuvo por debajo del 6% establecido por la CRE como estado operativo normal —Cuadro 3.3—, con un solo caso que ameritó el estado de emergencia y los dos subsecuentes en niveles de alerta. Mientras que el nivel más alto se presentó en el año 2007, cuando prácticamente se cuadruplicó, asemejándose más al margen de reserva que al MRO. Dos años más tarde el valor del MRO vuelve a triplicar su nivel óptimo para después comenzar una reducción que duró hasta el año 2015, año en que nuevamente casi triplica su nivel óptimo, manteniéndolo casi al doble en el siguiente año. Lo cual, si bien no perjudica y en cambio mantiene al sistema en funcionamiento y en niveles confiables, sobrepasando por el doble o el triple los mínimos necesarios de reserva operativa, también puede significar consumos e inversiones no eficientes, ya que las centrales generadoras estuvieron funcionando —si bien en niveles bajos en la mayoría de los casos— con un uso de recursos por si se llegaran a requerir, haciendo uso de recursos que pudieron ser usados de forma más eficiente o correcta.

Gráfico 3.29 MRO y MR en el SIN



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

En el caso del margen de reserva, este indicador expresa la diferencia entre la capacidad efectiva de generación y la demanda máxima bruta coincidente dividida entre ésta última. Generalmente es presentado en forma de porcentaje y al igual que el anterior entre mayor sea el porcentaje del margen, existirá un menor riesgo en la confiabilidad del sistema. Si bien el nivel óptimo para el margen de reserva es de 33%, el cual solamente fue rebasado durante el periodo de 2004-2010 algunos autores como Rodríguez (2018) han tomado como nivel aceptable el

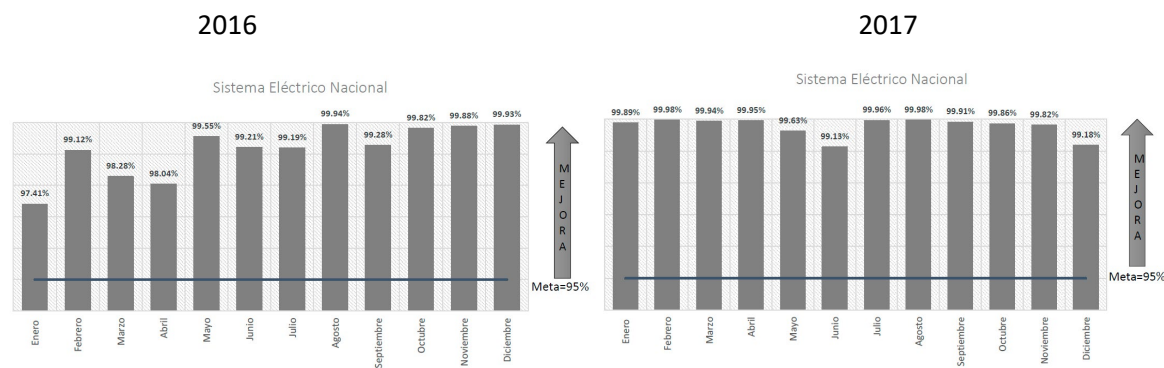
27%. Aun así con esta reducción en cuanto al nivel aceptable de Margen de Reserva, es preocupante

que desde el año 2011 no se ha podido alcanzar dicho nivel, el cual sirve para que el sistema funcione de manera confiable.

Lo anterior es contrario a lo que se ha publicado en otros trabajos como en Rodríguez (2018a) donde los datos muestran que este nivel fue rebasado en la mayoría de los años y por un porcentaje bastante más elevado que el óptimo, por lo que normalmente se acusaba de existir una sobreinversión en el sistema eléctrico nacional que podía ser aprovechado como lo mencionó Andrade (2007) en un artículo publicado en energía a debate<sup>108</sup> “El sobrado margen de reserva actual debe ser pie del rejuvenecimiento del parque de generación. No debe ser una razón para detener su expansión y su modernización”, oportunidad lamentablemente desaprovechada cuando se tuvo esa sobrecapacidad. Por lo que, con los niveles actuales, SENER debe ser cuidadosa a la hora de seleccionar las centrales que se darán de baja para dar cabida a las nuevas que usarán fuentes energéticas limpias. La diferencia existente entre los niveles del Margen de Reserva puede deberse a la recolección de datos a través de distintas fuentes, los datos expuestos aquí fueron recolectados a través del SIE con datos anuales de CFE y las prospectivas del sector eléctrico emitidas por SENER.

Para estos mismos indicadores, en el reporte realizado por la CRE, se mide la confiabilidad del estado operativo del sistema prestando atención en la cantidad de horas en que el sistema se encuentra en estado operativo normal, tomando algunas reservas como no considerar los primeros 105 minutos después de un evento de pérdida de generación en el que se haya utilizado la reserva ante contingencia y donde la reserva operativa fuera menor al 6% de la demanda del sistema a esa hora. Por lo que la meta operativa del CENACE recae en mantener el sistema en estado operativo el 95% del tiempo o más.

Gráfico 3.30 MRO en el SEN con meta operativa



Fuente: Elaborado por la CRE, con información del CENACE.

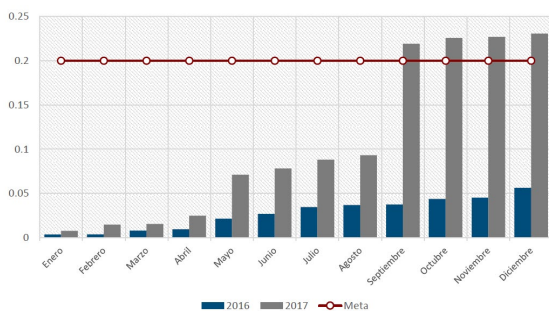
En ambos periodos del Gráfico 3.30, el sistema cumplió la meta de trabajar más del 95% del tiempo por mes en estado operativo normal, inclusive el año 2017 fue mucho más estable y con porcentajes más elevados al mantenerse en todo el año en más del 99% del tiempo operando normalmente. En el documento se observa que en el año 2016 esas variaciones fueron producto de los sistemas aislados de Baja California Sur y Mulegé donde este último no cumplió con la meta de 95% en Enero de ese mismo año, esto no significa que estos sistemas aislados sean los de menor confiabilidad ya que en 2017 los sistemas que provocaron los niveles más bajos de tiempo en operación normal

<sup>108</sup> Andrade, Eduardo. (2007, septiembre-octubre). El margen de reserva de CFE. Energía a Debate, 4(22), 35.

fueron el sistema interconectado nacional y nuevamente el de Baja California Sur, requiriendo un análisis más detallado mes por mes para averiguar por qué cada uno de los sistemas no mantuvo su confiabilidad a niveles más altos. El único contra de utilizar tanto el MRO y el MR como hace la CRE, es que omite explicitar cuándo el sistema no cumplió con estar en estado normal, es decir, qué niveles de MR y MRO se presentaron en aquellos meses que no se tuvo el 100% del tiempo al sistema en estado operativo.

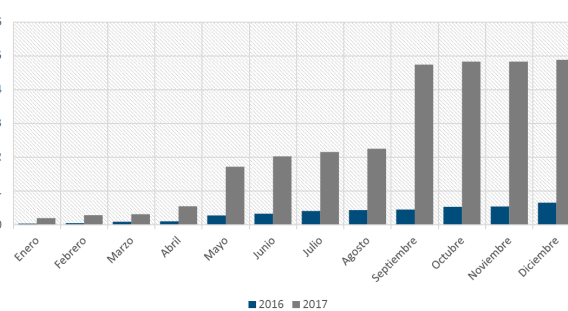
Para la Red Nacional de Transmisión (RNT) la CRE utiliza el indicador SAIFI el cual entrega la frecuencia promedio de interrupciones, es decir, el número de interrupciones promedio que experimenta un usuario final dentro de la RNT con el objetivo de evaluar su continuidad. Solo son consideradas las interrupciones mayores a 5 minutos ocurridas dentro de la RNT atribuibles a su operación y debidas a causas de fuerza mayor o casos fortuitos.

Gráfico 3.31 Acumulado mensual de SAIFI atribuible a causas operativas. (2016 y 2017)



Fuente: Elaborado por la CRE, con información del CENACE.

Gráfico 3.32 Acumulado mensual de SAIFI Total atribuible a causas operativas y caso fortuito o de fuerza mayor. (2016 y 2017)



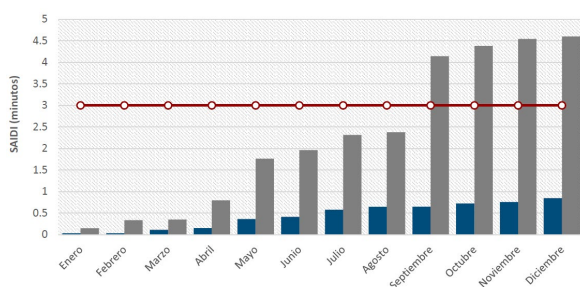
Fuente: Elaborado por la CRE, con información del CENACE.

El SAIFI máximo permitido por la CRE<sup>109</sup> a nivel nacional no debe ser mayor a 0.20 interrupciones promedio anual por usuario final, siempre y cuando estas interrupciones sean atribuibles a la operación. Para las interrupciones generadas por fuerza mayor o casos fortuitos no se ha establecido meta alguna. En los Gráfico 3.31 y 3.32 es fácil colegir que las interrupciones promedio acumuladas por mes se dispararon de un año a otro, por lo que a partir de septiembre del 2017 no se cumplió con la meta establecida. El informe de la CRE establece que el repunte y aumento repentino de un año a otro se debió al sismo ocurrido en el mes de septiembre del mismo año, que causó grandes afectaciones dejando a la población sin electricidad por varias horas e incluso en algunos lugares por días. No obstante, si bien en este mes se registró un aumento bastante elevado, el aumento ya venía desde el mes de mayo y para septiembre el SAIFI ya no cumplía con la meta propuesta por la CRE, recordando que en esta meta solo se contemplan las fallas que se suscitaron por la operatividad del sistema, por lo que se debe investigar este aumento repentino para conocer sus causas y prevenirlas.

<sup>109</sup> Establecido en “Las disposiciones administrativas de carácter general en materia de acceso abierto y prestación de los servicios en la red nacional de transmisión y las redes generales de distribución de energía eléctrica” publicadas en el DOF el 16 de Febrero de 2016. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5425779&fecha=16/02/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5425779&fecha=16/02/2016).

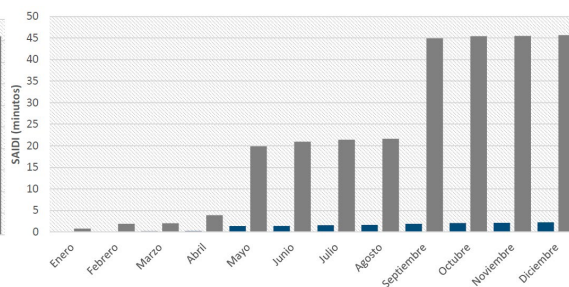
En este mismo sentido tenemos al indicador SAIDI, el cual se refiere al promedio de tiempo que un usuario final permanece sin servicio de energía eléctrica. El tiempo promedio es medido en horas de afectación en el servicio al usuario final, ya sea por causas operativas, de fuerza mayor o casos fortuitos. Al igual que en el SAIFI en el conteo solo se consideran aquellas interrupciones por operatividad, iguales o mayores a cinco minutos, estableciendo la CRE un máximo tres minutos promedio anuales de afectación por usuario como meta.

Gráfico 3.33 Acumulado mensual de SAIDI atribuible a causas operativas. (2016 y 2017)



Fuente: Elaborado por la CRE, con información del CENACE.

Gráfico 3.34 Acumulado mensual de SAIDI Total atribuible a causas operativas y caso fortuito o de fuerza mayor. (2016 y 2017)



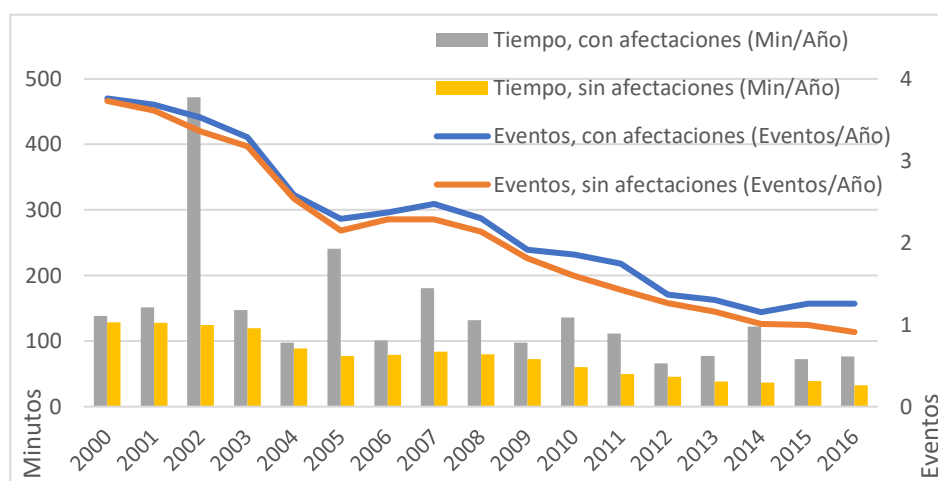
Fuente: Elaborado por la CRE, con información del CENACE.

Siguiendo los patrones establecidos en el SAIFI, el SAIDI (Gráfico 3.33 y 3.34) a partir del mes de septiembre de 2017 no cumple con la meta propuesta para la duración máxima promedio de interrupción por usuario, ya que era de esperarse que, si las interrupciones crecieron abruptamente en ese mes, la duración de interrupciones debió hacer lo mismo. No obstante, con este indicador se nota que la recuperación después de una falla por operatividad en el sistema eléctrico mexicano es relativamente pronta. Como se mencionó, una vez que el SAIFI aumenta es de esperar que SAIDI haga lo mismo, el tamaño de su incremento fue de menor tamaño respecto al SAIFI, al crecer el SAIDI en cerca del 60% de agosto a septiembre de 2017, mientras que el incremento del SAIFI fue del 100% en el mismo periodo, indicando que, aunque la cantidad de fallas se duplicara, la duración de estas fue menor al promedio. Aun así, una vez que se agregan las fallas por causas de fuerza mayor y eventos fortuitos los niveles de SAIDI se elevan en gran medida, pero sin llegar a rebasar la hora de interrupción en promedio.

Los datos proporcionados por CFE<sup>110</sup> (Gráfico 3.35), con los cuales evaluaba la operatividad sistémica antes de la reforma energética de 2013, muestran niveles de interrupción mayores a los mostrados por SAIFI y SAIDI de la CRE. A pesar de ello, los indicadores de CFE exponen niveles a la baja con el pasar de los años por lo que podría decirse que se cumplía el compromiso de mejorar los niveles de confiabilidad de la red.

<sup>110</sup> No incluyen Área Central

Gráfico 3.35 Eventos y duración de interrupciones por usuario al año



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE y CFE

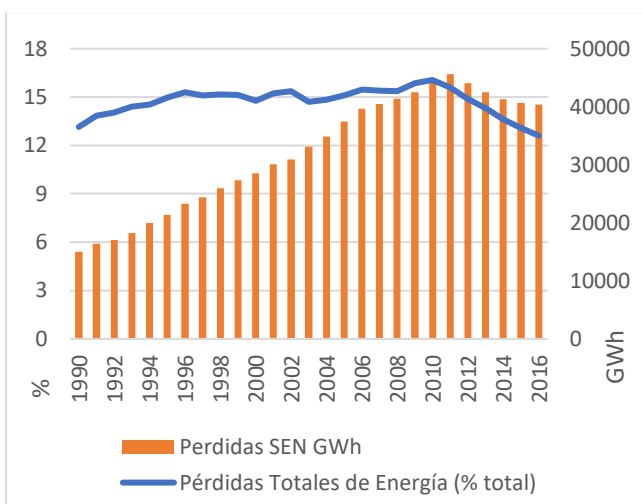
Respecto a las pérdidas de energía eléctrica dentro del SEN, estas pueden tener múltiples causas del porque se generaron, de modo que normalmente se clasifican en: 1) técnicas<sup>111</sup>: ya sea perdidas naturales por las propiedades físicas de la energía, perdidas por la operatividad en la generación o afectaciones en la red igualmente por operatividad; y 2) no técnicas<sup>112</sup>: por sucesos no previstos, o por “malas prácticas” por parte de los ciudadanos. Muchas veces estas pérdidas solo son visualizables e importan, cuando su valor económico afecta de alguna manera el funcionamiento del sistema o su financiación, por lo que primero se deben identificar y clasificar, para después buscar soluciones que permitan reducir las por lo menos al mínimo estándar internacional que garantice su eficiencia<sup>113</sup>.

<sup>111</sup> Guillermo Pineda M. y Jorge Pedroza R. explican en un artículo de energía a debate publicado en 2016 que las perdidas técnicas “consisten en la dispersión de energía en los componentes eléctricos por aspectos normales de funcionamiento de la instalación y que van relacionadas al mantenimiento de los equipos e instalaciones, así como su obsolescencia. Para hacer llegar la energía eléctrica desde el generador al usuario final debe conducirse por una red de transmisión y distribución que puede recorrer miles de kilómetros. Cuando la corriente circula grandes distancias, los electrones chocan entre sí y transforman parte de la energía eléctrica en energía calorífica. A este fenómeno se le conoce como efecto Joule. A este efecto se suma la energía que se disipa a pasar por una serie de instrumentos como transformadores de voltaje, circuitos de distribución de media y baja tensión, acometidas y medidores.” <https://www.energiaadebate.com/perdidas-electricas-en-mexico/>

<sup>112</sup> Igualmente, Guillermo Pineda M. y Jorge Pedroza R. explican que las perdidas no técnicas “Se originan por errores en la medición, facturación y por “malas prácticas” de los consumidores como lo son las instalaciones no autorizadas (“diablitos”) y las alteraciones en los medidores de luz, siendo algunos de los más comunes.” <https://www.energiaadebate.com/perdidas-electricas-en-mexico/>

<sup>113</sup> La IEA muestra el promedio mundial de pérdidas de electricidad en 8% y el promedio de la OCDE en 6% al año 2015.

Gráfico 3.36 Pérdidas de energía en el SEN



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

En el caso del sector eléctrico mexicano saber el total de pérdidas dentro del sistema eléctrico nacional en niveles, toma relevancia debido a que muchas veces los informes muestran que año con año el porcentaje de pérdidas de generación se va reduciendo. Sin embargo este indicador por su misma construcción al utilizar porcentajes, no logra observar el total de la energía que representan estas pérdidas, ya que al incrementarse año con año la cantidad de energía eléctrica generada — ya sea por el aumento de la población con acceso, o el número de personas que la utilizan, o por el mismo crecimiento económico—la proporción de pérdidas

respecto a la generación total disminuye, haciendo creer que el incremento de las pérdidas es muy reducido e insignificante como para preocuparse por él o inclusive puede llevar a creer que estas se han reducido de forma considerable.

En el Gráfico 2.36 podemos darnos cuenta de lo expresado anteriormente. Si se visualiza únicamente la línea, ésta únicamente representa el porcentaje de pérdidas del total de generación, porcentaje que se redujo menos de un punto porcentual en todo el periodo. Y a pesar de ello en el mismo gráfico se puede observar con ayuda de las barras —que representan la cantidad de energía perdida en GWh—, que la cantidad de energía perdida tuvo un aumento más drástico que el visualizado en los porcentajes hasta el año 2011, año en que se genera un punto de inflexión después del cual en ambos indicadores se muestra una disminución tanto de los porcentajes como de la cantidad de pérdidas de energía, teniendo en este último año pérdidas por el 12% de la generación, el valor más bajo de los porcentajes pero que representa más del doble en GWh de las pérdidas de 1990 con un porcentaje de poco más de 13% en ese entonces. Esto en un mundo en el que nos preocupamos por ser más sustentables día con día y se anhela un desarrollo que siga estas pautas, las pérdidas deberán tomar mayor relevancia y reducirse tanto en porcentajes como en GWh, pero en mucho mayor medida representadas en estos últimos, llegando al punto en el que las pérdidas sean solo aquellas necesarias para el funcionamiento del sistema eléctrico nacional.

Dentro de los indicadores de resiliencia analizados en esta investigación pero que no fueron tomados en cuenta en el documento de la CRE se incluyen los niveles de almacenamiento. En virtud de que el contar con almacenamiento energético permite asegurar la oferta energética. De tal forma que si fuera posible almacenar la energía eléctrica ya generada, se podría elevar la seguridad del suministro y se ejercería un mejor uso de recursos energéticos, impactando en la eficiencia tanto del sistema como en la eficiencia energética general. El problema es que actualmente este almacenamiento eléctrico no es posible, o mejor dicho no es viable en la actualidad en los niveles requeridos por un sistema nacional como el de México. Por lo que al no ser posible el almacenamiento de energía eléctrica este almacenamiento se debe realizar en los combustibles y energéticos requeridos para llevar a cabo la generación eléctrica, volviendo necesario contar con

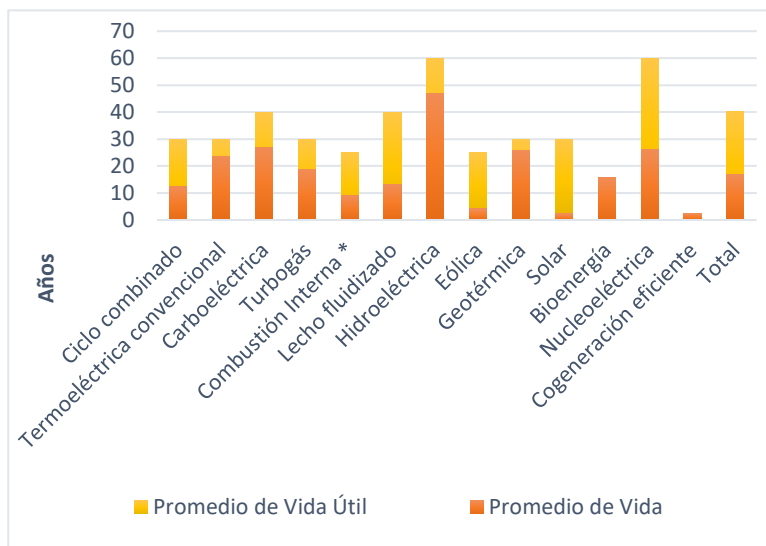


lugares especiales para llevar a cabo este almacenamiento. A la fecha SENER ha informado a través de un comunicado publicado el 26 de marzo del 2018 titulado Política Pública en materia de Almacenamiento de Gas Natural que espera alcanzar niveles de almacenamiento a futuro de este energético con infraestructura a cargo de CENAGAS, empezando con 5 días de almacenamiento — 45 billones de pies cúbicos— para el año 2026.

En el caso del almacenamiento de CFE para combustóleo y Diesel, este será remplazado para almacenar gasolinas, ya que actualmente se cuenta con un almacenamiento de 3 días de venta en terminales de almacenamiento y distribución de estos petrolíferos, esperando alcanzar niveles entre 12 y 14 días para el año 2025. Con el fin de aprovechar al máximo las instalaciones con las que cuenta CFE, debido a que con la restructuración del sistema eléctrico se ha ido reduciendo el consumo de combustóleo y Diesel, razón por la cual según la visión del gobierno actual no será necesario mantener los niveles de almacenamiento existentes.

Otro indicador de resiliencia analizado en esta investigación es la edad media de las plantas, sugerido en documentos de la IEA y que ayuda a prevenir posibles riesgos por fallas en las centrales de generación del sistema eléctrico. Fallas que se presentan más a menudo en centrales de mayor edad, lo que también las lleva a estar un mayor tiempo en mantenimiento reduciendo el margen de reserva y margen de reserva operativo.

Gráfico 3.37 Vida Útil Centrales Eléctricas



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

La edad media del sistema eléctrico nacional se acerca a los 17 años al año 2017, es decir la edad media. Los tipos de centrales con edades promedio avanzadas y que son motivo de alerta, dada su edad promedio útil, son la geotérmica que lleva una vida útil del 85%, la termoeléctrica convencional que se ha renovado en el último siglo por ciclo combinado, la hidroeléctrica que se desarrolló a mediados de los 60's y que se tiene planeado comenzar a renovar a partir del 2022 principalmente a pequeña escala, y las carbo-eléctricas.

De lo anterior se advierte que las tecnologías que utilizan energéticos más contaminantes a excepción de la hidroeléctrica son aquellas con mayor edad, ya que en el siglo pasado se desarrollaron en todo el mundo en los sistemas eléctricos, proceso que cambió a nivel mundial y en el país, con la instauración de centrales con tecnologías más limpias en prospectiva y desarrollo, e incluso en funcionamiento. De esta forma, el Gráfico 3.37 revela que el sistema eléctrico mexicano presenta signos de envejecimiento, por lo que es necesario invertir para que las plantas existentes continúen y crezcan tal como se preveía en la reforma energética del 2013, con el acceso de

privados para generación de energía eléctrica en el mercado mayorista. Empero no se debe olvidar que la planeación del sistema recae en la SENER y ésta deberá equilibrar las distintas centrales de generación debido a que muchas de las tecnologías limpias en la actualidad son de generación variable y se debe de contar con tecnologías base que mantengan la generación y su confiabilidad.

En este apartado se ha validado con el uso de indicadores de seguridad energética las vulnerabilidades del sector eléctrico mexicano, ya que a partir de datos disponibles se revelaron preocupaciones de seguridad energética actuales e históricas que proporcionaron información sobre el estado del sector durante del periodo 1990-2016. Se delineó el contexto del funcionamiento del sector eléctrico mexicano y establecieron los principales energéticos utilizados para generación eléctrica, cómo se ha desarrollado la demanda de electricidad respecto al incremento de la población, cuáles son los recursos energéticos propios del país, y cómo se ha cubierto la oferta nacional con las importaciones de energéticos; también se mostró que tan concentrada está la generación eléctrica tanto en consumo de combustibles como en las tecnologías utilizadas para transformación ya sea en su uso o en capacidad, y los niveles de infraestructura tanto para generación como para la transmisión y distribución de electricidad; por último se expusieron los niveles de resiliencia del sistema y su impacto en la seguridad del funcionamiento del sector eléctrico ante potenciales alteraciones.



## Conclusiones del capítulo

Entendiendo el papel tan importante que tiene la energía para el desarrollo de los países, resulta imperante asegurar la seguridad energética y garantizar los requerimientos energéticos de la población y el país en su conjunto. Sin esta seguridad y por ende una posible indisponibilidad de energía, se impondrían efectos adversos tanto para la sociedad —al no apoyar funciones vitales como la salud, educación, etc.—, como en la economía de las familias y las empresas —por alza de precios o paro total—, afectando negativamente la economía del país.

Por esta razón muchos intelectuales han estudiado cómo mantener la seguridad energética al interior de los países, definiéndola, en su versión más concisa, como el suministro energético ininterrumpido a precios asequibles. Como se mencionó, en muchas de estas investigaciones se ha intentado incorporar a esta definición más conceptos y objetivos para complementarla y ajustarla a los diferentes casos de estudio, haciendo de esta una definición multidimensional. Para fines de este trabajo queda definida como la baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales, los cuales están conformados por los recursos energéticos, la infraestructura, y los usos de la energía. Esta definición, fue tomada del trabajo de Cherp y Jewell (2014), en vista de su alcance, que contiene los lineamientos y perspectivas de seguridad energética del gobierno mexicano.

En este trabajo el sector eléctrico es visto como un sistema energético vital por lo que se siguen sus flujos de energía y se prioriza su función social crítica, entendida cómo mantener un suministro eléctrico confiable, eficiente, flexible y de calidad —calidades contenidas en las leyes mexicanas y por ende en las políticas energéticas del país—. Este enfoque permitió presentar el contexto del funcionamiento del sector eléctrico mexicano y sus problemas específicos, al identificar entre otros, cuáles son los principales energéticos utilizados para generación eléctrica, cuáles los recursos energéticos propios del país y cómo se ha cubierto la oferta nacional con las importaciones de energéticos, exponiendo los niveles de resiliencia presentes en el sistema y cómo brindan seguridad al funcionamiento del sector eléctrico ante posibles alteraciones. Al complementar el enfoque de sistemas energéticos vitales con el marco de evaluación de Larsen et al (2017), también se validaron las siguientes vulnerabilidades del sector eléctrico mexicano: Falta de capacidad de generación para satisfacer la demanda interna a corto y mediano plazo; No mantener un suministro eléctrico ininterrumpido ante cambios repentinos en la disponibilidad de recursos energéticos; Falta de calidad en el servicio; Variabilidad inherente de las VRES y desequilibrios repentinos a corto plazo debidos a pronósticos imprecisos de la demanda o problemas técnicos; Rendimiento y adecuación de la red; Concentración en el uso de recursos energéticos para generación; Dependencia de combustibles fósiles; Altos niveles de dependencia en la importación de insumos energéticos para generación; y Falta de acceso a la electricidad por parte de la población.

## Capítulo 4. Seguridad del Sector Eléctrico Mexicano

Delineado el panorama del funcionamiento del sector como sistema energético vital y establecidas las vulnerabilidades en las que puede sucumbir, en este capítulo se propone un índice general de seguridad del sector eléctrico para observar y contextualizar su seguridad, con el propósito de que este sector logre su función social crítica: proveer energía de forma continua y asequible<sup>114</sup>. Dado que en el capítulo anterior se utilizaran cerca de 30 indicadores que revelaron el estado del sector, resultaba evidente la dificultad analítica para contextualizar toda esa información, por lo que el índice aquí presentado es sintético, conciso y permite una mejor y más clara comprensión del estado del sector y sus posibles vulnerabilidades.

El índice está integrado por 11 dimensiones compuestas en su mayoría entre uno y tres indicadores. Estas dimensiones revelan las vulnerabilidades del funcionamiento del sector eléctrico mexicano al reflejar sus riesgos y sus capacidades de resiliencia a través de los indicadores escogidos, los cuales fueron normalizados para arrojar valores entre 0 y 1 con el fin de unificarlos a través de una ponderación igualitaria que mida la seguridad existente en cada dimensión. Esto permite hacer comparaciones entre distintos periodos, mostrando como se ha incrementado o reducido la seguridad en cada dimensión. Cabe aclarar que el índice no sirve como medida exacta de la seguridad del sector eléctrico, ya que su enfoque está dirigido a mostrar la evolución de cada una de las dimensiones a lo largo del tiempo para exponer las tendencias de su evolución. De esta forma el índice contribuye a la seguridad del sector eléctrico al detectar aquellos aspectos que ayudan a mantener y mejorar la seguridad del sector eléctrico, funcionando también como un sistema de alerta temprana para prevenir problemas a futuro, dados los retrasos en hacer efectiva la inversión en el sector. Por consiguiente, este índice general de seguridad del sector eléctrico muestra de forma fácil, concisa y explicativa, a través de una toma instantánea, cómo se encuentra la seguridad en el sector eléctrico mexicano en un momento dado para contrastarlo con los valores de otros años.

### Introducción.

Una vez delimitado el sector eléctrico mexicano como un sistema energético vital, se propone la construcción y uso de un índice general que permita observar y contextualizar su seguridad. Este índice retoma el enfoque de seguridad energética elegido en esta investigación al buscar la baja vulnerabilidad del sistema eléctrico mexicano, según lo expuesto en el capítulo anterior y que se fundamenta en la definición propuesta por Cherp y Jewell (2014). De esta forma el índice permite el seguimiento de los flujos de la energía, desde la continuidad en la obtención de los combustibles utilizados para generación eléctrica, su transformación en electricidad —tomando en cuenta la flexibilidad del sistema eléctrico—, seguido de la fiabilidad en la infraestructura de transmisión y distribución para ser entregada como producto final, así como la resiliencia con la que cuenta el sistema eléctrico, sin olvidar las preocupaciones actuales por las emisiones contaminantes, con el fin de facilitar el mayor uso de aquellas tecnologías más amigables con el medio ambiente, siempre buscando la seguridad del sistema eléctrico y el cumplimiento de su función social crítica: mantener un suministro eléctrico confiable, eficiente, flexible y de calidad.

---

<sup>114</sup> En su forma más concisa.

Dicho lo anterior, el índice general se divide en once dimensiones —basadas en el trabajo de Larsen et al. (2017)— las cuales utilizan los indicadores más relevantes para el sector eléctrico y para el caso mexicano, en virtud de lo cual se hace uso de las principales estadísticas disponibles en el país, las cuales permiten la mayor y más directa comprensión del índice y del estado de la seguridad del sector eléctrico mexicano y una percepción más clara y concisa de la continuidad del suministro energético en el sector eléctrico. Lo que posibilita comparar distintos periodos y mostrar cómo las políticas aplicadas durante el periodo de estudio han reducido o exacerbado las vulnerabilidades del sector eléctrico mexicano. El índice también enfoca los factores que representan algún riesgo para la continuidad, al mismo tiempo que su uso reduce el doble conteo de aspectos potencialmente menos importantes, pese a perder la monitorización de algunas otras características del funcionamiento del sistema. Cabe aclarar que con el índice no se pretende presentar una medida exacta de la seguridad del sector eléctrico, si no mostrar las tendencias de su funcionamiento y desarrollo y detectar los factores que mantienen e impactan —positiva o negativamente— la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética del país.

Por consiguiente, el fin de este índice general de seguridad del sector eléctrico es mostrar de una forma fácil, concisa y explicativa el estado de la seguridad en el sector eléctrico mexicano en un momento dado y observar, en primera instancia las vulnerabilidades en la seguridad, información necesaria al evaluar las políticas energéticas nacionales y sectoriales y establecer si las vulnerabilidades fueron consideradas en el diseño y aplicación de las políticas. De ser así, habrá casos donde la planeación energética sobrelleve estas vulnerabilidades por un periodo de tiempo establecido, con la intención de en un plazo mayor, obtener un nivel superior de seguridad en el sector eléctrico, y beneficios económicos o sociales durante un periodo de tiempo determinado, por dar ejemplos. Asimismo, el índice concede una alerta temprana —al comparar distintos periodos y observar su evolución— de los distintos riesgos que podrían existir en la seguridad del sector eléctrico a futuro, una vez que la evaluación de las políticas muestre externalidades no previstas, posibilitando ejercer las modificaciones pertinentes para favorecer el desarrollo pleno del sector, como puede ser una mayor inversión, diversificación o renovación de las capacidades existentes.

## Índice General de Seguridad del Sector Eléctrico

Construir el índice es crucial para los fines de esta investigación debido a que propicia centrarse en los aspectos más relevantes del sector eléctrico, al observar y contextualizar la seguridad del suministro eléctrico, una vez delineados sus límites y posibles vulnerabilidades. Un punto clave es que la construcción y desarrollo de este índice se realizó con especial énfasis en las características y aspectos intrínsecos del sector eléctrico mexicano, por lo cual muchos de los indicadores utilizados no tendrán la misma relevancia al aplicarse a otras regiones. Es por esta razón que en la designación de los indicadores a utilizar se tomaron en cuenta los límites del sistema energético mexicano, ya que para poder realizar su cuantificación era necesario tener claramente definido el sistema. Es decir, los límites utilizados para cada indicador se encuentran dentro de un rango que permita el funcionamiento “normal” del sector eléctrico mexicano. De este modo al contar con límites definidos y utilizar niveles de flujos, existencias, o factores económicos se logra cuantificar las vulnerabilidades existentes. No obstante, no significa que este índice de seguridad del sector

eléctrico no pueda aplicarse a otros casos, ya que su flexibilidad permite sustituir, incorporar o suprimir los indicadores necesarios que generen una mejor representación de la región seleccionada, así mismo el número y tipo de dimensiones utilizadas pueden ser modificados para adecuarlos a cada caso específico.

Mencionado lo anterior, la obtención de claridad en la monitorización de la continuidad del suministro eléctrico es una de las razones principales por la que se propone este índice General de Seguridad del Sector Eléctrico y por la cual se decidió utilizar únicamente once dimensiones, extraídas en su mayoría del marco propuesto por Larsen et al. (2017) cuyo trabajo proponía originalmente 12 dimensiones. Al interior de cada una de estas dimensiones se encuentran indicadores normalizados que arrojan valores entre 0 y 1, los cuales se unifican a través de una ponderación igualitaria para representar la seguridad existente en cada dimensión. Estas dimensiones si bien fueron extraídas del trabajo de Larsen et al. (2017) difieren de estas últimas, debido a que fueron reestructuradas y adecuadas para el caso mexicano y a la limitada disponibilidad de datos, reduciendo la cantidad de indicadores propuestos originalmente por Larsen et al. En algunas dimensiones se agregaron nuevos indicadores no contemplados en el documento original pero que poseen la relevancia necesaria para este caso de estudio, además de ser utilizados con anterioridad en otros trabajos<sup>115</sup>, algunos incluso fueron y son utilizados durante el periodo de estudio por las instituciones a cargo del sector eléctrico mexicano. Por lo tanto, las dimensiones fueron estructuradas de la siguiente forma con la intención de mostrar un seguimiento de los flujos energéticos y su continuidad al interior del sector eléctrico:

## **1. Sustentabilidad-Disponibilidad Energética**

- 1.1. Años de reserva Gas Natural
- 1.2. Años de Reserva Carbón
- 1.3. Autosuficiencia Nacional del Combustóleo
- 1.4. Autosuficiencia Nacional del Carbón
- 1.5. Autosuficiencia Nacional del Gas Natural
- 1.6. Autosuficiencia del combustóleo en el SE respecto a la oferta nacional
- 1.7. Autosuficiencia del carbón en el SE respecto a la oferta nacional
- 1.8. Autosuficiencia del gas natural en el SE respecto a la oferta nacional
- 1.9. Costo del Gas Natural para generación eléctrica respecto al PIB
- 1.10. Costo del Carbón para generación eléctrica respecto al PIB

## **2. Dependencia de las Importaciones**

---

<sup>115</sup> Entre otros: los indicadores (1.1, 1.2, 11.2 y 11.3) son usados por Wang, Q., & Zhou, K. (2017). A framework for evaluating global national energy security; los indicadores (1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8) son usados por Sovacool, B. K., Mukherjee, I., Drupady, I. M. & D'Agostino, A. L. (2011). Evaluating energy security performance from 1990 to 2010 for eighteen countries; los indicadores (9.1 y 9.2) son mencionados por Hines, P., Apt, J., Talukdar, S. (2008). Trends in the History of Large Blackouts in the United States.

2.1. Dependencia del combustible respecto a la oferta nacional (Importaciones)

2.2. Dependencia del carbón respecto a la oferta nacional (Importaciones)

2.3. Dependencia del Gas Natural respecto a la oferta nacional (Importaciones)

### **3. Acceso**

3.1. Población con acceso a electricidad

### **4. Eficiencia Regulatoria – Diversificación energética**

4.1. Diversidad en el consumo de energía para generación de energía eléctrica (IHH)

### **5. Adecuación de la generación**

5.1. Margen de Reserva (MR)

5.2. Margen de Reserva Operativo (MRO)

### **6. Condición de la Red**

6.1. Relación crecimiento de las líneas de transmisión respecto al crecimiento de la generación

6.2. Relación crecimiento de las líneas de distribución respecto al crecimiento de la generación

### **7. Gestión de la demanda**

7.1. Intensidad energética de la electricidad (kgep/USD 2011 PPA)

7.2. Demanda de Flexibilidad (Capacidad de rápida respuesta/demanda máxima bruta)

### **8. Flexibilidad del Suministro**

8.1. Flexibilidad (relación entre carga máxima suministrada por VRES y la carga flexible disponible)

### **9. Fiabilidad**

9.1. SAIDI (Sin afectaciones)

9.2. SAIFI (Sin afectaciones)

### **10. Resiliencia**

10.1. Diversidad en la generación de energía eléctrica por tipo de tecnología (IHH)

10.2. Diversidad en la capacidad efectiva de generación por tipo de tecnología (IHH)

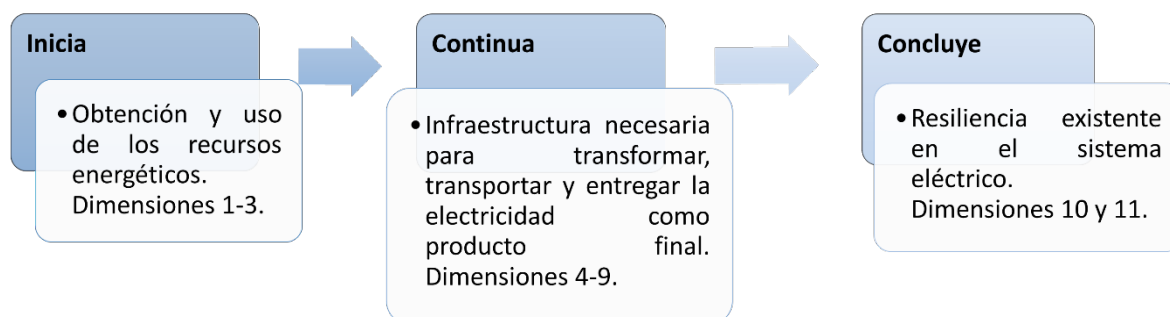
### **11. Sustentabilidad Ambiental**

11.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> (Gg de CO<sub>2</sub>e) por GWh

11.2. Generación de energías renovables respecto a la generación total bruta

11.3. Generación de convencionales respecto al total

Gráfico 4.1 Flujo energético en Índice General de Seguridad del Sector Eléctrico Mexicano



A continuación, se explica cada una de las dimensiones con el fin de comprender cómo su estructura permite avanzar a través del flujo energético en el sector eléctrico, al mismo tiempo que se representa la seguridad existente en cada dimensión al tener claramente definido el sistema eléctrico mexicano, es decir, al tomar en cuenta sus límites y cuantificar sus vulnerabilidades. Una forma simplificada de analizar esta estructura en cuanto al flujo energético se ilustra en el Gráfico 4.1 al mostrar su ruta, la cual: i) inicia con la obtención y uso de los recursos energéticos, ii) continúa con la infraestructura necesaria para transformarla, transportarla y entregarla como producto final (electricidad), y iii) concluye con la resiliencia existente en el sistema eléctrico, sin dejar de lado las preocupaciones por las emisiones contaminantes y el impacto ambiental.

**La dimensión sustentabilidad energética (1)** expresa principalmente la disponibilidad de energía para generación eléctrica, a la par que atiende la posible vulnerabilidad en la que la oferta eléctrica no pueda cubrir la demanda por falta de insumos energéticos como el carbón, combustóleo y gas natural. Por esta razón, esta dimensión incluye las reservas de los principales energéticos primarios fósiles utilizados en la generación de electricidad, con el fin de saber qué cantidad posee el país y por cuánto tiempo puede aprovechar dichos recursos, estos índices se componen de las reservas totales y la producción del año de estudio. También toma en cuenta los indicadores de autosuficiencia para considerar la proporción del consumo total —o de la oferta total nacional— cubierta con recursos propios, esto en el caso de los indicadores 1.3,1.4,1.5<sup>116</sup>. Posteriormente los siguientes tres indicadores de autosuficiencia en el Sistema Eléctrico, muestran la proporción de la oferta nacional total de los combustibles utilizados en generación eléctrica y que son ocupados por el sector eléctrico. Por último, los indicadores sobre el costo de los energéticos fósiles primarios contribuyen a la cuantificación de la seguridad al contemplar la proporción gastada del PIB en estos energéticos —gas natural y carbón—, ya que de ello puede depender la cantidad requerida para la generación eléctrica. Por otra parte, este indicador por sí sólo funciona como una alerta temprana para la asequibilidad de la generación eléctrica al observar su evolución.

**La dimensión Geopolítica (2)**, da continuidad a saber de dónde provienen los recursos que se utilizan para generar electricidad, y si su suministro puede verse afectado por el riesgo de

<sup>116</sup> Autosuficiencia Nacional del Combustóleo, Carbón y Gas natural respectivamente.

dependencia al observar hasta qué punto las importaciones son necesarias para satisfacer la demanda nacional. Es decir, con estos indicadores se sabrá el nivel de importación que se tiene tanto del combustóleo, el carbón y el gas natural. Si los valores que se obtienen son cercanos a 0 significa que existe dependencia<sup>117</sup>, por lo que deberá evaluarse la concentración en el uso del energético para generar electricidad y su concentración por parte de los proveedores para descartar que dicha dependencia pueda incurrir en una vulnerabilidad del sistema.

**La dimensión Acceso (3)**, como su nombre lo indica muestra que proporción de la población total nacional disfruta de la oferta de energía eléctrica, ayudando a visualizar en que punto del objetivo de llegar al 100% de la población se encuentra el país. Recordando la importancia histórica del sector eléctrico para que la población en general cubra sus necesidades básicas y energéticas, al mismo tiempo que les permite hacer uso de las herramientas necesarias para efectuar sus derechos.

**La dimensión eficiencia regulatoria - Diversificación energética (4)** con su indicador de diversidad en el consumo energético para generación eléctrica, muestra qué tan concentrada por tipo de energético utilizado se encuentra la generación de electricidad a través de un índice Herfindahl-Hirschman (IHH) inverso. En este indicador se toman en cuenta todas las tecnologías utilizadas para producirla, revelando que energía es la más utilizada en la matriz energética del sector eléctrico y si su uso pudiera considerarse centralizado, lo cual podría incurrir en una posible concentración del mercado con costos y precios más altos que afecten la asequibilidad de productores y consumidores respectivamente. Por otro lado, el nivel de concentración también revelaría posibles problemas en la seguridad del Sistema Eléctrico, ya que no se dispondría de una diversidad energética en la matriz del Sistema Eléctrico, recayendo gran parte de la oferta de electricidad en uno o unos pocos energéticos.

**La dimensión adecuación de la generación (5)** con sus dos indicadores MR y MRO, muestra parte de la resiliencia existente ante posibles riesgos a corto y mediano plazo de cortes en el suministro eléctrico provocados por falta de capacidad en la generación eléctrica. Estos dos indicadores contienen datos de la capacidad de generación y de la demanda máxima bruta coincidente. Expresados en porcentaje, se deberían obtener valores por encima de 13% como mínimo o un valor de 21.3% como eficiente para el primer indicador y un 6%<sup>118</sup> como mínimo para el segundo indicador, lo cual significaría que el sistema puede responder eficiente y adecuadamente a una demanda mayor de la prevista o a una repentina falta de oferta.

**La dimensión condición de la red (6)** otorga un vistazo del estado de la infraestructura de red del Sistema Eléctrico para reducir las vulnerabilidades existentes en el rendimiento y adecuación de la red eléctrica. Esto toma relevancia al incorporar cada vez más una mayor capacidad de fuentes de

---

<sup>117</sup> Esto es debido a que se está utilizando el inverso del indicador con el fin de coincidir y poder unificarse con los demás indicadores de su dimensión. Normalmente al usar este indicador, cuando no se usa su inverso, un valor de 0 representaría plena autosuficiencia, debido a que las importaciones (dividendo) serían nulas en la oferta nacional del energético en cuestión (divisor).

<sup>118</sup> Ambos porcentajes se encuentran en la legislación mexicana en el Código de Red: Apartado 2.1.6- Requerimientos de Reserva para los Estados Operativos del SEN, pp. 77.  
[https://www.cenace.gob.mx/Docs/16\\_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/\(DOF%202016-04-08%20CRE\)%20RES-151-2016%20DACG%20C3%B3digo%20de%20Red.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/SENYMEM/(DOF%202016-04-08%20CRE)%20RES-151-2016%20DACG%20C3%B3digo%20de%20Red.pdf)  
[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017)

energía variable, haciendo necesario el contar con la capacidad de transmisión y distribución suficientes para desahogar estas nuevas fuentes de energía o suplir —desde otros lados— la falta de generación, esto también aplica para otras tecnologías de generación. Por lo que se esperarían valores cercanos o superiores al 100% de los indicadores 6.1 y 6.2, los cuales muestran la relación entre el crecimiento de las líneas de transmisión y distribución respecto al crecimiento de la generación lo que permite visualizar si su evolución es análoga o se auguran posibles congestiones a futuro.

**En la dimensión gestión de la demanda (7)**, la intensidad energética de la electricidad permite establecer si el sistema usa eficientemente la energía, ya que este indicador muestra cuanta energía se requiere para generar un USD del PIB. Si la eficiencia en el consumo mejora, significa que existirán mayores márgenes de capacidad disponible que garanticen una mayor seguridad del suministro eléctrico. Por otro lado, respecto al indicador de demanda de flexibilidad, el tener un valor más alto ayuda a aliviar el estrés en el Sistema Eléctrico durante los picos de demanda o cuando ocurren desequilibrios de demanda y oferta. Por lo que cuanta más demanda de flexibilidad exista, más carga se podrá desplazar cuando sea necesario.

**En la dimensión flexibilidad del Suministro (8)** el indicador flexibilidad posibilita observar cuánta carga máxima es suministrada por las energías variables y cuánta carga flexible se encuentra disponible para responder a toda contingencia suscitada al caer la oferta —en este caso principalmente la suministrada por energías variables— o existir una demanda insatisfecha. Es decir, un valor más alto de este indicador denota que el sistema posee capacidad de reserva rodante para responder ante una caída en la generación derivada de las fuentes variables.

**La dimensión fiabilidad (9)** se enfoca en las interrupciones suscitadas en las redes de distribución consideradas como falta de calidad en el suministro, estas interrupciones son analizadas con los indicadores SAIFI y SAIDI, los cuales indican la cantidad de interrupciones y su duración por usuario en un año. Si el valor arrojado por estos indicadores se aproxima a cero<sup>119</sup> las redes de distribución del sistema eléctrico mexicano serían seguras y ofrecería continuidad a sus usuarios.

**La dimensión resiliencia (10)** como su nombre lo indica se enfoca en mostrar las capacidades que posee el Sistema Eléctrico para enfrentar desequilibrios entre su oferta y demanda principalmente. Por medio de 2 índices Herfindahl-Hirschman se muestra en que niveles se encuentran estas capacidades, el primer IHH revela que tan concentrado está el uso de las diferentes tecnologías para generación eléctrica, ya que si existe una gran diversidad en su uso también existe una mayor seguridad del Sistema Eléctrico, además de un abanico de opciones de respuesta ante la caída de algunas centrales de generación; el segundo IHH se enfoca más en el potencial uso que puede ofrecer cada tipo de tecnología dada su respectiva capacidad. En este caso la alta concentración evidenciaría que se cuenta con menos opciones ante un desequilibrio del sistema, debido a que, al estar concentrada la capacidad, si una tecnología no estuviera disponible —por las limitaciones en su capacidad— habrá menos opciones para sustituirla.

Por último, **la dimensión sustentabilidad ambiental (11)** toma en cuenta las preocupaciones ambientales por contaminantes actuales, ya que estar preparado para futuras transformaciones es

---

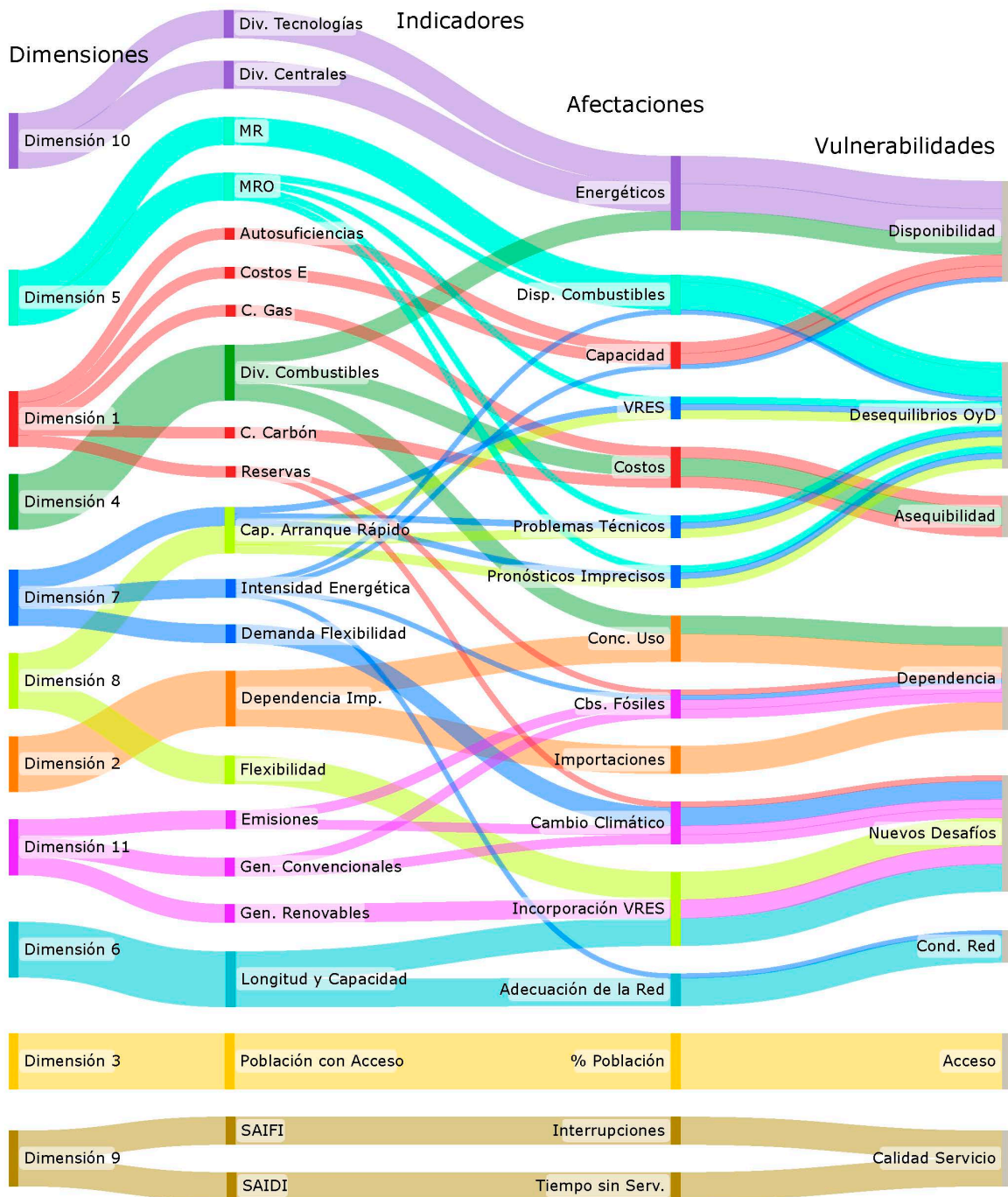
<sup>119</sup> Al interior del índice general de seguridad del sector eléctrico nuevamente se usa su inverso para coincidir y ser unificado con los demás indicadores de su dimensión.



tomar acción ante posibles vulnerabilidades del sistema. En este caso la transición energética en el sector eléctrico se monitorea con 3 indicadores: el primer indicador contabiliza las emisiones del sector eléctrico, las cuales se espera decaigan en el transcurso del tiempo, significando una mayor eficiencia en el Sistema Eléctrico y una posible menor demanda eléctrica derivada de la eficiencia en el consumo, ambos resultados esperados ayudarían a mantener la seguridad del Sistema Eléctrico; el segundo indicador permite observar cómo avanza la transición del Sistema Eléctrico en relación a las metas propuestas por el gobierno mexicano en los acuerdos internacionales; por su parte el tercer indicador permite observar las metas del gobierno mexicano desde otra perspectiva, al prestar atención a la generación actual con centrales fósiles en la conformación del Sistema Eléctrico, con el fin de contar con tecnologías base que le den seguridad al sistema y establecer el equilibrio que garantice que el Sistema Eléctrico funcione con plena seguridad ambiental, ya sea que algunas centrales fósiles se encuentren en funcionamiento o pasen cada vez más como respaldo.

Es de esta forma que el índice general de seguridad del sector eléctrico fue concebido para mostrar los flujos energéticos, empezando desde la continuidad en la obtención de los combustibles utilizados, su transformación en electricidad tomando en cuenta su flexibilidad, pasando por la fiabilidad en la transmisión y distribución para ser entregada como producto final, así como la resiliencia con la que cuenta el Sistema Eléctrico, sin dejar de lado las preocupaciones por las emisiones contaminantes, para facilitar un mayor uso de aquellas tecnologías más amigables con el medio ambiente sin descuidar la seguridad del Sistema Eléctrico, al mismo tiempo que se monitorea qué tan preparado está el sistema para acometer transformaciones que se vaticinan.

Gráfico 4.2 Relación entre las dimensiones del Índice General y las vulnerabilidades del Sector Eléctrico Mexicano



Fuente: Elaboración propia

Con el Gráfico 4.2 se obtiene una imagen más clara sobre como las dimensiones inciden en las distintas vulnerabilidades del sistema eléctrico manifestando como una sola dimensión puede señalar la presencia de varias vulnerabilidades, p. ej. la dimensión 7 con el indicador intensidad energética el cual se relaciona con la disponibilidad de combustible, la capacidad de generación, la

dependencia en combustibles fósiles y la adecuación de la red, repercute en las vulnerabilidades: Disponibilidad Energética, Desequilibrios de OyD, Dependencia y Condición de la Red. De manera similar, una vulnerabilidad puede reflejarse en varios indicadores, p. ej. la vulnerabilidad en la Disponibilidad se refleja en seis indicadores como la diversidad de tecnologías, diversidad de centrales, diversidad de combustibles, las autosuficiencias, los costos de los energéticos y la misma intensidad energética los cuales forman parte de cuatro dimensiones distintas.

Como se observa estas dimensiones fueron creadas con los indicadores más utilizados en la literatura actual por lo que toman en cuenta los elementos centrales del sector, ayudando a determinar la seguridad del suministro eléctrico. En el índice general de seguridad del sector eléctrico estas dimensiones se encuentran normalizadas de forma no lineal y con el mismo peso al interior del índice, cubriendo en cada una el periodo de 2002 a 2016. La normalización arroja valores para cada indicador entre 0 y 1, en donde un valor cercano a 1 representa mayor seguridad del sector eléctrico mientras que un valor cercano a 0 representa lo opuesto.

Asimismo, se debe tomar en cuenta que este índice general de seguridad del sector eléctrico no prioriza las dimensiones abarcadas, debido a que al priorizar dimensiones se induciría a los lectores a centrarse en un pequeño subconjunto de medidas, y uno de los objetivos del índice general de seguridad del sector eléctrico es mostrar el desarrollo de las 11 dimensiones en general, con la finalidad de que todas sean monitoreadas por igual. Por lo mismo, la asignación de un valor como resultado del índice general no tendrá como fin el calcular un nivel de seguridad del sector eléctrico mexicano, si no mostrar de forma clara y concisa qué grado tiene cada una de las dimensiones utilizadas. Para ello se construyó un gráfico radial en el cual un nivel general de seguridad al interior del sector eléctrico es mejor y más equilibrado cuando se obtenga de forma más precisa la forma de un endecágono regular. Si el gráfico arroja una forma más irregular significa que una o algunas dimensiones están rezagadas y ameritan mayor atención.

No está por demás recordar que los indicadores utilizados en cada dimensión fueron seleccionados con base a la información presentada en el capítulo anterior. Y como se mencionó cada agregación se realizó de manera no lineal y con el mismo peso asignado.

De tal forma que las normalizaciones se llevaron a cabo de la siguiente manera:

Ecuación 4.1 Ecuación del Índice de seguridad del sector eléctrico<sup>120</sup>:

$$Y_t = \prod_{i=1}^{11} X_{i,t}^{\alpha_i} \quad \alpha_i = 0.09; \sum \alpha_i = 1; i = 1, \dots, 11$$

---

<sup>120</sup> En este caso se visualizó al índice general de seguridad eléctrica como un indicador complejo por lo cual la forma más sencilla de agregar métricas de diferentes sectores fue normalizarlas a una escala común —normalmente numérica y con una serie de umbrales— asumiendo implícitamente que las amenazas son acumulativas. Esto quiere decir que, si una métrica agrega la dependencia con la intensidad del petróleo de la economía, se supone que los dos elementos son acumulativos para reducir la seguridad energética del país. Esta decisión se tomó sabiendo que un problema con este enfoque es que los indicadores que se agregan a menudo representan diferentes tipos de vulnerabilidades, lo que puede resultar en ocultar dicha vulnerabilidad, no obstante, se prefirió este método por su simplicidad y fácil interpretación por cualquier persona. Buscando evadir el ocultamiento de las vulnerabilidades que pueda darse debido a su agregación, por medio de la explicación de dichos indicadores y una presentación de más indicadores por separado y con un periodo de tiempo más extenso en el capítulo anterior, lo cual sirvió para dar contexto de la situación actual del sector.

$Y_t$  = Seguridad del Sector Eléctrico

$X_i$  = Dimensiones (1-11)

$\alpha_i$  = Nivel de Participación

Donde el nivel de participación ( $\alpha_i$ ) es el mismo para cada una de las dimensiones, favoreciendo su monitorización igualitaria.

A continuación, se muestran los criterios de normalización utilizados en cada uno de los indicadores, donde el número representa la dimensión a la que pertenece y el decimal el número de indicador al interior de cada dimensión, con la única finalidad de identificarlo. Como se puede observar, y como se había comentado, al normalizar los indicadores estos obtendrán valores entre 0 y 1, donde un valor más cercano a 1 representa un mayor nivel de seguridad y un valor cercano a 0 significa una menor seguridad. Los cuales posteriormente son unificados en cada una de las dimensiones a la que pertenezcan con el mismo peso asignado a cada uno.

Cuadro 4.1 Indicadores del índice de seguridad del sector eléctrico

| Indicador en unidades originales |  | Criterio de Normalización              |
|----------------------------------|--|--|
|                                  |  | Valor Máximo/Mínimo=Valor en el índice |
| 1.1                              | Años de reserva Gas Natural  | $85.02 \geq 1 - 0 = 0$                 |
| 1.2                              | Años de reserva Carbón   | $198.52 \geq 1 - 0 = 0$                |
| 1.3                              | Autosuficiencia Nacional del Combustóleo   | $100\% \geq 1 - 0\% = 0$               |
| 1.4                              | Autosuficiencia Nacional del Carbón  | $100\% \geq 1 - 0\% = 0$               |
| 1.5                              | Autosuficiencia Nacional del Gas Natural   | $100\% \geq 1 - 0\% = 0$               |
| 1.6                              | Autosuficiencia del combustóleo en el SE respecto a la oferta nacional           | $100\% \geq 1 - 0 = 0$                 |
| 1.7                              | Autosuficiencia del carbón en el SE respecto a la oferta nacional                | $100\% \geq 1 - 0\% = 0$               |
| 1.8                              | Autosuficiencia del gas natural en el SE respecto a la oferta nacional           | $100\% \geq 1 - 0\% = 0$               |
| 1.9                              | Costo del Gas Natural respecto al PIB  | $0\% = 1 - 100\% = 0$                  |
| 1.10                             | Costo del Carbón respecto al PIB   | $0\% = 1 - 100\% = 0$                  |
| 2.1                              | Dependencia del combustóleo respecto a la oferta nacional (Nivel de importación) | $0\% = 1 - 100\% = 0$                  |
| 2.2                              | Dependencia del carbón respecto a la oferta nacional (Nivel de importación)      | $0\% = 1 - 100\% = 0$                  |

|      |   |                                 |
|------|---|---------------------------------|
| 2.3  | Dependencia del Gas Natural respecto a la oferta nacional (Nivel de importación)            | $0\%=1 - 100\%=0$               |
| 3.1  | Población con acceso a electricidad   | $100\%=1 - 0\%=0$               |
| 4.1  | Diversidad en el consumo de energía para generación de energía eléctrica (IHH)              | $1=1 - 0=0$                     |
| 5.1  | Margen de reserva   | $33\geq 1 - 27=0.75 - 10\leq 0$ |
| 5.2  | Margen de reserva operativo   | $6\geq 1 - 3=0.50 - 0=0$        |
| 6.1  | Relación crecimiento de las líneas de transmisión respecto al crecimiento de la generación  | $100\%\geq 1 - 0\%=0$           |
| 6.2  | Relación crecimiento de las líneas de distribución respecto al crecimiento de la generación | $100\%\geq 1 - 0\%=0$           |
| 7.1  | Intensidad energética de la electricidad  | $0.00764\leq 1 - 0.01220\geq 0$ |
| 7.2  | Demanda de Flexibilidad *   | $100\%\geq 1 - 0\%=0$           |
| 8.1  | Flexibilidad  | $0\%=1 - 100\%\geq 0$           |
| 9.1  | SAIDI   | $19.93\leq 1 - 200\geq 0$       |
| 9.2  | SAIFI   | $0.4191\leq 1 - 4.1\geq 0$      |
| 10.1 | Diversidad en la generación de energía eléctrica por tipo de tecnología (IHH)               | $1\geq 1 - 0=0$                 |
| 10.2 | Diversidad en la capacidad efectiva de generación por tipo de tecnología (IHH)              | $1\geq 1 - 0=0$                 |
| 11.1 | Emissiones de CO2 (Gg de CO2e) por GWh  | $0=1 - 0.7390\geq 0$            |
| 11.2 | Generación de energías renovables respecto a la generación total bruta (Meta nacional)      | $25\%\geq 1 - 0\%=0$            |
| 11.3 | Generación de convencionales respecto al total  | $0\%=1 - 100\%=0$               |

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios de normalización utilizados en el indicador (1.1) provienen de que el valor de 85.02 años es el valor máximo alcanzado en México durante el periodo de 1980-2019 — periodo que cubre en su totalidad al periodo de estudio de esta investigación— donde un valor mayor significaría que la seguridad de este indicador aumentó y sobrepasó su punto de mayor seguridad. Por lo tanto, si se diera el caso de contar con cero años de reservas, se estaría hablando de un análogo en el caso contrario, revelando nada de seguridad, y donde cualquier número intermedio obtendría su valor proporcional entre estos límites. En el indicador (1.2) sucede lo mismo que con el indicador (1.1) ya

que el valor máximo de 198.52 años proviene de estadísticas que comienzan en 1990 y abarcan hasta 2019, funcionando de la misma forma al tratarse ambos indicadores de las reservas existentes.

En el caso de los indicadores (1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1) al provenir de una razón, arrojan valores que fluctúan entre 0 y 1, por lo que simplemente se traspasan en su forma original y no requieren de transformación alguna al ser integrados a sus respectivas dimensiones. Únicamente en los indicadores (1.9, 1.10, 2.1, 2.2, 2.3) se utiliza su inverso con el fin de que su rango de valor coincida con los demás y puedan ser integrados a su dimensión de pertenencia y a las demás dimensiones.

El caso de los indicadores (4.1, 10.1, 10.2) es parecido a los mencionados con anterioridad debido a que son IHH y su valor fluctúa entre 0-1, para estos tres indicadores se utilizó su valor inverso con el fin de coincidir y normalizarlos con sus respectivas dimensiones, esto quiere decir que como en todos los demás casos, un valor cercano a 1 representa la existencia de mayor seguridad, caso contrario si fuera cercano a 0.

Para los indicadores (5.1 y 5.2) los valores máximos se encuentran regulados en la legislación vigente para otorgar confiabilidad al sistema<sup>121</sup>. Los indicadores (6.1 y 6.2) resultan de una relación de dos tasas de crecimiento, y al igual que otros su naturaleza arroja valores entre 0 y 1 que no requieren transformación alguna para ser normalizados.

Para el indicador (7.1) los límites se obtuvieron de los valores máximos y mínimos durante el periodo 1990-2019 en México, con el fin de mostrar si se ha logrado una mejoría o deterioro en su seguridad, debido a que un valor generalmente aceptado como permisible o un valor fijado como meta no ha sido fijado en la legislación o reglamentación mexicana. En el caso del indicador (7.2) un valor de 1 sería el ideal para cualquier sistema, sin embargo, es poco probable que exista un sistema con una capacidad de rápida respuesta igual a su demanda máxima bruta, además de ser costoso e ineficiente en inversión. Pero al no contar con un valor fijado como meta en el país se optó por elegir el ideal esperado.

El indicador (8.1) es una relación entre la carga máxima suministrada por VRES en el sistema y la cantidad de carga flexible disponible. En este caso mientras el denominador sea mucho más grande que el numerador —otorgando un valor cercano a 0<sup>122</sup>— existirá un mayor nivel de seguridad. Esto —como en los otros casos— provoca que se utilice su inverso para coincidir y poder ser integrado con los demás.

Los indicadores (9.1 y 9.2) obtienen sus límites de los promedios europeos informados por el Council of European Energy Regulators (CEER, 2018)<sup>123</sup> donde valores más reducidos indican un mayor nivel de seguridad.

---

<sup>121</sup> CRE. (2018) Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2017

<sup>122</sup> En este caso no se insinúa que no exista una mayor incorporación de VRES, sino únicamente se hace referencia a que una mayor proporción de carga flexible disponible respecto a la generación por VRES otorga una mayor seguridad al SE. Haciendo evidente el requerimiento de mantener capacidad excedente de otros tipos de tecnología para lograr una mayor incorporación de VRES al sistema.

<sup>123</sup> En ambos casos los valores corresponden al año 2016. En el caso del SAIDI se tomaron los datos del SAIDI planeado sin afectaciones y el límite inferior resulta del promedio de los valores mínimos de los países que no excedieron los 100

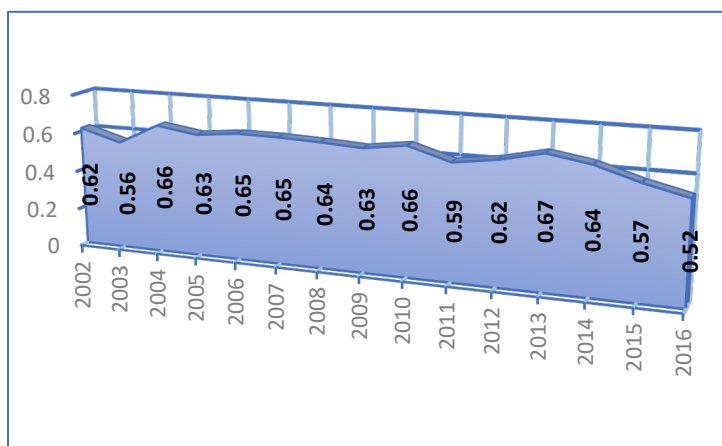
Por último, en los indicadores (11.1, 11.2, 11.3) sus valores también resultan de razones por lo que directamente ya fluctúan entre valores de 0 y 1 y no requieren transformación alguna salvo utilizar el inverso en los indicadores 11.1 y 11.3 para que coincidan en la normalización. Los límites definidos para el indicador 11.1 son las emisiones máximas de CO2 durante el periodo 1990-2016, y para el caso del indicador 11.2 su límite máximo se obtuvo del objetivo propuesto en el Artículo Tercero Transitorio de la Ley de Transición Energética<sup>124</sup>.

No está de más recordar que los indicadores rara vez son una medida directa del riesgo, la capacidad de resiliencia o de ambos, ya que en la mayoría de los casos son una aproximación cuantitativa. En este trabajo —el cual fue diseñado para el sector eléctrico mexicano— dichos indicadores funcionan como una señal del estado del sistema. Por lo cual —al ser aproximaciones cuantitativas— no consiguen indicar explícitamente las causas, naturaleza y alcances de dicha medición, debido a que como se ha mostrado en muchos casos un solo indicador puede revelar la presencia de varios riesgos.

## Índice General de Seguridad del Sector Eléctrico: el caso mexicano

Una vez entendido como funciona el índice general de seguridad del sector eléctrico se procede a utilizarlo para el caso mexicano. Como ya se ha mencionado, la recolección de datos dificultó la construcción del índice para el caso mexicano, ya que la gran mayoría de los datos necesarios para su elaboración comenzaron a publicarse en el país a través de las distintas fuentes a principios del

Gráfico 4.3 Índice General de Seguridad del Sistema Eléctrico Mexicano 2002-2016



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

presente milenio, lo que provocó que el periodo del índice se redujera al periodo de 2002-2016. Incluso los indicadores de edad promedio del sistema eléctrico, así como el de diversidad de centrales de generación eléctrica por tipo de tecnología, comenzaron a publicarse a partir del PRODESEN 2017-2031, superando el periodo de estudio de este trabajo. Por esta razón se decidió omitirlos sin que esto impida que sean utilizados en actualizaciones o futuros trabajos al respecto.

En el Gráfico 4.3 se puede observar que el nivel de seguridad en el sector eléctrico mexicano se ha mantenido en el rango de 0.52 y

minutos en el reporte. Para el SAIFI se tomó como límite inferior el promedio de los promedios de cada país para el SAIFI planeado.

<sup>124</sup> Artículo Tercero Transitorio de la Ley de Transición Energética.- La Secretaría de Energía fijará como meta una participación mínima de energías limpias en la generación de energía eléctrica del 25 por ciento para el año 2018, del 30 por ciento para 2021 y del 35 por ciento para 2024.

0.67, con su nivel más alto en el año 2013, beneficiado por un mejor desempeño en las dimensiones tres, seis —la dimensión con el valor más alto de todas— y nueve. Derivado de 1) un mayor acceso a la electricidad por parte de las personas (dimensión tres); 2) una tasa de crecimiento de las líneas de transmisión y distribución en la misma proporción que el crecimiento de la demanda de electricidad (dimensión seis); y 3) mejoras continuas en los tiempos de las afectaciones a los usuarios contabilizadas por el SAIDI y SAIFI (dimensión nueve). Además de valores de seguridad aún altos (no máximos) en las dimensiones cinco, ocho y diez, lo cual en conjunto, posibilitó llegar a ese nivel en el año 2013.

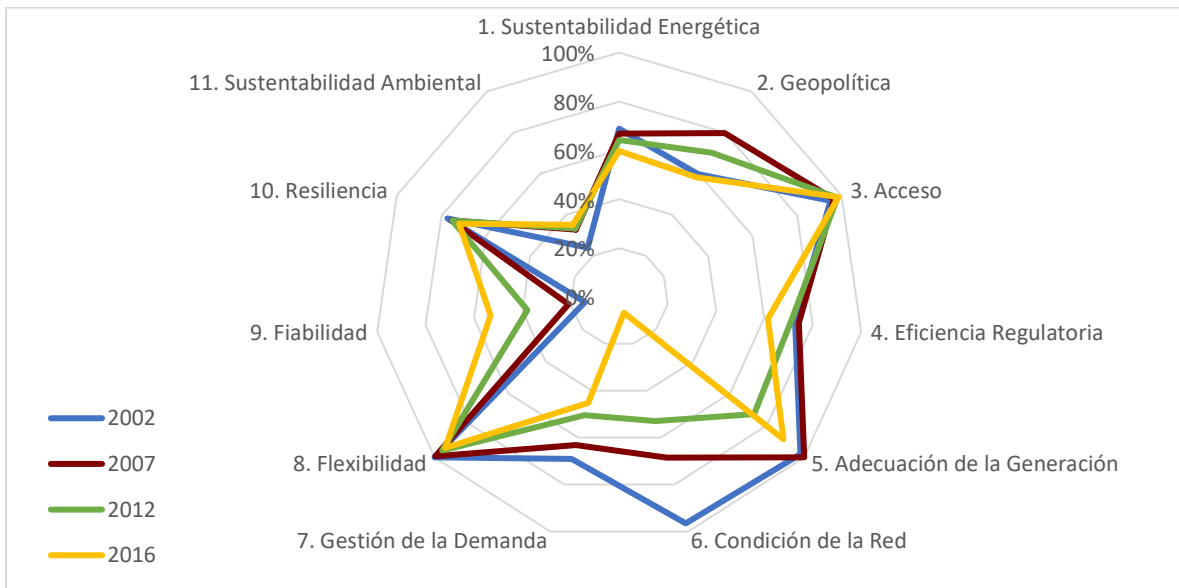
Después de este punto máximo la evolución de la seguridad del sector eléctrico representada en el índice se deterioró hasta llegar a su nivel mínimo en el año 2016, propiciado principalmente por reducciones significativas en las dimensiones dos, seis y siete. Que desglosadas se traducen en: 1) mayor dependencia nacional de las importaciones en los combustibles utilizados para generación eléctrica —gas natural, carbón y combustóleo— dimensión dos; 2) caída insondable en la paridad del crecimiento de las líneas de transmisión y distribución respecto al crecimiento de la demanda nacional de electricidad en la dimensión seis, siendo esta reducción la de mayor impacto en la reducción del índice general; y 3) reducción en el indicador de demanda de flexibilidad por una cada vez menor capacidad de rápida respuesta que haga frente a una cada vez mayor demanda máxima coincidente, dimensión 7.

Así el Gráfico 4.3 advierte que el sistema goza de una seguridad estable más no buena ni mucho menos óptima, debido a que el nivel máximo de seguridad se obtiene con un valor de 1 en el índice, o dicho de otra forma, valores más cercanos a 0 representan un nivel de seguridad en decremento y el sistema apenas sobrepasa el nivel medio.

Por otro lado, en el Gráfico 4.4 se puede observar de manera desagregada por dimensión del Índice de Seguridad del Sector Eléctrico cuáles se han fortalecido o debilitado dentro del SIN con el pasar de los años, resultado de las políticas energéticas adoptadas en el país.



Gráfico 4.4 Índice General de Seguridad Energética del Sector Eléctrico: 2002, 2007, 2012 y 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de SIE.

Hay que tener presente que los índices de seguridad energética, en este caso de seguridad del sistema eléctrico, se crean específicamente para una región y tiempo dado. Por lo cual terminan mostrando algo parecido a una fotografía de la situación existente en un lugar y momento dado, provocando que su estudio se base en la comparación de un periodo con otro. Así el análisis que se usará para este caso específico de México será aquel donde el periodo que se acerque más a la forma de un endecágono regular gozará de mayor seguridad.

Haciendo uso de esta idea, el Gráfico 4.4 da cuenta que durante el periodo, los niveles de seguridad del sistema eléctrico mexicano en cuatro dimensiones —dimensión 1 (Sustentabilidad energética), dimensión 3 (Acceso), dimensión 8 (Flexibilidad) y dimensión 10 (Resiliencia)— se han mantenido prácticamente inamovibles, y con valores por encima del valor general en cada uno de los años analizados.

En el primer caso, la dimensión 1 (Sustentabilidad energética) redujo la representación de su seguridad en 0.09 puntos durante todo el periodo analizado, obteniendo su valor más bajo justo en el año 2016 por causa de reducciones importantes en las reservas de carbón y gas natural, debido principalmente a los niveles de producción de cada año, lo cual normalmente reduce las reservas respecto al año anterior o las mantiene. Ya que, en el caso del gas natural, la reposición de reservas es casi nula o solo aumentan con el descubrimiento de yacimientos de petróleo donde se puede extraer de forma asociada, a causa de la inexistencia de proyectos de inversión en exploración de gas natural no asociado. En contraste, las estadísticas del carbón no muestran una variación en cuanto a reservas, debido a que el valor reportado año con año se mantiene sin importar la producción del año anterior y tampoco revelan nuevos descubrimientos del mineral. Lo cual se conjuga con menores autosuficiencias de carbón y gas natural, ya que en el último año la primera tuvo un valor menor respecto al promedio de todo el periodo, y la segunda tuvo una reducción significativa respecto al año 2002.

En oposición a esta caída en la representación de la seguridad de la dimensión 1, el indicador de autosuficiencia de combustible a nivel nacional ayudó a equilibrar la caída al ser el combustible con mayor oferta que demanda en casi todos los años. Así mismo, las autosuficiencias de los tres combustibles usados en el sistema eléctrico respecto a la oferta nacional contribuyeron a mantener la seguridad en la dimensión 1, ya que fueron cumplidas al 100% en todos los años, puesto que hasta la fecha se han cubierto las demandas del sector respecto a estos combustibles, en muchos casos gracias a la diversidad de fuentes en la matriz energética del sector eléctrico. En atención a que cuando la oferta de un combustible no era adecuada, se cubrió el déficit con otra tecnología o combustible, revelando la resiliencia existente en el sistema, y la gran capacidad y habilidad de quienes controlan el sistema.

Por su parte los valores de la dimensión 3 (Acceso) crecieron al pasar de un valor de 0.95 en el año 2002 y llegar a un máximo de 0.9858<sup>125</sup> en el año 2016, lo que revela que cada año hay más personas que disfrutan de este tipo de energía, y el avance obtenido hacia la meta del sector eléctrico de alcanzar y mantener al 100% de la población con acceso a esta.

En la dimensión 8 (Flexibilidad), el indicador 8.1 que da cuenta de la flexibilidad existente en el sistema para dar cabida a las VRES, se sitúa muy cerca del valor máximo en todos los periodos seleccionados en el Gráfico 4.4 ya que incluso su valor más bajo durante el periodo de estudio se da en el año 2016<sup>126</sup>, después de caer desde el año 2012 y emprender un crecimiento más rápido en la incorporación de VRES, resultado de la implementación de la Reforma Energética y las subastas que se desprendieron de ella. Lo anterior puede representar una señal de alerta, debido a que se espera que el valor de este indicador y su dimensión comiencen a decrecer en los siguientes años a causa de la incorporación de VRES, apoyada por el deseo poblacional de un uso cada vez más reducido de centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles. Sin embargo, a pesar de esta alerta, si bien la capacidad de generación no ha crecido al ritmo de la demanda, el sistema eléctrico mexicano aún cuenta con niveles de carga flexible disponible lo suficientemente amplios para dar acceso en un inicio a las tecnologías VRES<sup>127</sup>.

Cabe aclarar que el indicador 8.1 si bien, muestra que existe capacidad de carga flexible disponible suficiente para la incorporación de VRES, no significa que el sistema esté preparado para la incorporación masiva de este tipo de tecnologías, lo cual requiere de estudios específicos que observen otros indicadores que deben ser tomados en cuenta para dicho fin, como el estado de la infraestructura de la red de transmisión y su congestión, un crecimiento de la capacidad instalada mayor a la demanda, y el cumplimiento del código de red<sup>128</sup> —conjunto de disposiciones administrativas emitidas por la CRE con los requerimientos técnicos mínimos para el desarrollo eficiente de los procesos de planeación, medición, control operativo, control físico, acceso y uso de

---

<sup>125</sup> Valores que representan el porcentaje de población con acceso a electricidad.

<sup>126</sup> Con un valor de 0.9423

<sup>127</sup> Una capacidad de carga flexible disponible de cerca 17 veces el tamaño de la capacidad instalada de VRES en el año 2016. A partir de este año comienza a instalarse parte de la capacidad proveniente de las subastas realizadas en 2015 y 2016.

<sup>128</sup> Torres Jair da una breve explicación sobre en qué consiste el Código de Red: <https://energiahoy.com/2020/10/09/que-es-el-codigo-de-red-y-por-que-debemos-cumplirlo/> . Y la publicación de este Código de Red en el DOF ocurrió el 08/04/2016 en dos secciones: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5432507&fecha=08/04/2016](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432507&fecha=08/04/2016) [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5432509&fecha=08/04/2016](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5432509&fecha=08/04/2016)

la infraestructura eléctrica que deben ser acatados por todos los usuarios del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con el fin de lograr criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad en el SEN—, por mencionar algunos.

Por último, en la dimensión 10 (Resiliencia) los dos indicadores en su interior poseen valores muy estables durante el periodo de estudio. En el caso de la concentración en la capacidad efectiva hay una tendencia leve a la baja, al fluctuar dentro del rango de 0.7617-0.7828, donde la mayor capacidad de centrales carboeléctricas, eólicas y ciclos combinados, junto a la reducción en la capacidad de centrales termoeléctricas de vapor, diversificaron la capacidad de generación debido principalmente a la naturaleza de las inversiones, las cuales se mueven lentamente en el tiempo. No obstante, al no existir aumentos significativos en este indicador se revela la baja o nula inversión en capacidades de generación distintas a las tecnologías usadas actualmente en el sector eléctrico. Por otra parte, en los usos de estas capacidades se generó una concentración derivada de que los aumentos o decrementos en el uso no fueron proporcionales a los aumentos y decrementos de la capacidad de generación, esto se puede ver principalmente en el mayor uso de gas natural en la generación de electricidad, lo cual —como se ha visto— afecta varios indicadores del índice general de seguridad del sector eléctrico, manifestando la vulnerabilidad existente en el sector eléctrico por el gran uso que se le da al gas natural, reforzado por la dependencia en sus importaciones y la concentración de ésta en un solo proveedor. Al final la reducción en ambos indicadores, aunque bajas, impactaron de forma negativa en la dimensión, resultando en una reducción de sus valores. Lo que indica ciertos puntos débiles en la seguridad del sector eléctrico que deben ser tomados en cuenta en la planeación para evitar un decremento mayor en los niveles de seguridad en el futuro.

Con el Gráfico 4.4 también se advierte que solo dos dimensiones —excluyendo a la dimensión 3 analizada con anterioridad— elevaron su representación de seguridad en el índice general de seguridad del sector eléctrico. Estas dos dimensiones fueron la dimensión 9 (Fiabilidad) y la dimensión 11 (Sustentabilidad ambiental).

La seguridad de la dimensión 9 (Fiabilidad) creció gracias a que los tiempos del SAIDI —tiempo promedio de interrupción a los usuarios— se redujeron prácticamente en 75% entre los años 2002 a 2016, mientras que las interrupciones del SAIFI —interrupciones promedio de los usuarios— se redujeron en 73% en el mismo periodo, lo que mejoró la fiabilidad en la distribución de energía eléctrica, que se puede traducir desde el lado del consumidor, como recibir un servicio eléctrico de mayor calidad gracias a que las interrupciones y la duración de estas afectan lo más mínimo las actividades de las industrias y las familias al entregar energía eléctrica de forma ininterrumpida la mayor parte del tiempo.

Respecto a la dimensión 11 (Sustentabilidad ambiental) a pesar de que en el Gráfico 3.2 sus niveles se han movido muy poco en los distintos años mostrados. Esta dimensión ha tenido fluctuaciones más grandes que todas las anteriores durante el periodo de estudio. Así durante todo el periodo del índice general de seguridad del sector eléctrico —2002-2016— esta dimensión se ha movido dentro del rango de 0.2389-0.4054, cuyo valor más alto se dio en el año 2008. No obstante, es de recalcar que durante todo el periodo sus valores aún son bastante bajos al situarse por debajo del valor medio dentro del rango usado en el índice general de seguridad del sector eléctrico, por lo que esta dimensión debe ser tomada en cuenta en gran medida para mejorar la seguridad al interior del Sistema Eléctrico en una visión de largo plazo donde crezca el uso de más energéticos menos

contaminantes. Cabe aclarar que valores tan bajos pueden deberse a que, hasta la fecha estos indicadores no eran tomados en cuenta en la planeación del sector eléctrico, por lo cual no se cuenta con valores, que muestren una mejora al final del periodo. De todas maneras, sí es evidente que, si bien aún falta bastante para lograr mejores valores en esta dimensión de sustentabilidad ambiental, se está en camino de lograrlo mientras no se reste importancia al uso de las energías limpias. De este modo, el indicador 11.2 —generación por energías renovables— fue el que obtuvo los valores más altos de los tres que componen la dimensión 11, en parte debido a que su límite superior es bajo para la actualidad, pero acorde a las metas propuestas por el país dentro del periodo de estudio, la cual era lograr un 25% de uso de energías limpias para generación de electricidad en 2018. Así mismo, los valores del indicador 11.1 —emisiones de CO2 por generación eléctrica— mejoraron hacia finales del periodo especialmente por mayor uso de gas natural y menos uso de centrales de carbón, combustóleo y diésel en la primera mitad del periodo y un mayor uso de energías VRES en la segunda mitad, mejorando así la seguridad en esta dimensión 11.

Por último, en este análisis apoyado por el Gráfico 4.4, se examinan las reducciones en la seguridad de las dimensiones que componen el índice general de seguridad del sector eléctrico durante el periodo de estudio. De modo que las dimensiones en las que decreció su seguridad fueron:

La dimensión 2 (Geopolítica), que en el año 2016 volvió a los niveles observados en el año 2002, revés a causa de la mayor importación de gas natural, carbón y combustóleo, siendo la primera la de mayor crecimiento durante el periodo y así sucesivamente. Muestra que en el año 2016 el país requirió importar el 52% del carbón, el 48% del gas natural y el 21% del combustóleo<sup>129</sup> utilizado en la oferta nacional. Estos tres combustibles son los más utilizados en la matriz energética para generación eléctrica lo que muestra la intensificación de la dependencia del país en estos energéticos y acrecienta la vulnerabilidad ante interrupciones por indisponibilidad de los energéticos para generación eléctrica.

La dimensión 4 Eficiencia Regulatoria – Diversificación Energética, que mide la diversidad en el consumo energético para generación eléctrica mostro signos de una menor concentración hasta el año 2005, año en que se obtiene la mayor diversificación en la matriz de consumo energético con un valor de 0.7665, lograda gracias a la incorporación de Gas natural en las centrales de ciclo combinado y turbo gas, así como a la notable reducción de la capacidad termoeléctrica que hacía uso del combustóleo, trayendo consigo una considerable reducción en el consumo de este energético. Después de este año la diversidad del consumo energético se redujo gradualmente y se mantuvo relativamente constante durante el periodo 2008-2015 con niveles que fueron de 0.72 a 0.68 por la notable concentración en el uso de gas natural para la generación eléctrica. Por último, en el año 2016 esta concentración en el consumo de gas natural provocó que la representación de la seguridad de la dimensión 4 se posicionara en su nivel más bajo al conjuntarse con la reducción en la participación del consumo de todos los demás energéticos de la matriz de generación eléctrica.

La dimensión 5 (Adecuación de la Generación), que incluye los indicadores de Margen de Reserva y Margen de Reserva Operativo cuyos valores reflejan el porcentaje de la capacidad de las Centrales Eléctricas o Recursos de Demanda Controlable que pueden incrementar la generación o consumo dentro de un lapso establecido, siendo este tiempo más amplio en el primer caso que en el segundo.

---

<sup>129</sup> El combustóleo fue reduciendo su participación con el pasar de los años, pero la oferta nacional se usa prácticamente en su totalidad para generación eléctrica

Obtuvo durante el periodo del índice niveles de Margen de Reserva por encima de la línea base durante los años de 2004 a 2010, después de este año los valores se redujeron durante el periodo restante. En cuanto al Margen de Reserva Operativo se cumplió con los valores marcados en la reglamentación mexicana durante todos los años salvo el año 2012, razón por la cual en el Gráfico 4.4 se puede observar que en este año esta dimensión obtuvo el valor más bajo respecto a los otros años de comparación. Resalta que el indicador que afecta en mayor medida la representación de la seguridad en esta dimensión es el MR, motivo por el cual se debe buscar aumentar la capacidad de generación que cumpla con los requerimientos para ser considerada MR o analizar si el valor asignado como meta puede ser más alto de lo necesario para el correcto funcionamiento del sistema.

En la dimensión 6 (Condición de la Red), se sitúa la reducción más grande y la que afectó en mayor medida al índice general de seguridad del sector eléctrico en el último año —2016—. Esta reducción tan considerable se debió a un crecimiento significativamente menor en el tendido de líneas de transmisión y distribución respecto al crecimiento en la generación de electricidad, al representar el crecimiento en las líneas de transmisión y distribución en promedio solo el 6% del crecimiento en la demanda energética de ese año. Lo que revela la importancia que se debe mostrar por mejorar la seguridad en esta dimensión para obtener el funcionamiento adecuado del sistema eléctrico mexicano y se logre transferir y equilibrar toda la oferta y la demanda eléctrica, lo que a su vez favorecerá la incorporación al sistema de nuevas centrales ya sean convencionales o VRES.

Finalmente, la dimensión 7 (Gestión de la Demanda) obtuvo la mayor intensidad energética y la menor capacidad de generación con respuesta rápida en el año 2016, representadas en los indicadores Intensidad energética de la electricidad y Demanda de flexibilidad respectivamente. El segundo indicador —el que más afectó la representación de la seguridad de la dimensión 7— comenzó a caer drásticamente a partir del año 2011 hasta llegar a su nivel mínimo en el año 2016 a causa de la constante reducción de la capacidad de rápida respuesta, que es la responsable de afrontar los incrementos de la demanda máxima coincidente.

## Conclusiones del capítulo

Una vez cuantificado el índice general de seguridad del sector eléctrico se percibió que los eslabones más débiles del sistema eléctrico mexicano se encuentran en la concentración del uso de unos cuantos energéticos para generación, que puede ser agravada por la dependencia en las importaciones de estos mismos energéticos y la falta de inversión en la infraestructura de transmisión y distribución de energía, que limita los aumentos requeridos en la capacidad de generación que a su vez por medio de la planeación podría diversificar la matriz energética de generación.

De este modo el análisis anterior también confirma las definiciones de seguridad energética provistas en el capítulo anterior, donde se alude a buscar principalmente una mayor diversificación y eficiencia en los sistemas energéticos, lo cual va en línea opuesta a lo que ocurrió en el país dado que la política energética de los últimos años nos llevó a una concentración tanto en el uso de energéticos como de proveedores. De lo que se puede colegir, que con el fin de lograr una transición energética que a futuro revierta los niveles actuales de dependencia del gas natural, se apostó por mantener la dependencia del sector eléctrico sobre el gas natural aun sabiendo que esto menguaría en cierta medida la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética, con el propósito de reducir en el corto plazo las emisiones de carbono así como los costos de generación, mientras que a largo plazo, una vez que se reduzcan los costos de las energías limpias, estas se incorporen al sistema, permitiendo obtener una mayor diversificación en la matriz energética, al mismo tiempo que se cumplen las metas de emisiones autopropuestas para combatir el cambio climático.

No obstante, esta reducción en la seguridad del sector eléctrico y de la seguridad energética en general puede llegar a ser mayor a la soportada por los niveles de resiliencia del sistema eléctrico y energético del país, lo cual puede desencadenar problemas para asegurar un suministro eléctrico continuo, que puede ser agravado ante una reducción de los principales energéticos de origen fósil a nivel de oferta internacional, afectando inclusive a otros sectores de la economía y no solo al energético.

Así el otro punto clave que hace notar el índice, es que el tendido de líneas para transmisión y distribución se ha reducido con el pasar de los años, o mejor dicho, el crecimiento y reforzamiento en el tendido de estas líneas no ha ido a la misma velocidad que lo hace la demanda de energía eléctrica, por lo que en un futuro próximo, el país podría no contar con la capacidad de transmisión y distribución suficiente para mantener en equilibrio la oferta y demanda eléctrica, que junto con la adaptación que requiere el sistema para incorporar a las VRES por su rápida variabilidad, podría suponer el drenado de la energía producida por estas VRES o mantener a las diferentes centrales apagadas debido a la existencia de cuellos de botella; lo cual permitiría garantizar en el corto plazo la eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad del sistema eléctrico mexicano — dependiendo de sus necesidades y niveles de resiliencia en cada momento—, siendo esta una solución temporal para la seguridad general del sistema eléctrico pero no una de largo plazo que resuelva el problema de una baja capacidad de transmisión y que posibilite una mayor introducción de VRES en el futuro. No está de más recordar que esto también repercute al contraer los posibles aumentos de capacidad que pueden darse en el sistema eléctrico mexicano que le permitan cubrir la creciente demanda de energía que requerirá el país conforme avance la transición energética a

nivel mundial, afectando la seguridad en su interior<sup>130</sup>. Inclusive existe la posibilidad de que, si a esto no se le toma la importancia pertinente, en el peor de los casos, se podrían requerir cortes de energía en algunas regiones para evitar mayores afectaciones o un colapso total del sistema eléctrico.

Por estas y más debilidades en la seguridad del sector eléctrico expuestas con anterioridad. SENER debe utilizar los mecanismos a su disposición otorgados por la reforma energética, para mejorar la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética del país, que le permitan promover, entre otras, inversiones en el tendido de líneas de transmisión y nueva capacidad de generación que se adapte a los nuevos requerimientos del Sector Eléctrico y que permita avanzar hacia una mayor incorporación de VRES sin que se afecte la seguridad del Sistema Eléctrico<sup>131</sup>, así mismo podría incentivar la exploración y desarrollo de yacimientos de gas natural o en su caso coordinar a PEMEX para extraer una mayor cantidad de forma asociada. Al mismo tiempo que motiva el desarrollo y mayor uso de energías limpias que coexistan en concordancia con las energías fósiles en niveles de operatividad y diversificación, teniendo siempre en cuenta el desafío de mantener un sistema eléctrico altamente coordinado que trabaje a través del mercado<sup>132</sup>.

Lo anterior deberá compaginarse con lograr avances en la reducción de emisiones por parte del sector eléctrico con miras hacia un desarrollo más sustentable, ya que esto además de beneficiar al ambiente también adecuará al sistema para hacer frente a un posible caso en el que los precios del gas natural y el carbón emprendan una tendencia de crecimiento a futuro, debido a que se tendrían los recursos para mantener en equilibrio la oferta y demanda eléctrica, a la vez que mantendría en niveles de seguridad el funcionamiento del Sistema Eléctrico. Hecho que también beneficiaría a la seguridad energética del país a causa de reducir la concentración existente en el consumo de estos combustibles y sus niveles de dependencia.

Como puede verse el estado tiene un gran reto para mejorar la seguridad del sector eléctrico mexicano, que a la fecha ha sobrellevado su funcionamiento con niveles alejados de lo que debería ser una seguridad óptima, según las vagas señales de política presentes en las regulaciones actuales del país<sup>133</sup>. Por lo que SENER y los organismos autónomos deben ejercer sus facultades para organizar a todos los actores del sector eléctrico mexicano y establecer una ruta clara sobre la planeación y desarrollo del sector eléctrico nacional con el fin de lograr un funcionamiento adecuado del sector eléctrico que cuente con una seguridad óptima que le permita cumplir con su

---

<sup>130</sup> Por mencionar un ejemplo de cómo afecta a su seguridad además de obtener una menor capacidad en el sistema. El no habilitar al sistema eléctrico mexicano para introducir a las VRES también reduce la seguridad del sistema eléctrico al privar el crecimiento de los niveles de resiliencia de este, esto se da al negarse el crecimiento de su matriz energética, la cual lograría una mayor diversificación con la introducción de estas VRES.

<sup>131</sup> Esto puede lograrse con la generación in-situ o mejor conocida como generación distribuida, generando pequeños sistemas eléctricos que se adapten a las necesidades y facilidades de cada región a través del mercado eléctrico mayorista, promoviendo la compra y venta de electricidad y sus servicios conexos entre particulares —artículo 35 de la LIE, los privados se pueden sumar para resolver el tema eléctrico de una región mediante inversión privada—. Ayudando así a reducir la congestión en las líneas de transmisión y reduciendo las afectaciones en el sistema interconectado nacional.

<sup>132</sup> Nuevamente esto puede lograrse con generación in-situ, donde no se dependa de un tendido de líneas de transmisión a gran escala para transferir la energía de las zonas con mayor generación a las de mayor consumo, sino motivando la inversión de grandes consumidores energéticos en las zonas de gran generación.

<sup>133</sup> Como lo fue no contar con una definición de seguridad energética hasta el año 2014, aunado a que esta no fue introducida en una legislación sino en una reglamentación, donde su objetivo puede ser remplazado u omitido por las políticas de los próximos gobiernos.

función social crítica de contar con un flujo energético confiable, eficiente, flexible y de calidad, a la par que apoya y beneficia a la seguridad energética nacional.



## Capítulo 5. Conclusiones

Tomando en cuenta que el uso y aseguramiento de la energía tiene como fin la satisfacción de necesidades energéticas humanas que conllevan procesos físicos, económicos, políticos y sociales para volverla útil para los consumidores. Es notorio que el acceso a la energía es un desafío para el desarrollo mundial, regional, nacional y humano, debido al hecho de que no contar con dicho suministro implica retener obstáculos que afectan desde actividades básicas para el ser humano como la alimentación y la salud, hasta obstaculizar la implementación de derechos catalogados como universales.

Por esta razón en este trabajo se enmarcó la seguridad del suministro eléctrico mexicano dentro del contexto de seguridad energética, debido a que todo sistema en este caso especialmente los sistemas energéticos poseen vulnerabilidades de distintas índoles —políticas, económicas, sociales—. De modo que se asumió que dichos factores también afectan la seguridad del sistema eléctrico por lo que se buscó a través de un análisis en retrospectiva del sector eléctrico mexicano durante el periodo 1990-2016 encontrar cuáles serían sus posibles vulnerabilidades y en qué grado se encuentran.

Este análisis debía tomar en cuenta el contexto específico de los sistemas eléctricos y el contexto de las políticas energéticas utilizadas en México durante el periodo de estudio, por lo que en el capítulo 2 se exploró las particularidades del sector eléctrico para entender su funcionamiento y conjugarlo con el desarrollo del sector eléctrico mexicano durante el periodo de 1990-2016, para entender cuáles fueron los cambios sufridos en su organización y desarrolló, así como el porqué de la política energética nacional seguida.

Los puntos más relevantes de este análisis fueron que la electricidad posee cuatro realidades técnicas: 1) no se puede almacenar y debe ser generada cuando se requiere, o consumida cuando se genera; 2) toma el camino de menor resistencia; 3) La transmisión de energía por medio de la red está sujeta a interacciones físicas complejas; 4) La electricidad viaja a la velocidad de la luz, por lo que el operador debe coordinar permanentemente la oferta y demanda segundo a segundo. Cualidades que hacen discernir a la electricidad respecto a otras fuentes de energía. A esto se suma que el sector eléctrico lleva a cabo cuatro funciones esenciales: 1) generación, 2) transmisión, 3) operación del sistema, y 4) distribución, funciones que en sistemas eléctricos no abiertos a la competencia se realizan a través de un sector verticalmente integrado y operado generalmente por un monopolio.

En este análisis también se mostró que el sistema eléctrico mexicano pasó de ser un sector verticalmente integrado que se desarrollaba por medio de la planeación estatal y era operado como monopolio —debido a las características especiales del sector que lo volvían un monopolio natural como el uso de un solo conjunto de cables para distribuir la energía eléctrica por razones de espacio, aspecto visual y costos, así como la practicidad para coordinar en tiempo real la generación con la transmisión—, a funcionar a través del mercado —regulado por instituciones independientes— al menos en la generación eléctrica y la venta al por mayor, con miras a lograr la introducción del mercado también en las compra-ventas al por menor, dejando el monopolio únicamente para las funciones de transmisión, operación del sistema y distribución.

Esta transformación comenzó con la modificación a la Ley del servicio público de Energía Eléctrica en 1992 que abrió la puerta a la participación privada en la generación eléctrica tomando como base la estructura de funcionamiento de comprador único llamada dentro de la ley como “productor independiente”. Estructura que permitió la existencia de generadores privados que por reglamentación únicamente podrían vender su generación eléctrica a la CFE a través de contratos de largo plazo. Esta nueva estructura también requirió que en 1995 se creara la CRE para determinar los criterios y bases sobre los que se establecerían los costos de conexión de los nuevos productores independientes a las líneas de transmisión y distribución de la CFE y las tarifas por el respaldo de energía que también ofrecía la propia CFE. De igual manera, para dar un mayor impulso a estos productores independientes ese mismo año se reformaron las leyes referentes al presupuesto a fin de incorporar los PIDIREGAS, los cuales se formalizaron en el año 1997 con el primer contrato bajo esta modalidad para la central Mérida III aún vigente.

Para la siguiente década, la estrategia energética de México ya planteaba una mayor participación de los sectores social y privado en el sector energético nacional, con el propósito de lograr una mayor presencia nacional en los mercados mundiales. Lo que derivó en el intento de modificar el marco regulatorio vigente con el fin de permitir mercados competitivos que otorgaran las “condiciones que todo inversionista espera: certeza legal, reglas claras, transparentes y equitativas para los participantes, procesos administrativos justos y eficientes, respetando siempre el interés nacional y la protección del patrimonio nacional.” (SENER, 2002, p. 6), según el entender de los responsables de política de aquel periodo.

Al mismo tiempo a partir de esta década, SENER comenzó a prestar mayor atención al gas natural, el cual a su vista “pasó de ser un combustible marginal a un insumo esencial de la economía moderna, principalmente por la combustión limpia y [la] eficiencia energética” (SENER, 2002, p. 21), cualidades que extendieron su uso en el sector eléctrico en plantas de ciclo combinado. El gas requerido por estas nuevas centrales planeadas y en desarrollo, se pensó en un inicio podría cubrirse con la extracción de reservas, las cuales podrían ser mayores a las del petróleo. Sin embargo, para lograr el total aprovechamiento de dichas reservas se requería de importantes inversiones en tecnología e infraestructura para su extracción, lo que precisaba superar otras dos grandes e importantes limitantes en el desarrollo de estos recursos energéticos, la limitada capacidad de inversión pública y la poca aceptación nacional a abrir el sector energético, especialmente el subsector de hidrocarburos a la participación privada, con su imprescindible reestructura de las leyes.

Fue esta poca aceptación nacional a abrir el sector energético a la participación privada la que impidió la reestructuración de las leyes propuesta en un inicio, lo que en la perspectiva de los hacedores de política afectó el abasto de gas natural nacional, y provocó que México emprendiera el camino para volverse un importador neto de gas natural, obteniendo dichos recursos principalmente de la integración regional con Estados Unidos de América (EUA). Descuidando así la seguridad energética nacional, ya que la generación eléctrica sustentada en gas natural por medio de ciclos combinados creció a una tasa media anual de 12% en el periodo de 2002 a 2010, participando en este último año con poco más del 47% de la generación total de electricidad. Por lo que se observa que los responsables del sector energético en este periodo eran conscientes de la dependencia en la que caería el país si su programa sectorial de energía no se llevaba a cabo cabalmente, ya que si bien el mantener la entrada constante de recursos aseguraba la demanda

gracias a los planes de integración, la vulnerabilidad en la que el sistema y el país caerían por la dependencia en la oferta de gas natural estadounidense fue omitida, es decir, no se generó un plan para combatir dicha dependencia en caso de que sucediera, más allá de mencionar que debía prestarse mayor atención al almacenamiento del energético y de repetir en varias ocasiones que se protegía la soberanía energética del país.

Aun así, es de resaltar que durante esta década la diversificación de combustibles utilizados en el sistema eléctrico obtuvo momentáneamente el mayor nivel durante todo el periodo de estudio de esta investigación —1990-2016—, generada principalmente por pequeños aumentos en la participación del carbón, la energía nuclear, la geotermia, el bagazo de caña, el uso de coque de petróleo, el aumento considerable en el uso de gas natural y la reducción importante del combustóleo.

Por el contrario, como omisiones de la visión energética planteada durante esta década se pueden plantear: 1) la falta de visión sobre ¿de dónde provendrían o cuáles serían las fuentes de obtención del energético sustituto —gas natural— para la diversificación de la matriz energética? Lo que acarreó problemas de dependencia y concentración del suministro; 2) el descartar un posible rejuvenecimiento de las plantas existentes o reconvertir las plantas existentes a otras tecnologías menos convencionales aprovechando la alta capacidad instalada y sus altos márgenes de reserva; y 3) la falta —hasta la fecha— de una concepción clara de la planeación del sector energético, provocada por el poder de decisión otorgado sobre este tema a las principales empresas del sector CFE y PEMEX, ya que aunque en las leyes y reglamentaciones la responsabilidad de esta planeación recae en la SENER, este ente, posiblemente por su baja capacidad técnica, ha rehuído tomar dicha responsabilidad y ha aceptado únicamente los requerimientos que estas dos empresas —CFE y PEMEX— le han solicitado.

En la segunda década de los 2000's, ya con el cambio de poder político establecido, se dio el cambio en el funcionamiento del sector eléctrico mexicano posibilitado por la Reforma al sector energético del año 2013. Donde se pasó de un control y dirección total por parte del estado a funcionar a través de un mercado regulado por instituciones independientes. Esta reconversión del funcionamiento del sector eléctrico coincide con la tercera estructura de la clasificación de Hunt (2003) —“Competencia Mayorista”—, lo que implicó una reestructuración de la CFE con el fin de evitar conflictos de interés —dado que fungía como empresa generadora, operador del sistema y dueña de la infraestructura de transmisión y distribución—, así como buscar tener muchos vendedores y compradores que fueran sensibles al precio para alcanzar la competencia deseada, por lo que esta reestructuración de CFE utilizó mecanismos como: separación estructural, separación funcional y separación contable, las cuales se llevaron a cabo el 1 de febrero de 2017. Cabe aclarar que esta reestructuración del funcionamiento del sector eléctrico no otorgó mayor seguridad al sistema eléctrico mexicano, en cambio, agregó nuevas fragilidades al sistema.

No obstante, en este mismo periodo se otorgó a la seguridad energética un papel más relevante al ser catalogada como una prioridad, probablemente por la mayor discusión sobre este tema a nivel mundial que se generó por la fluctuación en los precios de los energéticos durante esta década y su relación con el cambio climático, así como por la dependencia nacional al Gas Natural que cada vez tomaba una mayor relevancia. En el caso específico de la seguridad del sector eléctrico se observa que las limitantes y dependencias en el uso del Gas Natural generadas en los años anteriores se

traspasaron y comenzaron a afectar al sistema eléctrico nacional debido a que el 60% de la energía eléctrica producida durante este periodo se generó con Gas Natural, impidiendo en momentos llevar a cabo esta generación por indisponibilidad del combustible. A pesar de que durante los años 2013 y 2014 se coordinara a PEMEX y CFE a realizar compras conjuntas de gas natural licuado y llevar a su máxima capacidad las terminales de regasificación de Manzanillo y Altamira, con el objetivo de eliminar parte de las alertas críticas por saturación en el Sistema Nacional de Gasoductos (SNG) y otorgar la posibilidad de diversificar los puntos de acceso de importación. Sin embargo, pese a todos estos cambios, dicha política falló, entre otras razones por los altos precios en los que se cotizaba el gas natural licuado a nivel mundial, que propició que el gas natural licuado contratado por México se desviara hacia otros países que pagaban más por el combustible.

A la fecha reducir el alto consumo de Gas Natural en la generación eléctrica es difícil de realizar debido a la continuidad del criterio del mínimo costo en la generación eléctrica, toda vez que los precios del Gas Natural han sido muchas veces más bajos respecto a los otros combustibles utilizados, además de contar con una mayor eficiencia y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Estas mismas cualidades fueron las que reforzaron la inversión y uso de la tecnología de ciclo combinado a base de Gas Natural. Por lo que los beneficios inicialmente planteados del Gas natural también provocaron su aumento acelerado en el consumo y la concentración en su uso, ya que la planeación no contempló estas afectaciones que desencadenaron su superioridad en la matriz energética del sector eléctrico que ha reducido la flexibilidad y resiliencia del sistema eléctrico para responder a efectos externos como pueden ser la volatilidad de los precios o las interrupciones del suministro.

Una vez entendido el contexto del desarrollo del sector eléctrico mexicano faltaba entender cuáles podrían ser sus fragilidades durante y después de todos estos cambios y reestructuraciones, y cómo podían evaluarse dichas fragilidades para cumplir con el objetivo de esta investigación. Por consiguiente, en el capítulo 3 se expuso una recopilación de distintas definiciones de seguridad energética para entender los distintos planteamientos y formas de evaluación existente, buscando delinear al sector eléctrico mexicano dentro de toda esta literatura. Ya que en esta recopilación se hizo notorio que toda esta literatura busca introducir nuevos conceptos y objetivos a la definición de seguridad energética, la cual nació como buscar el aseguramiento del flujo energético a precios accesibles hacia los países, con lo que se advierte que la definición de seguridad energética es un concepto multidimensional, que no puede interpretarse de forma general sino de forma particular para cada región y periodo de estudio.

Debido a lo anterior, se partió de utilizar la definición de seguridad energética propuesta por Cherp y Jewell (2013) la cual establece a la seguridad energética como: la “Baja vulnerabilidad de los sistemas energéticos vitales”. El desarrollo de esta definición por parte de sus autores implicó conceptualizar la seguridad energética desde la noción de seguridad general con el fin de que lograra responder al menos a las siguientes preguntas ¿Seguridad para quién? ¿Seguridad para que valores? Y ¿De qué amenazas? Con el fin de que la seguridad energética no se centre en proteger una energía abstracta sino los sistemas energéticos críticos para las sociedades, proyectados como sistemas energéticos vitales. Este enfoque facilitó la evaluación del sector eléctrico de forma más específica al permitir reflejar su contexto y sus problemas específicos, basados en hechos concretos que respondían a las percepciones y prioridades políticas de México, al mismo tiempo que seguía siendo una definición bastante genérica para lograr una comparación más amplia en caso de ser necesaria. Por lo que al aplicar este enfoque al caso mexicano podemos entender que el objetivo

de la seguridad energética es proteger a los sistemas energéticos de fallas que puedan alterar su funcionamiento y estabilidad, y por ende el de la sociedad.

De esta forma el evaluar la seguridad eléctrica tomando como base esta definición de seguridad energética implicó: 1) identificar al sector eléctrico mexicano como el sistema energético en cuestión; 2) identificar sus vulnerabilidades; y 3) desarrollar, aplicar e interpretar indicadores para caracterizar estas vulnerabilidades.

Por ende al comprobar que el sistema eléctrico mexicano cubría el aspecto vital al ser fundamental para el funcionamiento y estabilidad de la sociedad mexicana y además fácilmente encajaba en la definición de sistema al poseer en su interior recursos, materiales, infraestructura, tecnologías, mercados y otros elementos entre si avalados por su reglamentación y siendo en conjunto algo más grande de lo que representan de forma individual, el sistema eléctrico mexicano quedó identificado como un sistema energético vital.

Posteriormente para delinear los límites del sistema eléctrico mexicano y sus posibles vulnerabilidades se obtuvo, con la ayuda de algunos indicadores seleccionados que abarcaban desde la seguridad energética del país hasta la seguridad del sector eléctrico mexicano, un marco de las necesidades energéticas del país y del sector eléctrico nacional que expuso entre otros la demanda de electricidad que debe ser cubierta para el funcionamiento del país, los recursos con los que se cuenta, las importaciones de energéticos para su generación, las tecnologías utilizadas, los niveles de infraestructura de generación, transmisión y distribución, y los grados de resiliencia presentes en el sistema que brindan seguridad ante posibles alteraciones. Este marco también reveló como posibles vulnerabilidades del sistema eléctrico: la falta de capacidad de generación para satisfacer la demanda interna a corto y mediano plazo, el no mantener un suministro eléctrico ininterrumpido, la falta de calidad en el servicio, la variabilidad inherente de las VRES y los desequilibrios repentinos a corto plazo, el rendimiento y adecuación de la red, la concentración en el uso de recursos energéticos, la dependencia de combustibles fósiles, los altos niveles de dependencia en la importación, y la falta de acceso a la electricidad por parte de la población. Vulnerabilidades que ya habían sido abordadas como riesgos en las políticas energéticas nacionales, confirmando así la caracterización del sistema eléctrico mexicano como sistema energético vital, su delimitación y sus posibles vulnerabilidades.

Una vez delineado el sistema eléctrico mexicano como sistema energético vital y establecidas las posibles vulnerabilidades que lo afectan, en el capítulo 4 se propuso un índice general de seguridad del sector eléctrico —que siguió el enfoque de seguridad energética de sistemas energéticos vitales y se complementó con el marco de evaluación de seguridad del suministro eléctrico de Larsen et al (2017)— para desarrollar, aplicar e interpretar indicadores que caractericen estas vulnerabilidades. Este índice habilita la observación y contextualización de la seguridad del sistema eléctrico mexicano con una percepción más clara y concisa de la continuidad del suministro energético en el sector eléctrico, y de los factores que representan algún riesgo para la provisión de energía de forma continua. Por consiguiente, este índice sintetiza lo planteado en el capítulo 3 debido a que la abundancia de indicadores dificulta la comprensión del panorama general de la seguridad del sector eléctrico, ofreciendo información más condensada y proporcionando un mejor entendimiento del estado del sector y sus posibles vulnerabilidades, y como estas se interrelacionan con las

dimensiones del índice —Gráfico 4.2— a través de sus indicadores que representan los riesgos y resiliencias que caracterizan las diferentes vulnerabilidades del sector eléctrico.

Este índice se encuentra conformado por 11 dimensiones, integradas mayormente entre uno y tres indicadores. Cada una de estas dimensiones revela alguna o algunas de las vulnerabilidades que afectan el funcionamiento del sector eléctrico mexicano al reflejar sus riesgos y sus capacidades de resiliencia. Los indicadores al interior de cada una de estas dimensiones fueron normalizados para arrojar valores entre 0 y 1 con el fin de unificarlos a través de una ponderación igualitaria que represente la seguridad existente en cada dimensión, facilitando la comparación entre los distintos periodos y mostrando cómo la seguridad mejoró o empeoró en cada período seleccionado, según la trayectoria de cada una de estas dimensiones. Cabe recalcar que dicho índice no genera una medida exacta de la seguridad del sector eléctrico, ya que su enfoque está dirigido a mostrar la evolución de cada una de las dimensiones a lo largo del tiempo para exponer las tendencias en su desarrollo. De esta forma el índice detecta aquellos aspectos que afectan o ayudan a mantener y mejorar la seguridad al interior del sector eléctrico, y contribuye a la seguridad del sector eléctrico.

Este índice general de seguridad del sector eléctrico, una vez cuantificado, develó que el estado tiene un gran reto para mejorar la seguridad del sector eléctrico mexicano, ya que a la fecha ha sobrellevado su funcionamiento con niveles alejados de lo que debería ser una seguridad óptima, según las vagas señales de política presentes en las regulaciones actuales del país. Por lo que, se confirmó que los eslabones más débiles del sistema eléctrico mexicano se encuentran en la concentración del uso de unos cuantos energéticos para generación que puede ser agravada por la dependencia en las importaciones de estos mismos energéticos y la falta de inversión en la infraestructura de transmisión y distribución de energía, lo cual limita los aumentos requeridos en la capacidad de generación que a su vez por medio de la planeación podría diversificar la matriz energética de generación y mejorar significativamente la seguridad del sector eléctrico.

Lo anterior pudo ser desencadenado por la política energética del país, una vez llevada a cabo la transformación de la matriz energética del sector eléctrico mexicano, la cual a grandes rasgos paso de usar en mayor medida el combustóleo a concentrarse en el gas natural, y a partir de la cual se apostó por mantener la dependencia del sector eléctrico sobre el gas natural, aun teniendo una noción clara de que esto mengua en cierta medida la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética, con el propósito de reducir en el corto plazo las emisiones de carbono así como los costos de generación, esperando que a largo plazo, una vez que se reduzcan los costos de las energías limpias, estas se incorporen al sistema y de esta forma se genere una mayor diversificación en la matriz energética, al mismo tiempo que se cumplen las metas de emisiones autopropuestas para combatir el cambio climático.

No obstante, esta reducción adoptada en la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética en general, puede llegar a ser mayor a la soportada por los niveles de resiliencia del sistema eléctrico y energético del país, lo que desencadenaría problemas para asegurar un suministro eléctrico continuo, que se puede agravarse ante una reducción de los principales energéticos de origen fósil a nivel de oferta internacional, afectando inclusive a otros sectores de la economía y no solo al energético.

En el caso del tendido de las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, el índice reveló que éste se ha reducido con el pasar de los años, o mejor dicho, el crecimiento y reforzamiento en

el tendido de estas líneas no ha ido a la misma velocidad que lo hace la demanda de energía eléctrica, por lo que en un futuro próximo, el país podría no contar con la capacidad de transmisión y distribución suficiente para mantener en equilibrio la oferta y demanda eléctrica, que junto con la adaptación que requiere el sistema para incorporar a las VRES por su rápida variabilidad, podría suponer el drenado de la energía producida por estas VRES o mantener a las diferentes centrales apagadas debido a la existencia de cuellos de botella. De continuar, se volvería un problema de mediano y largo plazo que se contradice con la esperanza de poder incorporar mayor capacidad de energías limpias a futuro, en razón de que mientras no se resuelva la baja capacidad de transmisión no se posibilitará una mayor introducción de VRES a futuro, que favorezca la transformación del sistema eléctrico mexicano hacia un mundo cada vez más sustentable en donde las energías limpias coexistan en concordancia con las energías fósiles en niveles de operatividad y diversificación, teniendo siempre en cuenta el desafío de mantener un sistema eléctrico altamente coordinado que trabaje a través del mercado.

Recordando que uno de los beneficios esperados de la transición energética a nivel mundial es que permita reducir la dependencia externa de los combustibles fósiles tanto en flujos como en precios. Por lo que en caso de que México lograrse esta transición, poseería los recursos para mantener en equilibrio la oferta y demanda eléctrica ante la posibilidad de que los precios del gas natural emprendieran una tendencia de crecimiento a futuro. Beneficio que se traslada a la seguridad energética del país a causa de reducir la concentración existente en el consumo de este combustible y sus niveles de dependencia.

De esta forma con todo lo planteado en esta investigación se confirma que el sector eléctrico al ser parte del sistema energético nacional posee vulnerabilidades enmarcadas en la seguridad energética. Por lo que el no poseer una definición clara y homogénea de seguridad energética en México durante todo este periodo derivó: 1) en que muchos aspectos de seguridad de los distintos subsectores energéticos como el de la electricidad se vieran afectados, debido a que cada subsector energético buscaba asegurar un flujo constante de su energético e interpretaba los objetivos generales de la planeación de forma particular y como mejor le conviniera; 2) lo que también generó que se omitiera la búsqueda de seguridad al interior de cada subsector, generalmente boicoteada por la baja producción de indicadores que permitieran evaluar el desempeño en la implementación de los distintos rubros de la planeación energética.

Estableciendo así que la seguridad del sector eléctrico mexicano no es óptima dentro del contexto de seguridad energética nacional expuesto en esta investigación, debido a que la seguridad del sector eléctrico mexicano no se encuentra vinculada a la política de seguridad energética nacional. Lo cual puede deberse a que la política de seguridad energética nacional no se definió hasta finales del periodo de estudio de esta investigación, y que además dicha definición no es clara respecto a su aplicación. Lo cual es visible en las vagas menciones dentro de los documentos de las distintas instituciones involucradas en el funcionamiento del sector energético mexicano, las cuales difieren en cómo debe realizarse su implementación.

Aspectos en los que el estado a través de SENER deberá trabajar para utilizar los mecanismos a su disposición que le permitan mejorar la seguridad del sector eléctrico y la seguridad energética del país, al promover, entre otras, inversiones en el tendido de líneas de transmisión y nueva capacidad de generación que se adapte a los nuevos requerimientos del sector eléctrico mexicano, e incentivar

la exploración y desarrollo de yacimientos de gas natural así como la extracción de una mayor cantidad de forma asociada. Políticas que deberán encausarse a organizar a todos los actores del sector energético y sector eléctrico mexicano teniendo como base una ruta clara establecida en la planeación y desarrollo del sector energético mexicano. Adicionalmente estas directrices deberán corresponderse con las políticas de seguridad energética, transición energética y reducción de emisiones contaminantes para lograr el cumplimiento de la función social crítica del sector eléctrico mexicano, la cual es ofrecer un flujo energético confiable, eficiente, flexible y de calidad.



## Referencias

- Aguirre, R. (2021). Natural gas policy change in Mexico. The political economy of state ownership and regulation (1995-2018). University of Ottawa.
- Andrade, Eduardo. (2007, septiembre-octubre). El margen de reserva de CFE. *Energía a Debate*, 4(22), 35.
- Andrews, C. J. (2005). Energy security as a rationale for governmental action. *IEEE Technology and Society Magazine*, 24(2), 16–25. <https://doi.org/10.1109/MTAS.2005.1442377>
- APERC (2007). A Quest for Energy Security in the 21st Century: Resources and Constraints. Asia Pacific Energy Research Centre, Tokyo, Japan.
- Augutis, J., Krikštolaitis, R., Martišauskas, L., Pečiulytė, S., & Žutautaitė, I. (2017). Integrated energy security assessment. *Energy*, 138, 890-901. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.113>
- Bhattacharyya, S. C. (2011). Energy economics: Concepts, issues, markets and governance. *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-268-1>
- Bohi, D. R., & Toman, M. A. (1993). Energy security: externalities and policies. *Energy Policy*, 21(11), 1093–1109. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(93\)90260-M](https://doi.org/10.1016/0301-4215(93)90260-M)
- Bohi, D. R., & Toman, M. A. (1996). Applications of Energy Security Externalities to Electricity Policy. In *The Economics of Energy Security* (pp. 95–119). [https://doi.org/10.1007/978-94-009-1808-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1808-5_6)
- Bollen, J. (2008). Energy security, air pollution, and climate change: an integrated cost-benefit approach. Milieu- En Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Bompard, E., Carpignano, A., Erriquez, M., Grosso, D., Pession, M., & Profumo, F. (2017). National energy security assessment in a geopolitical perspective. *Energy*, 130, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.108>
- BP. (Junio, 2018). *BP Statistical Review of World Energy. [Coal Reserves]*. Recuperado de <http://www.bp.com/statisticalreview>
- British Petroleum. (2018). BP Statistical Review of World Energy. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- Castro, M. (2017). Assessing the risk profile to security of supply in the electricity market of Great Britain. *Energy Policy*, 111(July), 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.031>
- Catalán, H. (2014). Curva ambiental de Kuznets: implicaciones para un crecimiento sustentable. *Economía Informa*, 389, 19–37.
- CEER. (2018). CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply. Retrieved from <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c>

CENACE. (2015). Criterios mediante los que se establecen las características específicas de la infraestructura requerida para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga.

CENACE. (2019). Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Electro Mayorista 2019-2033.

CENACE. (2020). Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista 2020-2034.

CEPAL. (2003). Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe (Primera Ed). Santiago de Chile: ONU.

CEPAL. (2009) Contribución de los servicios energéticos a los objetivos de desarrollo del milenio y a la mitigación de la pobreza en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

CFE. (1977). Evolución del Sector Eléctrico en México, 40<sup>º</sup> aniversario, talleres gráficos, México.

CFE. (2014) CFE y la electricidad en México. [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx)

Checchi, A., Behrens, A., & Egenhofer, C. (2009). Long-Term Energy Security Risks for Europe: A Sector-Specific Approach. In CEPS Working Documents (No. 309). <https://doi.org/10.2139/ssrn.1334620>

Cherp, A., & Jewell, J. (2011a). The three perspectives on energy security: Intellectual history, disciplinary roots and the potential for integration. *Environmental Sustainability*, 3(4), 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.07.001>

Cherp, A., & Jewell, J. (2011b). Measuring Energy Security: From universal indicators to contextualized frameworks. In B. K. Sovacool (Ed.), *The Routledge Handbook of Energy Security: Vol. I* (pp. 330–355). <https://doi.org/10.4324/9780203834602.ch17>

Cherp, A., & Jewell, J. (2013). Energy security assessment framework and three case studies. In H. Dyer & M. Trombetta (Eds.), *International Handbook of Energy Security* (pp. 146–173). <https://doi.org/10.4337/9781781007907>

Cherp, A., & Jewell, J. (2014). The concept of energy security: Beyond the four as. *Energy Policy*, 75, 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005>

Chevalier, J.M., Barbet, Ph., y Benzoni, L. (1986), *Economie de l'énergie*, París, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques & Dalloz.

Chung, W.-S., Kim, S.-S., Moon, K.-H., Lim, C.-Y., & Yun, S.-W. (2017). A conceptual framework for energy security evaluation of power sources in South Korea. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.108>

Contreras, R. & Salgado, R. (2021). *Informe regional sobre el ODS 7 de sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe*. CEPAL.

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47674/S2100754\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47674/S2100754_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CRE. (1997). Boletín de Prensa. <http://cre.gob.mx/documento/560.pdf>

CRE. (2000). Resolución por la que la Comisión Reguladora de Energía expide las Disposiciones Administrativas de carácter general que contienen los criterios de eficiencia, calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

CRE. (2018). Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2017. CDMX, México.

CRE. (2019). Reporte de Confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional 2018. CDMX, México.

Hippel, D., Suzuki, T., Williams, J., Savage, T., Hayes, P. (2011), Evaluating the Energy Security Impacts of Energy Policies from: The Routledge Handbook of Energy Security Routledge. <https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9780203834602.ch3>

Dalby, S. (2013). Global Environmental Security. In The Handbook of Global Climate and Environment Policy, R. Falkner (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781118326213.ch10>

Dalby, S. (2010). Environmental Security and Climate Change, Oxford Research Encyclopedia of International Studies. Actualizado en 2020 en: <https://oxfordre.com/internationalstudies/view/10.1093/acrefore/9780190846626.001.0001/acrefore-9780190846626-e-168>.

Azpiazu, D., Vispo, A. (1994). Algunas enseñanzas de las privatizaciones en Argentina. Revista de la CEPAL, 54, 129-147.

Deese, D. A. (1979). Energy: economics, politics, and security. International Security, 4(3), 140-153.

DOF. (1937). Ley Que Crea La Comisión Federal De Electricidad.

DOF. (2013). Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía.

DOF. (2014a). Ley de la Industria Eléctrica.

DOF. (2014b). Ley de Energía Geotérmica.

DOF. (2019). Acuerdo por el que se modifican los Términos para la estricta separación legal de la Comisión Federal de Electricidad, publicados el 11 de enero de 2016.

Filipović, S., Radovanović, M., & Golušin, V. (2018). Macroeconomic and political aspects of energy security – Exploratory data analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 97(September), 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.058>

Fulwood, M. (2021). Energy transition: modelling the impact on natural gas (No. NG 169).

Garza, E. (1994). Historia de la industria eléctrica en México. México. Universidad Autónoma Metropolitana Colección CSH. Pág. 21

Global Energy Institute. (2018). International Index of Energy Security Risk. Retrieved from [https://www.globalenergyinstitute.org/sites/default/themes/bricktheme/pdfs/energyrisk\\_intl\\_2018.pdf](https://www.globalenergyinstitute.org/sites/default/themes/bricktheme/pdfs/energyrisk_intl_2018.pdf)

Grande-Acosta, G., & Islas-Samperio, J. (2017). Towards a low-carbon electric power system in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 37, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.02.001>

Guivarch, C., Monjon, S. (2016) Identifying the main uncertainty drivers of energy security in a low-carbon world: The case of Europe. *Energy Economics*, Elsevier, 64, 530-541. 10.1016/j.eneco.2016.04.007. halshs-01348948

Hempel, C. (1964). *International Encyclopedia of Unified Science: Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, Vol. II. University of Chicago Press, Chicago.

Hippel, D. F., Suzuki, T., Williams, J. H., Savage, T., & Hayes, P. (2010), Evaluating the Energy Security Impacts of Energy Policies. En Sovacool, B. K. (Ed.), *The Routledge Handbook of Energy Security* (74-95). Abingdon, United Kingdom: Routledge. <https://www.routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9780203834602.ch3>

Hines, P., Apt, J., Talukdar, S. (2008). Trends in the History of Large Blackouts in the United States. IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, pp. 1-8, doi: 10.1109/PES.2008.4596715.

Hughes, L. (2007). Energy Security in Nova Scotia. Retrieved from [www.policyalternatives.ca](http://www.policyalternatives.ca).

Hughes, L. (2009). *The four 'R's of energy security*. Energy Research Group Electrical and Computer Engineering, Nova Scotia, Canada. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.038>

Hunt, S. (2002). *Making competition work in electricity*. John Wiley & Sons.

IEA. (2005). *CO2 Emissions from Fuel Combustion: 2005 Edition*, IEA/OECD, Paris, France.

IEA. (2008). *World Energy Outlook 2008*. Recuperado de: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo2008.pdf>

IEA. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*. Paris, France.

IRENA. (2018). *Flexibilidad del Sistema Eléctrico para la Transición Energética*. <https://doi.org/10.18356/d2f37837-es>

IRENA. (2019). *A New World: The Geopolitics of the Energy Transformation*. In *Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation*.

Jamasb, T., Pollit, M. (2008). Security of supply and regulation of energy networks. *Energy Police*, 36 (2008), 4584–4589. doi:10.1016/j.enpol.2008.09.007

Jansen, J. C., Arkel, W. V., & Boots, M. G. (2004). *Designing indicators of long-term energy supply security*. Amsterdam: Netherlands Environmental Assessment Agency; 2004.

Jansen, J. C., & Seebregts, A. J. (2010). Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued? *Energy Policy*, 38(4), 1654–1664. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.047>

Jewell, J. (2011). The IEA Model of Short-term Energy Security (MOSES) - Primary Energy Sources and Secondary Fuels. OCDE/IEA, Paris, Francia. <https://doi.org/10.1787/5k9h0wd2ghlv-en>

Jun, E., Kim, W., & Chang, S. H. (2009). The analysis of security cost for different energy sources. *Applied Energy*, 86(10), 1894–1901. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.11.028>

Joode, J. De, Kingma, D., Lijesen, M., Mulder, M., & Shestalova, V. (2004). Energy Policies and Risks on Energy Markets: A cost-benefit analysis. Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, The Hague, Netherlands. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/cpb/spcial/51.html>

Keppler, J. H. (2007). International relations and security of energy supply: risks to continuity and geopolitical risks. European Parliament - Directorate-General for External Policies of the Union.

Kisel, E., Hamburg, A., Härm, M., Leppiman, A., & Ots, M. (2016). Concept for Energy Security Matrix. *Energy Policy*, 95, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.034>

Klare, M.T. (2009) *Rising Powers, Shrinking Planet: The New Geopolitics of Energy*. Macmillan.

Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. M., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2166–2181. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.006>

Larsen E., Osorio, S., Ackere, A. (2017). A framework to evaluate security of supply in the electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79 (2017), 646–655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.085>

Le Coq, C., & Paltseva, E. (2009). Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy Policy*, 37(11), 4474–4481. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.069>

Lefèvre, N. (2007). Energy Security and Climate Policy: Assessing interactions. *International Energy Agency*, 149. [https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2009.00625\\_2.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2009.00625_2.x)

Lefèvre, N. (2010). Measuring the energy security implications of fossil fuel resource concentration. *Energy Policy*, 38(4), 1635–1644. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.003>

Lesbirel, S. H. (2004). Diversification and Energy Security Risks: The Japanese Case. *Japanese Journal of Political Science*, 5(1), 1–22. <https://doi.org/10.1017/S146810990400129X>

Leung, G. CK., Cherp, A., Jewell, J., & Wei, Y-M. (2014). Securitization of energy supply chains in China. *Applied Energy*, 123, 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.016>

Löschel, A., Moslener, U., & Rübhelke, D. T. G. (2010). Indicators of energy security in industrialized countries. *Energy Policy*, 38(4), 1665–1671. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.061>

Lovins, A. B., & Lovins, L. H. (1982). *Brittle power: energy strategy for national security*. Andover, Ma.

Lukszo, Z., Deconinck, G., Weijnen y M. P. C. (2010) Introduction. En Lukszo, Z., Deconinck, G., Weijnen y M. P. C. (Eds.), *Securing Electricity Supply in the Cyber Age: Exploring the Risks of*

Information and Communication Technology in Tomorrow's Electricity Infrastructure (1-12). N.Y., EUA: Springer Netherlands.

McCarthy, R. W., Ogden, J. M., & Sperling, D. (2007). Assessing reliability in energy supply systems. *Energy Policy*, 35(4), 2151–2162. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.06.016>

Melgar, L. (2013). Transitando hacia la sostenibilidad: la transformación necesaria de la industria eléctrica en México. En A. Chanona (Eds.), *Confrontando Modelos de Seguridad Energética* (375-408). Ciudad Universitaria, CDMX, México: UNAM.

Moore, S. (2017). *Evaluating the energy security of electricity interdependence: Perspectives from Morocco*. *Energy Research & Social Science*, 24, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.12.008>

Nasibov, V., & Alizade, R. (2018). *Models Of Electric Power Industry Security Study For Medium-Term Periods*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 405–409. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.342>

Navigant Consulting Inc. (2013). *Evolution of the Electric Industry Structure in the U.S. and Resulting Issues*. Washington, DC.

Nuttall, W. J., & Manz, D. L. (2008). A new energy security paradigm for the twenty-first century. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(8), 1247–1259. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.02.007>

Nyman, J. (2018). Rethinking energy, climate and security: a critical analysis of energy security in the US. *J Int Relat Dev* 21, 118–145. <https://doi.org/10.1057/jjird.2015.26>

Ölz, S., Sims, R., & Kirchner, N. (2007). *Contribution of Renewables to Energy*. In IEA Information Paper. Paris, France. <https://webstore.iea.org/download/direct/919>

Oswald, U. (2017). Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 62 (230), 155-196. [http://dx.doi.org/10.1016/S0185-1918\(17\)30020-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0185-1918(17)30020-X)

PNUD (2015). *Presentando la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Recuperado de: [https://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/brochure/SDGs\\_Booklet\\_Web\\_Sp.pdf](https://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/brochure/SDGs_Booklet_Web_Sp.pdf)

PNUD. (2016). *Delivering Sustainable Energy in a Changing Climate - Strategy Note on Sustainable Energy 2017-2021*. New York, NY. Recuperado de: <http://www.lk.undp.org/content/dam/srilanka/docs/environment/UNDP%20Energy%20Strategy%202017-2021.pdf>

PNUMA. (2012). *Medio ambiente para el futuro que queremos*. Panamá: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Popescu, M.-F. (2015). *The Economics and Finance of Energy Security*. *Procedia Economics and Finance*, 27(15), 467–473. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)01022-9](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)01022-9)

Puyana Mutis, A., & Rodríguez Peña, I. (2020). Seguridad energética en México, Estados Unidos y Canadá de 1980 al 2016. Centralidad del petróleo y la incorporación de temas ambientales. *Norteamérica*, 15(2), 36. <https://doi.org/10.22201/cisan.24487228e.2020.2.401>

Radovanović, M., Filipović, S., & Pavlović, D. (2017). Energy security measurement – A sustainable approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1020–1032. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.010>

Ren, J., & Dong, L. (2018). Evaluation of electricity supply sustainability and security: Multi-criteria decision analysis approach. *Journal of Cleaner Production*, 172, 438–453. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.167>

Rodilla, P., & Batlle, C. (2012). Security of electricity supply at the generation level: Problem analysis. *Energy Policy*, 40(1), 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.030>

Rodríguez Padilla, V. (2018a). Seguridad energética: Análisis y evaluación del caso de México. In *Serie Estudios y Perspectivas CEPAL (Vol. 179)*. Ciudad de México, México.

Rodríguez Padilla, V. (2018b). Seguridad e integración energética con Estados Unidos: de la confianza a la incertidumbre. *Norteamérica*, 13(2). <https://doi.org/10.22201/cisan.24487228e.2018.2.322>

Ruiz, F., Rodríguez, V., Sosa, F. (2013). Internalización de Pemex y Seguridad Energética. En A. Chanona (Eds.), *Confrontando Modelos de Seguridad Energética* (375-408). Ciudad Universitaria, CDMX, México: UNAM.

Scheepers, M., Seebregts, A., de Jong, J., & Maters, H. (2006). EU Standards for Energy Security of Supply. In *Clingendael International Energy Programme*. Amsterdam, The Netherlands. <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-C--06-039>.

SEMIIP. (1990). Programa Nacional de Modernización Energética 1990-1994.

SENER. (1996). Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía, 1995-2000.

SENER. (2002). Programa Sectorial de Energía 2001-2006.

SENER. (2008). Programa Sectorial de Energía 2007 – 2012.

SENER. (2014a). Estrategia Nacional de Energía 2014-2028. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf>

SENER. (2014b). Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028. CDMX, México.

SENER. (2014c). Programa Sectorial de Energía 2013-2018.

SENER. (2017a). Prospectiva del sector eléctrico 2017-2031. CDMX, México.

SENER. (2017b). Aviso por el que se da a conocer la política de confiabilidad, establecida por la Secretaría de Energía. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5473221&fecha=28/02/2017)

SENER. (2018). Prospectiva del Sector Eléctrico 2018-2032.



- SENER. (2019). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2019-2033.
- SENER. (2020a). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2020-2034.
- SENER. (2020b). Acuerdo por el que se emite la Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico Nacional.
- Sovacool, B. K., Mukherjee, I., Drupady, I. M. & D'Agostino, A. L. (2011). Evaluating energy security performance from 1990 to 2010 for eighteen countries. *Energy*, 36(10), 5846-5853. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.040>.
- Stirling, A. (1994). Diversity and ignorance in electricity supply investment: Addressing the solution rather than the problem, *Energy Policy*, 22 (3), 195-216. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(94\)90159-7](https://doi.org/10.1016/0301-4215(94)90159-7)
- Stirling, A. (2014). From Sustainability, through Diversity to Transformation: towards more reflexive governance of technological vulnerability. In A. Hommels, J. Mesman, & W. E. Bijker (Eds.), *Vulnerability in Technological Cultures* (pp. 305–332). <https://doi.org/10.7551/mitpress/9209.003.0021>
- Stern, J. (2002) Security of European Natural Gas Supplies: The impact of import dependence and liberalization. Sustainable Development Programme, Royal Institute of International Affairs, London, UK. [http://www.bgc.bg/upload\\_files/file/Security\\_of\\_Euro\\_Gas\\_.pdf](http://www.bgc.bg/upload_files/file/Security_of_Euro_Gas_.pdf)
- Sweeney, J. L., *Economics of Energy*, Volume: 4.9 Article: 48. United States Energy History. <http://www.stanford.edu/~jsweeney/paper/Energy%20Economics.PDF>
- U.S. Department of Homeland Security. Energy Sector-Specific Plan. (2015).
- Valdés Lucas, J. N., Escribano Francés, G., & San Martín González, E. (2016). Energy security and renewable energy deployment in the EU: Liaisons Dangereuses or Virtuous Circle? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1032–1046. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.069>
- Vargas, R. (2019). La Seguridad Energética y las Energías Limpias. *Petroquimex*, 8–16. Retrieved from <https://petroquimex.com/PDF/EneFeb19/SEGURIDAD-ENERGETICA-Rosio-Vargas.pdf>
- von Hippel, D. F., Suzuki, T., Williams, J. H., Savage, T., & Hayes, P. (2011). Evaluating the Energy Security Impacts of Energy Policies. In B. K. Sovacool (Ed.), *The Routledge Handbook of Energy Security* (pp. 74–95). <https://doi.org/10.4324/9780203834602.ch3>
- von Lüpke, H., & Well, M. (2020). Analyzing climate and energy policy integration: the case of the Mexican energy transition. *Climate Policy*, 20(7), 832–845. <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1648236>
- Wallace, R.-B. (2009). El carbón en México. *Economía Informa*, 359, 138–160. Retrieved from <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/08bruce.pdf>
- Wang, Q., & Zhou, K. (2017). A framework for evaluating global national energy security. *Applied Energy*, 188, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.116>
- WEC (2000). *Energy for Tomorrow's World - Acting Now*. World Energy Council, London.



Winzer, C. (2012). Conceptualizing energy security. *Energy Policy*, 46, 36–48.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.067>.

WRI, UNEP (2005). *World resources 2005, The Wealth of the Poor*. UNEP, World Bank.

Yergin, D. (1988). Energy Security in the 1990s. *Foreign Aff.*, 67, 110.

Yergin, D. (2006). Ensuring Energy Security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69–82.  
<https://doi.org/10.2307/20031912>

Yu, W., & Pollitt, M. G. (2009). Does Liberalisation cause more electricity blackouts? Evidence from a global study of newspaper reports. In *Cambridge Working Paper in Economics* (No. 0911).

Lukszo, Z., Deconinck, G., & Weijnen, M. (2010). Securing Electricity Supply in the Cyber Age. In Z. Lukszo, G. Deconinck, & M. P. C. Weijnen (Eds.), *Securing Electricity Supply in the Cyber Age*.  
<https://doi.org/10.1007/978-90-481-3594-3>