

MÉXICO ANTE LA SATURACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS



1. Introducción

México enfrenta dos retos centrales en materia de electricidad, uno es la falta de capacidad de generación eléctrica -la cual se abordó en un [estudio](#) anterior- y el otro es la saturación de las redes eléctricas, es decir, la infraestructura que permite llevar la energía eléctrica de las centrales de generación hasta los centros de carga (consumo).

Una diferencia central entre ambas problemáticas es que en México la generación eléctrica es un mercado abierto donde actores públicos y privados pueden invertir en nuevos proyectos y, por su parte, las inversiones en redes eléctricas -al ser un monopolio natural en el sentido económico- corren por cuenta del Estado. El artículo 25 constitucional establece que el Estado estará a cargo “de la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, y del servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica”.¹ Por ello, el Estado -a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)- tiene la responsabilidad de llevar a cabo las expansiones y modernizaciones necesarias para que las redes eléctricas para garantizar la confiabilidad del sistema eléctrico.

El crecimiento de la demanda eléctrica (3.4% en 2022 y 3.5% en 2023),²³ así como la transición energética, con la incorporación de fuentes de generación eléctrica variables -solar fotovoltaica y eólica, las cuales no están en condiciones de producir electricidad en todo momento-, tienen como condición indispensable contar con redes eléctricas robustas que no pongan en riesgo la seguridad del sistema.

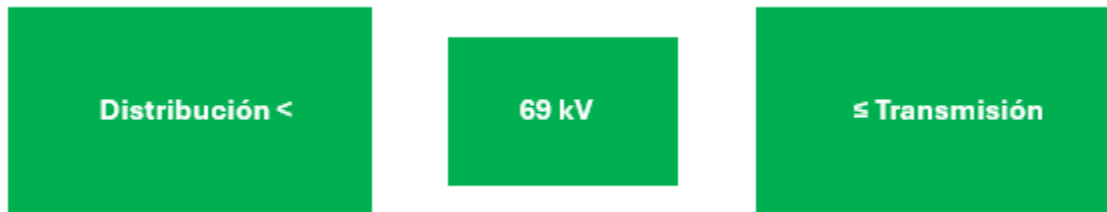
Las redes eléctricas consisten en la transmisión y la distribución. El umbral de tensión que separa a la distribución de la transmisión son 69 kilovoltios (kV),⁴ a partir de este voltaje se considera transmisión. Este documento se enfoca principalmente en las inversiones en transmisión eléctrica, por su importancia crucial para la confiabilidad del sistema y relativa mayor complejidad y costo en su desarrollo.

¹ Cámara de Diputados. “Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos”. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm> (Consultado el 25/08/2024).

² Secretaría de Energía. 2023. “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2023-2037”. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2023-2037> (Consultado el 25/08/2024).

³ Secretaría de Energía. 2024. “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038”. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2024-2038> (Consultado el 25/08/2024).

⁴ Comisión Federal de Electricidad. 2023. “Informe Anual 2023”. <https://www.cfe.mx/finanzas/reportes-financieros/pages/informes-anales.aspx> (Consultado el 25/08/2024).

Figura 1. Niveles de tensión en transmisión y distribución

Fuente: IMCO con Plan de negocios CFE 2024-2028

El objetivo de este documento es analizar la evolución de las inversiones en transmisión eléctrica para el periodo 2013-2023, los principales proyectos en desarrollo por parte de la CFE, así como las necesidades actuales de inversión de cara al inicio de un nuevo gobierno.

2. Relevancia de las redes eléctricas en un contexto cambiante

En la actualidad las inversiones en infraestructura de redes eléctricas, y su buena gestión, han adquirido una relevancia crucial para la seguridad y confiabilidad de los sistemas eléctricos. Mientras que algunos retos son intrínsecos de todo sistema eléctrico en todo momento, el cambio tecnológico y geopolítico expone a las redes eléctricas a desafíos particulares. Destacan los siguientes:

- **Incorporación acelerada de energías renovables.** La intermitencia o variabilidad de las energías solar fotovoltaica y eólica presentan un desafío. Al no generar energía en todo momento, dado que ésta depende de la irradiación solar o el viento, se debe contar con fuentes de respaldo (baterías o fuentes con bajas emisiones). Aunado a ello, las líneas de transmisión que únicamente transporten energía solar fotovoltaica o eólica tendrán menores porcentajes de aprovechamiento, lo que implica un mayor costo de capital relativo a las líneas que transportan energía firme.
- **Electromovilidad.** La expansión del uso de vehículos eléctricos aumentará la presión sobre las redes eléctricas en la próxima década. En materia de redes eléctricas, el desafío se relaciona por un lado a un mayor número de centros de carga a lo largo del país (se proyectan 21,799 electrolinerías para 2038, mientras que en 2021 existían 2,541),⁵ preferentemente de fuentes limpias (donde el mayor crecimiento se da en energías variables), ya que de lo contrario únicamente se movería el centro de contaminación del vehículo a la central eléctrica.
- **Pérdidas de energía.** CFE registra un porcentaje de pérdidas de energía de 12.56%. De estas pérdidas, 41.5% son pérdidas técnicas (energía que se pierde por el calentamiento de los conductores eléctricos y transformadores) y 58.5% corresponde a pérdidas no técnicas (atribuible a fallas en la infraestructura o uso ilícito).⁶ Este riesgo se puede reducir

⁵ Secretaría de Energía. 2024. "Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038".

⁶ Centro Nacional de Control de Energía. 2024. "Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión". https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaRNT_RDG.aspx (Consultado el 25/08/2024).

con inversión para modernizar la infraestructura y, así como la descentralización de las centrales de generación, de ser posible cercanas al centro de consumo.

- **Apagones.** Los apagones generados ya sea por desbalances en la relación de oferta y demanda de la energía eléctrica o por fenómenos climatológicos, son un riesgo perenne para las redes eléctricas. El mecanismo más eficiente para no poner en riesgo la confiabilidad del sistema recae en contar con un margen de reserva de generación eléctrica amplio, acompañado de una gestión eficiente de las redes.
- **Amenaza de ciberataques.** La evolución tecnológica abre un flanco adicional a los riesgos que enfrentan las redes eléctricas. Los ciberataques a infraestructura energética crítica ya son una realidad, como lo ejemplifica el caso del ducto Colonial en la costa este de Estados Unidos, donde a consecuencia de un ciberataque se frenó el flujo del mayor oleoducto de esa región del país. Las empresas de energía deben invertir suficientes recursos cibernéticos para minimizar este riesgo.⁷
- **Ataques terroristas.** Las redes eléctricas son infraestructura crítica para prácticamente todas las actividades de la vida moderna y en ese sentido son un objetivo natural para los grupos terroristas en todo el mundo.⁸

Para enfrentar estos retos y cumplir con los objetivos de descarbonización de la economía mundial, Rystad Energy estima que las redes eléctricas requerirán 3.1 billones de dólares en inversiones hacia 2030, equivalentes a 18 millones de nuevos kilómetros (km) de líneas.⁹ En 2022 las inversiones a nivel global en infraestructura de redes ascendieron a 332 mil millones de dólares. En América del Norte destaca Estados Unidos, país que ha incrementado sistemáticamente sus inversiones en la red eléctrica durante los últimos años: pasó de 60 mil millones de dólares en 2015 a 77 miles de millones en 2020 y 86 miles de millones en 2022.¹⁰

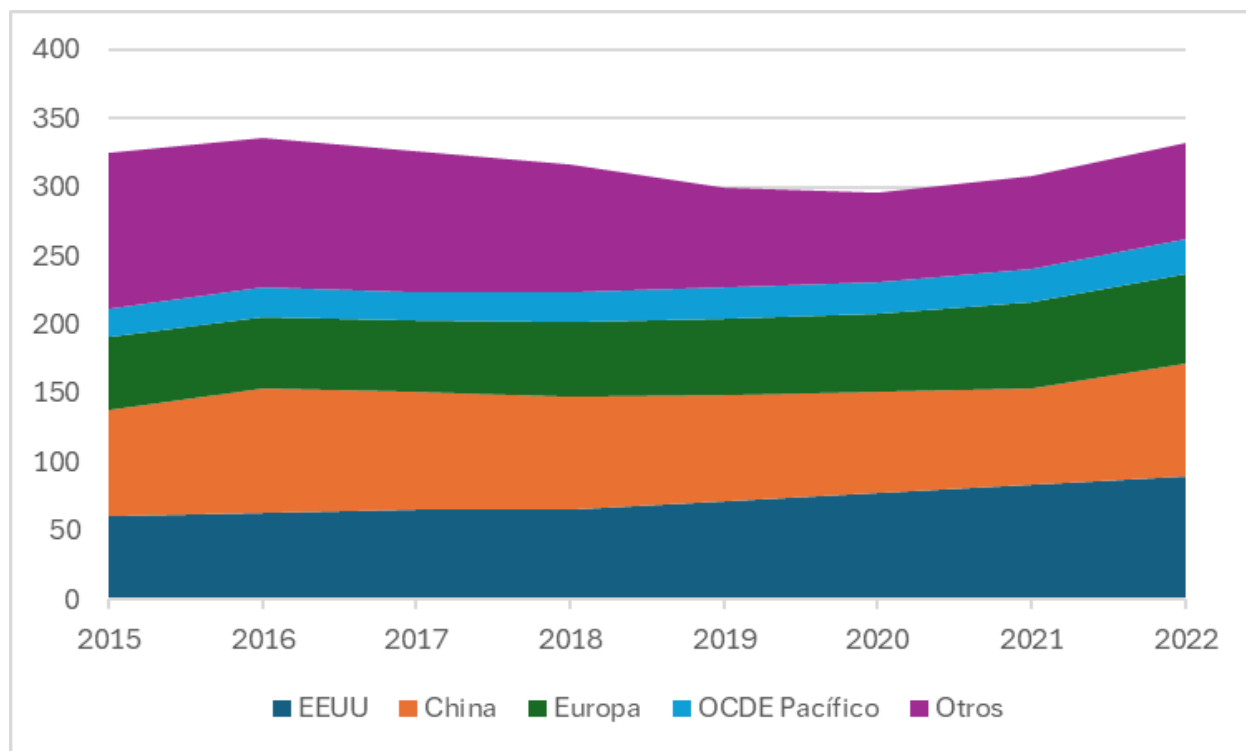
⁷ Fuergy. 2024. "7 major challenges of a power grid and their solutions". <https://www.fuergy.com/blog/7-problems-and-challenges-of-a-power-grid> (Consultado el 25/08/2024).

⁸ Fuergy. 2024. "7 major challenges of a power grid and their solutions".

⁹ Rystad Energy. 2024. "Enable or inhibit: Power grids, key to the energy transition, require \$3.1 trillion in investments by 2030". <https://www.rystadenergy.com/news/power-grids-investments-energy-transition-permitting-policies> (Consultado el 25/08/2024).

¹⁰ International Energy Agency. 2023. "Investment spending on electricity grids, 2015-2022". <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-spending-on-electricity-grids-2015-2022> (Consultado el 25/08/2024).

Gráfica 1. Inversiones en infraestructura de redes eléctricas. Miles de millones de dólares. 2015-2022



Fuente: IMCO con AIE

3. Inversiones en la Red Nacional de Transmisión

De acuerdo con su mecanismo de planeación, la CFE estima invertir 129.4 mil millones de pesos en infraestructura de transmisión eléctrica entre 2023 y 2028.¹¹ Sin embargo, al analizar las inversiones ejercidas la década anterior en infraestructura de transmisión (2013-2023), se observa que, en primer lugar, que la subinversión en infraestructura de transmisión eléctrica ha sido una constante y, en segundo, que los montos ejercidos distan mucho de los objetivos de inversión del mecanismo de planeación para 2023-2028.

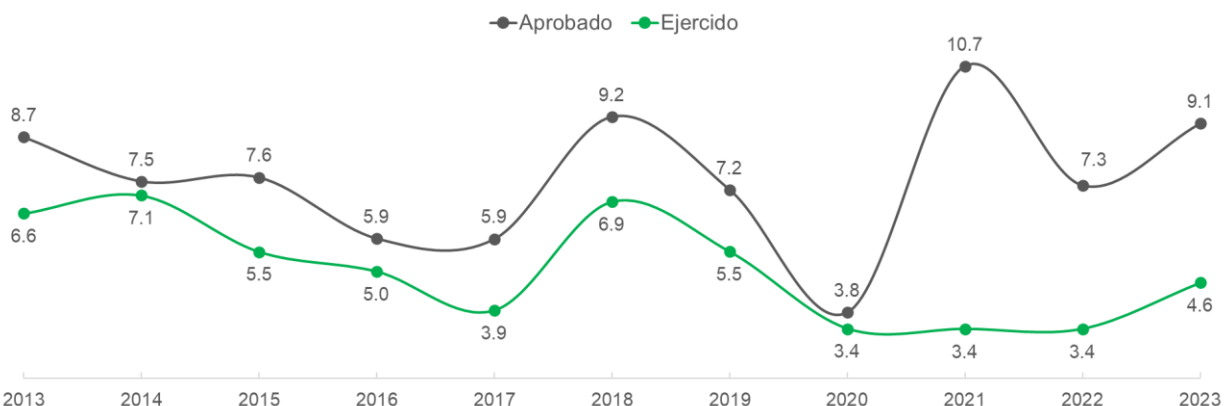
Tabla 1. Inversiones programadas en transmisión eléctrica en el mecanismo de planeación de la CFE. Millones de pesos corrientes. 2023-2028

2023	2024	2025	2026	2027	2028	Total
21,201	24,577	36,062	38,847	6,034	2,583	129,406

Fuente: IMCO con Plan de negocios CFE 2024-2028

¹¹ Comisión Federal de Electricidad. “Plan de Negocios 2024-2028”. <https://www.cfe.mx/finanzas/Documents/Plan%20de%20Negocios%202024-2028.pdf> (Consultado el 25/08/2024).

Gráfica 2. Recursos aprobados y ejercidos por CFE Transmisión en infraestructura de transmisión eléctrica. Miles de millones de pesos corrientes. 2013-2023



Fuente: IMCO con Cuenta Pública. Varios años

La propia CFE reconoce que de 2023 en adelante requiere 84 mil millones de pesos para ejecutar 57 proyectos relacionados al mantenimiento de líneas de transmisión, subestaciones de potencia, adquisición de equipo de cómputo y rehabilitación de edificios y talleres, así como¹² 150 proyectos instruidos por la Secretaría de Energía en el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (Prodesen).¹³¹⁴

La Secretaría de Energía publica anualmente Prodesen con una visión a 15 años. En ese documento, las expansiones a la capacidad de generación son únicamente indicativas, sin embargo, las obras planteadas para ampliar y modernizar las redes eléctricas son vinculantes, es decir, la CFE debe ejecutar esos proyectos. No obstante, frecuentemente este no es el caso por dos razones. En primer lugar, las obras instruidas no necesariamente son estratégicas desde un punto de vista de negocios para la CFE y, en segundo, la instrucción de construir infraestructura de redes no es acompañada con recursos etiquetados para llevar a cabo las obras.

Incluso si se considera la proyección para 2023, los recursos aprobados en el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) de ese año fueron únicamente 42.9% de lo contemplado en el mecanismo de planeación de la CFE y la inversión ejercida ascendió a sólo 21.7% de lo contemplado en el mecanismo.¹⁵¹⁶ Para 2024 se puede esperar un comportamiento similar, dado

¹² Comisión Federal de Electricidad. “Plan de Negocios 2024-2028”.

¹³ Secretaría de Energía. “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038”.

¹⁴ Prodesen 2024-2038 incrementa esta cifra a 194 proyectos.

¹⁵ Secretaría de Hacienda. 2023. “Presupuesto de Egresos de la Federación”.

https://www.pef.hacienda.gob.mx/es/PEF2023/analiticos_presupuestarios (Consultado el 25/08/2024).

¹⁶ Secretaría de Hacienda. 2024. “Cuenta Pública 2023”.

https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/en/CP/Comision_Federal_Electricidad-2023 (Consultado el 25/08/2024).

que en el PEF se contemplan 9.6 mil millones de pesos en inversión, 39.2% de lo pronosticado en el mecanismo.¹⁷

Las aportaciones bajo el esquema de autoabastecimiento, donde los proyectos de generación tenían la obligación de hacerse cargo de las obras para su interconexión y refuerzo de la red y donarlas a la CFE, fueron un mecanismo relevante para las expansiones de la red en las primeras dos décadas del siglo XXI, sin embargo, es necesario subrayar que actualmente no existe información pública y desagregada que desglose los montos de estas aportaciones.¹⁸ La falta de inversión se refleja en un lento crecimiento de la red. Aunque CFE reporta que entre 2018 y 2022 las líneas de transmisión crecieron en 2.4 mil km en diversos voltajes, esto representa un crecimiento de 2.2% durante todo el periodo o de 0.55% anual.¹⁹

De acuerdo con datos de la CFE, durante los últimos tres años la red de transmisión virtualmente no se ha expandido: entre 2021 y 2022 creció 0.09% y entre 2022 y 2023 0.10%. Es menester compararla con la tasa de crecimiento de la demanda eléctrica durante esos años: 3.4% en 2022 y 3.5% en 2023.²⁰

En materia de subestaciones (instalaciones eléctricas donde la energía se transforma -se reduce el voltaje- para poder distribuirse a los consumidores finales) tampoco se registra un crecimiento significativo: 0.18% en 2022 y 1.01% en 2023. A pesar del ligero crecimiento en el número de subestaciones, la capacidad de transformación en el país se redujo -0.15% en 2022 y -0.33% en 2023.²¹

Tabla 2. Crecimiento de infraestructura de transmisión. 2021-2023

	2021	2022	2023
Líneas de transmisión (kilómetros)	110,347	110,449	110,559
Subestaciones (número)	2,275	2,279	2,392
Capacidad de transformación (megavoltioamperio)	165,804	165,541	164,992

Fuente: IMCO con Informe Anual CFE 2023

¹⁷ Secretaría de Hacienda. 2024. “Presupuesto de Egresos de la Federación”.

<https://www.pef.hacienda.gob.mx/> (Consultado el 25/08/2024).

¹⁸ Instituto Mexicano para la Competitividad. “El autoabasto en México en datos”. <https://imco.org.mx/el-debate-sobre-el-autoabasto-debe-basarse-en-datos-y-evidencia/#:~:text=El%20autoabasto%20es%20una%20modalidad,esto%20fuera%20un%20servicio%20p%C3%ABlico> (Consultado el 25/08/2024).

¹⁹ Comisión Federal de Electricidad. 2023. “Informe Anual 2023”.

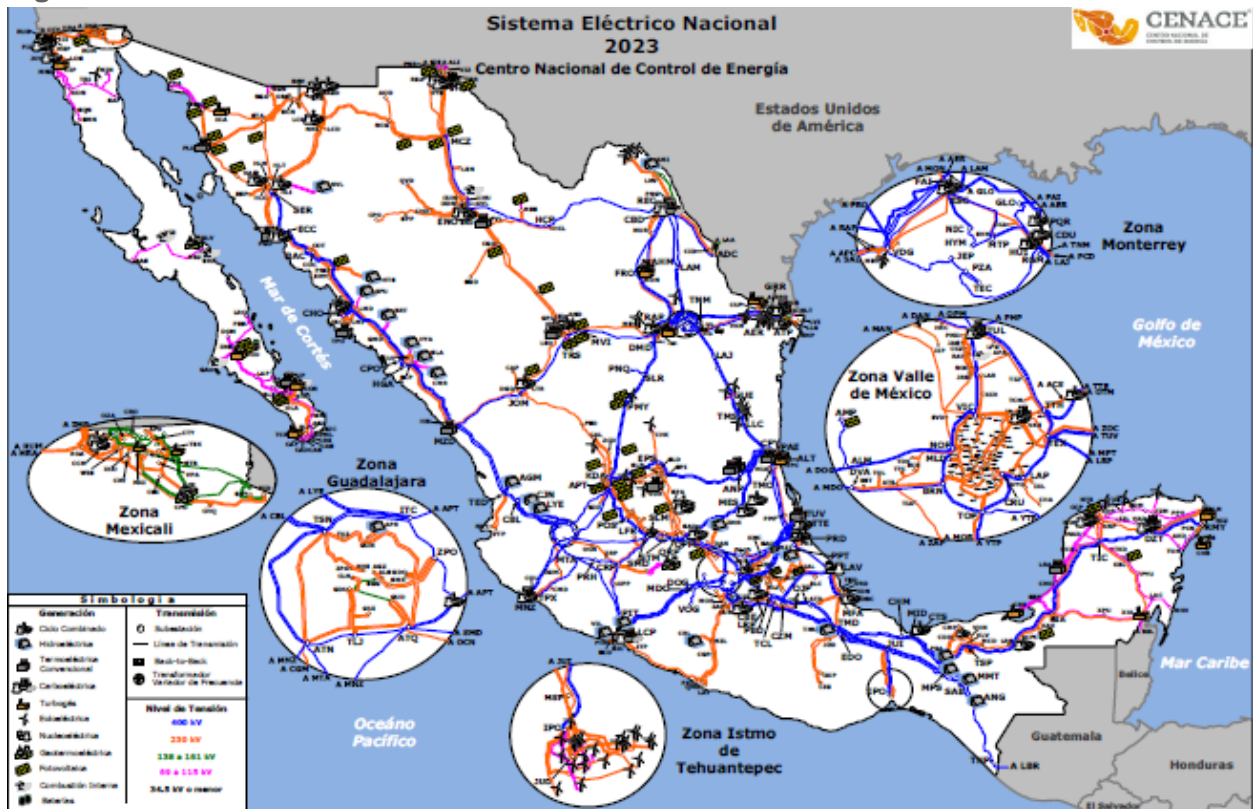
²⁰ Comisión Federal de Electricidad. “Plan de Negocios 2024-2028”.

²¹ Comisión Federal de Electricidad. “Plan de Negocios 2024-2028”.

4. Estado de las redes eléctricas y principales proyectos

Como reflejan los datos de la propia CFE, en México las redes eléctricas no han crecido al ritmo que el país lo requiere. Actualmente, la red troncal de transmisión no tiene la capacidad suficiente para transportar la energía en regiones clave como Sonora (solar fotovoltaica) o Oaxaca (eólica) hacia los centros de consumo.

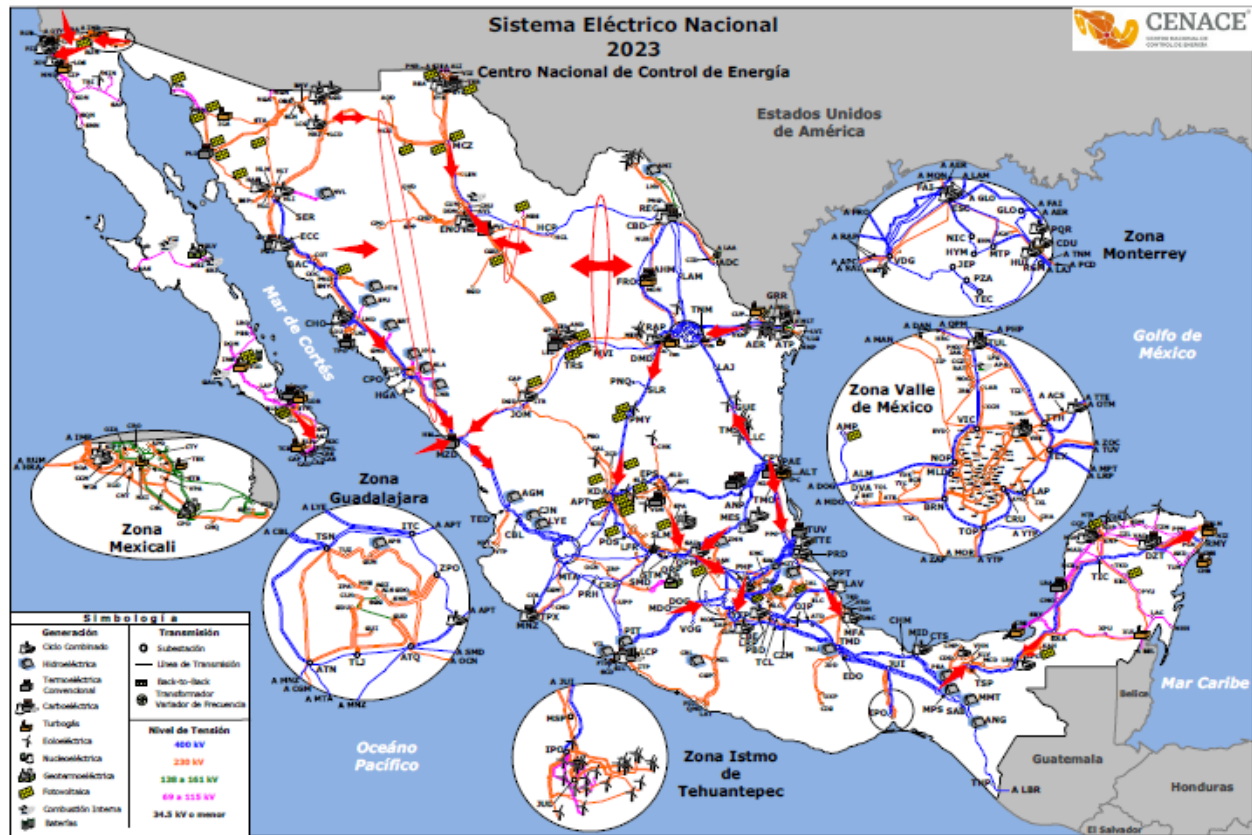
Figura 2. Red troncal de transmisión. 2023



Fuente: Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión

La saturación de los corredores eléctricos inhibe la capacidad de transportar la energía del centro de generación al de consumo creando cuellos de botella. La saturación se reflejó en 27 interrupciones al suministro eléctrico para preservar la confiabilidad del sistema, principalmente afectando las regiones Oriental y Peninsular del sistema eléctrico.²²

²² Centro Nacional de Control de Energía. 2024. “Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión”.

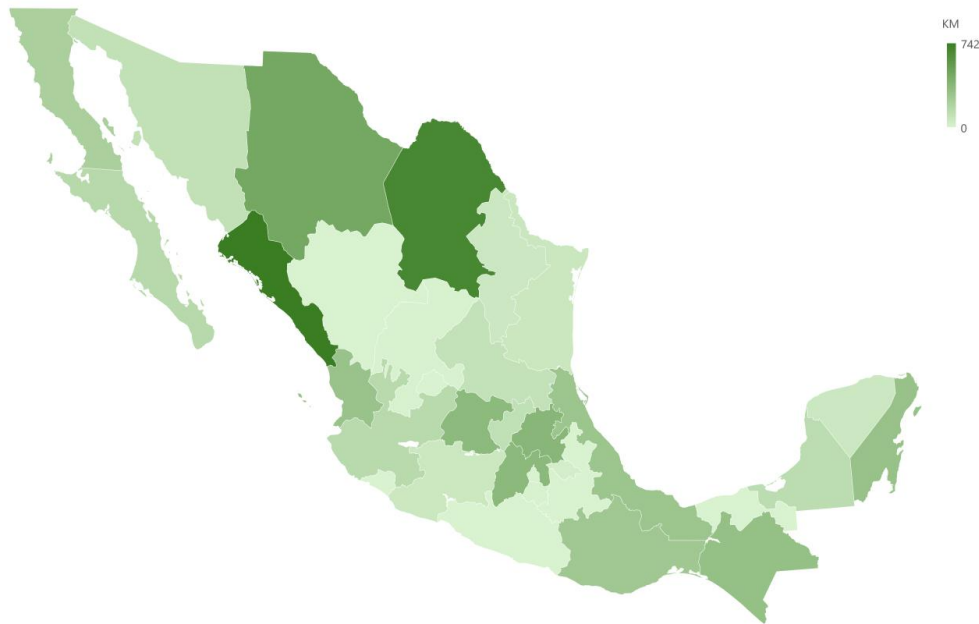
Figura 3. Compuertas de flujo saturadas. 2023


Fuente: Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión

De acuerdo con Prodesen 2024-2038 los 190 proyectos de transmisión eléctrica instruidos (dentro y fuera del Mercado Eléctrico Mayorista) representan un total de 5,719 km de líneas de transmisión principalmente en Sinaloa (742 km), Coahuila (674 km), Chihuahua (471 km), Hidalgo (374), Estado de México (361) y Guanajuato (356). La Figura 3. presenta una serie de proyectos de redes eléctricas contemplados en Prodesen para fortalecer la confiabilidad y seguridad del sistema eléctrico. No se contemplan nuevos kilómetros en Aguascalientes, Ciudad de México, Colima, Durango y Guerrero.²³

²³ Secretaría de Energía. 2024. "Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038".

Figura 3. Infraestructura de transmisión instruida por la Secretaría de Energía. Kilómetros por entidad federativa



Fuente: IMCO con datos de Prodesen 2024-2038

Como se puede observar en la Figura 3, faltan proyectos en algunas de las entidades con más problemas para la transmisión eléctrica como Sonora, donde únicamente se contemplan 109 nuevos km o reforzar la interconexión de la península de Yucatán con el resto del país.²⁴

5. Conclusiones

El crecimiento en la demanda eléctrica, impulsado por la electrificación de las industrias, el crecimiento económico, la electromovilidad, así como la relocalización de las cadenas de valor, aunado a la necesidad de acelerar la incorporación de energías limpias a la matriz eléctrica de México, obligan a invertir de forma decidida en la ampliación y modernización de las redes eléctricas.

Existe una notoria diferencia entre las necesidades de inversión en infraestructura de transmisión estimada por la CFE y los presupuestos asignados anualmente para este rubro. Lo mismo sucede con los proyectos instruidos por la Secretaría de Energía.

Asimismo, en un contexto de finanzas públicas presionadas, es necesario aprovechar todas las fuentes de financiamiento legalmente posibles, al mismo tiempo que se mantiene la propiedad, planeación y el control del Estado, a través de la Secretaría de Energía, el Cenace y la CFE.

²⁴ Secretaría de Energía. “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038”.

Los cambios tecnológicos y la realidad nacional obligan a acelerar el despliegue de líneas de transmisión, subestaciones y bancos de transformación, entre otros. Actualmente, a pesar del buen negocio que representa la transmisión eléctrica para la CFE, los incentivos no están alineados para una modernización y expansión acelerada de la Red Nacional de Transmisión.

6. IMCO propone

- **Utilizar todos los mecanismos plasmados en la ley para financiar las expansiones de las redes eléctricas.** En un contexto de finanzas públicas presionadas, el próximo gobierno tiene a su disposición instrumentos bursátiles como los CKD, Cerpi y Fibra E, así como la posibilidad de llevar a cabo asociaciones público-privadas que permiten diversificar las fuentes de financiamiento para proyectos de redes eléctricas. En 2018 la Fibra E de la CFE recaudó 16.2 mil millones de pesos comprometiendo ingresos de activos de transmisión. Originalmente pensada para expandir la infraestructura de transmisión, los recursos se destinaron a la construcción de nuevas centrales eléctricas.
- **Garantizar los recursos para ejecutar las obras de infraestructura de redes eléctricas instruidas por la Secretaría de Energía.** Sin recursos etiquetados específicamente para las obras instruidas, no existirá el incentivo para llevar a cabo estos proyectos.
- **Retomar el Programa de Redes Eléctricas Inteligentes.** La Secretaría de Energía define una red eléctrica inteligente como una red capaz de reestructurarse y de recopilar información para conocer cuáles fueron las fallas que se dieron en el sistema y solucionarlas para mejorar el sistema eléctrico nacional a través de ser eficiente, seguro, flexible, resiliente, de calidad, confiable y sustentable. Una red eléctrica inteligente permite gestionar de forma más eficiente los flujos de energía, esto es especialmente relevante en un contexto de incorporación acelerada de energías renovables variables.²⁵
- **Promover el desarrollo de microrredes.** La demanda de energía, el desarrollo tecnológico que permite la descentralización y la insuficiente infraestructura de redes eléctricas han promovido que las microrredes -que pueden estar o no conectadas al sistema principal de energía- surjan como una alternativa ante un sistema eléctrico presionado. Las posibilidades de generación en sitio y abasto aislado, acompañado de la evolución en las tecnologías de almacenamiento eléctrico (baterías) han acelerado este tipo de infraestructura. Desde un ángulo de transición energética, las microrredes facilitan incorporar tecnologías limpias -acompañadas de almacenamiento- y reducir la huella de carbono de los usuarios. A nivel mundial existen ejemplos de microrredes con la escala suficiente para suministrar la energía de infraestructura crítica como aeropuertos (Pittsburgh), universidades (Princeton) o pequeñas islas (Block Island, Rhode Island).

²⁵ Secretaría de Energía. 2017. "Programa de Redes Eléctricas Inteligentes". <https://www.gob.mx/sener/documentos/programa-de-redes-electricas-inteligentes-121753> (Consultado el 25/08/2024).

7. Referencias bibliográficas

- Cámara de Diputados. “Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos”. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/cpeum.htm> (Consultado el 25/08/2024).
- Centro Nacional de Control de Energía (Cenace). 2024. “Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión”. https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/ProgramaRNT_RDG.aspx (Consultado el 25/08/2024).
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). 2024. “Informe Anual 2023”. Comisión Federal de Electricidad. <https://www.cfe.mx/finanzas/reportes-financieros/pages/informes-anuales.aspx> (Consultado el 25/08/2024).
- . 2024. “Plan de Negocios 2024-2028”. Comisión Federal de Electricidad. <https://www.cfe.mx/finanzas/Documents/Plan%20de%20Negocios%202024-2028.pdf> (Consultado el 25/08/2024).
- Fuergy. 2024. “7 major challenges of a power grid and their solutions”. <https://www.fuergy.com/blog/7-problems-and-challenges-of-a-power-grid> (Consultado el 25/08/2024).
- Instituto Mexicano para la Competitividad. 2022. “El autoabasto en México en datos”. <https://imco.org.mx/el-debate-sobre-el-autoabasto-debe-basarse-en-datos-y-evidencia/#:~:text=El%20autoabasto%20es%20una%20modalidad,esto%20fue%20un%20servicio%20p%C3%BAblico> (Consultado el 25/08/2024).
- International Energy Agency. 2023. “Investment spending on electricity grids, 2015-2022”. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/investment-spending-on-electricity-grids-2015-2022> (Consultado el 25/08/2024).
- Rystad Energy. 2024. “Enable or inhibit: Power grids, key to the energy transition, require \$3.1 trillion in investments by 2030”. <https://www.rystadenergy.com/news/power-grids-investments-energy-transition-permitting-policies> (Consultado el 25/08/2024).
- Secretaría de Energía. 2024. “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038”. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2024-2038> (Consultado el 25/08/2024).
- . 2023. “Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2023-2037”. Secretaría de Energía. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de->

[desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2023-2037](#) (Consultado el 25/08/2024).

———. 2017. “Programa de Redes Eléctricas Inteligentes”. <https://www.gob.mx/sener/documentos/programa-de-redes-electricas-inteligentes-121753> (Consultado el 25/08/2024).

Secretaría de Hacienda. 2024. “Presupuesto de Egresos de la Federación 2024”. <https://www.pef.hacienda.gob.mx/> (Consultado el 25/08/2024).

———. 2024. “Cuenta Pública 2023”. [https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/en/CP/Comision Federal Electricidad-2023](https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/en/CP/Comision_Federal_Electricidad-2023) (Consultado el 25/08/2024).

———. 2023. “Presupuesto de Egresos de la Federación 2023”. [https://www.pef.hacienda.gob.mx/es/PEF2023/analiticos presupuestarios](https://www.pef.hacienda.gob.mx/es/PEF2023/analiticos_presupuestarios) (Consultado el 25/08/2024).

IMCO

INSTITUTO MEXICANO PARA LA COMPETITIVIDAD A.C.