



ABC del Sector Eléctrico en México

Enero 2025

Índice

Índice	2
Índice de Figuras	3
1. Introducción.....	4
2. Estructura básica del SEN	7
3. Fundamentos de las tecnologías de generación	10
4. Fundamentos de las redes eléctricas	18
4.1. Componentes de las redes eléctricas	18
4.2 Características técnicas de las redes eléctricas	19
5. Marco Jurídico.....	21
5.1 Autoridades de la Industria Eléctrica.....	24
5.2 Otros organismos del Estado	24
5.3 Participantes de la Industria Eléctrica	25
6. Mercados eléctricos	27
6.1 Productos del MEM	27
6.2 Mercados del MEM	29
6.3 Despacho económico del sistema eléctrico.....	31
7. Demanda, consumo y balance en el despacho eléctrico	34
8. Conclusiones.....	39
Referencias	40

Índice de Figuras

FIGURA 1. ESQUEMA BÁSICO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	7
FIGURA 2. MAPA REGIONES DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	9
FIGURA 3 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE ENERGÍA (ELABORACIÓN PROPIA)	17
FIGURA 4 ESTRUCTURA JURÍDICA Y NORMATIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO EN MÉXICO.	22
FIGURA 5 EJEMPLO DE PRELACIÓN JERÁRQUICA DE LA DACGS DEL CÓDIGO DE RED	23
FIGURA 6 PRODUCTOS DEL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA.....	28
FIGURA 7. EJEMPLO DE ORDEN DE DESPACHO ECONÓMICO.	33
FIGURA 8 DEMANDA ANUAL DURANTE 2021 EN LA REGIÓN DE TRANSMISIÓN DE TIJUANA.	37
FIGURA 9 EXTRACTO DEMANDA DE VERANO EN TIJUANA	37
FIGURA 10 EXTRACTO DEMANDA DE INVIERNO EN TIJUANA.....	37
FIGURA 11 EJEMPLO DE PERFIL DE DEMANDA DIARIO DURANTE ABRIL.....	38

1. Introducción

La energía eléctrica es un bien fundamental, indispensable e insustituible que impulsa el crecimiento económico y facilita una mejor calidad de vida. Desde el alumbrado público, pasando por cada hogar, hasta la operación de industrias y servicios, la electricidad es indispensable para todas las actividades del país. Por tanto, conocer y comprender el sector eléctrico es necesario, puesto que todas las personas ya sean autoridades, empresas, comercios o ciudadanos, participamos, dependemos y afectamos su funcionamiento.

Con la finalidad de facilitar la comprensión de este sector y fomentar que todas las personas, puedan participar de manera más eficiente en la generación, uso y consumo de energía eléctrica, para así fomentar la transición hacia un sector eléctrico moderno, confiable, seguro, eficiente y de bajas emisiones contaminantes, el [Instituto de Desarrollo, Energía y Ambiente A.C.](#) (IDEA) presenta este documento. IDEA es un centro de pensamiento e investigación enfocado a promover la descarbonización del sector energético de México mediante análisis, investigaciones y propuestas de políticas públicas, programas y proyectos. IDEA es una institución sin afiliación política ni económica que no recibe ni dona recursos a entidades privadas ni gubernamentales. El Instituto está conformado por un grupo multidisciplinario de investigadores y expertos en los diversos sectores energéticos y económicos.

Este documento se enfoca en el sector eléctrico mexicano, por lo que utilizamos los conceptos y definiciones conforme al marco regulatorio vigente a noviembre de 2024. Primeramente, en el resto de esta Primera Sección¹. Introducción presentamos los conceptos básicos que nos permitirán abordar en las secciones siguientes otros conceptos y las bases del funcionamiento del sector. En la [Sección 2. Estructura básica del SEN](#), exponemos la estructura básica del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y presentamos algunos datos sobre el estado actual del mismo. Con dichas bases, en las Secciones [3. Fundamentos de las tecnologías de generación](#) y [4. Fundamentos de las redes eléctricas](#), explicamos los fundamentos del funcionamiento de las tecnologías de generación y de las redes eléctricas bajo un enfoque de ingeniería básica. En la [Sección 5. Marco Jurídico](#) procedemos a revisar el marco jurídico vigente con la finalidad de comprender cómo se regulan las distintas actividades de la Industria Eléctrica. Posteriormente, en la [Sección 6. Mercados eléctricos](#), abordamos los mercados eléctricos que actualmente se encuentran en operación. Finalmente, en la [Sección 7. Demanda, consumo y balance de despacho eléctrico](#), explicamos la importancia del balance entre la demanda y la generación. La Industria Eléctrica es un concepto que abarca al conjunto de actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Además, incluye la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y la operación del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

Es importante diferenciar a la Industria Eléctrica del sector eléctrico en general. Mientras que la primera se enfoca en las actividades mencionadas, el sector eléctrico también incluye la proveeduría de insumos primarios necesarios para estas actividades.

El SEN es un complejo sistema que integra todas las líneas de transmisión de la Red Nacional de Transmisión (RNT), las líneas de distribución de las Redes Generales de Distribución (RGD), las centrales eléctricas que entregan energía a estas redes y todos los equipos e instalaciones que permiten su operación. Dentro del SEN, existen diversos mercados eléctricos donde no solo se compra y vende energía eléctrica, sino también otros productos necesarios para su funcionamiento. Cabe destacar que, aunque se hable de mercados eléctricos, esto no implica que todas las actividades sean privadas; existen mercados conformados por monopolios naturales como la transmisión y la distribución.

Los actores que participan en la Industria Eléctrica se conocen como participantes y pueden ser autoridades, empresas o usuarios.

Como cualquier actividad humana, la Industria Eléctrica tiene impactos ambientales y sociales. Entre los impactos ambientales más significativos se encuentran las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente producidas por la quema de combustibles fósiles como el carbón, el combustóleo y el gas natural, este último es la principal fuente de energía eléctrica en el país. Otros impactos son el uso de suelo o agua, así como emisiones de contaminantes como partículas suspendidas que, a diferencia de los GEI, tienen un impacto local y dañan la salud humana y a los ecosistemas.

Antes de continuar a las siguientes secciones, es importante partir con una consideración esencial: **la energía eléctrica no se puede almacenar directamente en las cantidades que se consume**. Esto se debe a que la energía eléctrica es un tipo de energía que se explica mediante los campos electromagnéticos, los cuales son una característica intrínseca de la materia. Por lo general, se suele simplificar diciendo que la energía eléctrica consiste en electrones moviéndose por un conductor (un cable), pero en realidad su velocidad de desplazamiento es extremadamente baja. Lo que realmente se desplaza entre los conductores, casi a la velocidad de la luz, son los campos electromagnéticos que la humanidad utiliza para generar trabajo en los equipos que hemos inventado, desde lámparas hasta computadoras, motores y muchos otros dispositivos.

Como el lector podrá imaginar, a diferencia de otras fuentes de energía como la gasolina, la leña o incluso el gas, la energía eléctrica es intangible y no se puede almacenar para usarla en el momento que se desee. La forma más cercana a esto son las baterías, las cuales no almacenan energía eléctrica en sí misma, sino energía química que está lista para reaccionar y generar electricidad. Algo similar ocurre con otros tipos de almacenamiento de energía, como el hidrógeno, que también consiste en una reacción química que libera electricidad, o las

presas, donde se almacena energía potencial en forma de agua embalsada.

El hecho de que la energía eléctrica no se pueda almacenar en las cantidades en las que se consume hace necesario que siempre tenga que existir un balance entre la generación y la demanda, lo cual da lugar a todas las actividades e infraestructuras que abordaremos en este documento.

Para terminar con esta introducción, definiremos algunos conceptos fundamentales. Como ya mencionamos, las definiciones siguientes se basan en las definiciones oficiales establecidas en el marco regulatorio vigente.

- **Calidad:** Grado en el que las características y condiciones del suministro eléctrico cumplen con criterios de calidad de la energía eléctrica, como rangos permitidos de tensión eléctrica, rangos de frecuencia eléctrica, factor de potencia mayor a 0.95, límites de armónicos en voltaje y corriente, y fluctuaciones de tensión (flicker), con el objetivo de garantizar el correcto desempeño e integridad de los equipos y dispositivos de los usuarios finales.
- **Confiabilidad:** Capacidad para satisfacer la demanda eléctrica de los usuarios finales bajo condiciones de suficiencia y seguridad de despacho, incluyendo la continuidad del suministro eléctrico y la resiliencia del sistema ante contingencias.
- **Continuidad:** Capacidad para satisfacer la demanda eléctrica de los usuarios finales con la menor frecuencia y duración posibles de interrupciones, asegurando la disponibilidad del suministro eléctrico en todo momento.
- **Seguridad de Despacho:** Condición operativa en la que se garantiza la calidad y continuidad de la operación del SEN a corto plazo, incluso frente a la falla de uno o varios elementos del sistema.
- **Intermitencia:** Es la característica de un recurso utilizado para la generación eléctrica que no se puede ajustar a la demanda energética. Las fuentes de energía intermitentes pueden ser predecibles, pero no están continuamente disponibles para su conversión en electricidad. Aunque las energías renovables son intermitentes, la energía generada puede ser almacenada, lo que permite gestionar mejor su uso y mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico.
- **Variabilidad:** Se refiere a los cambios, fuera de los rangos establecidos, en el voltaje o la frecuencia del sistema eléctrico. Estas variaciones son normales hasta cierto punto, pero si superan los límites permitidos, pueden generar problemas en el suministro de energía o en los dispositivos conectados.

2. Estructura básica del SEN

En esta sección explicamos, de forma conceptual, cuáles son los componentes del Sistema Eléctrico Nacional, partiendo de las bases teóricas de los sistemas eléctricos de potencia. En las siguientes dos secciones explicaremos con más detalle cómo funcionan algunos de estos componentes.

A nivel teórico, cualquier sistema eléctrico está compuesto por tres etapas físicas y dos operativas. Las tres etapas físicas son la generación, el transporte y el consumo, mientras que las dos etapas operativas son la planeación y el control, y la comercialización y suministro (Véase Figura 1).

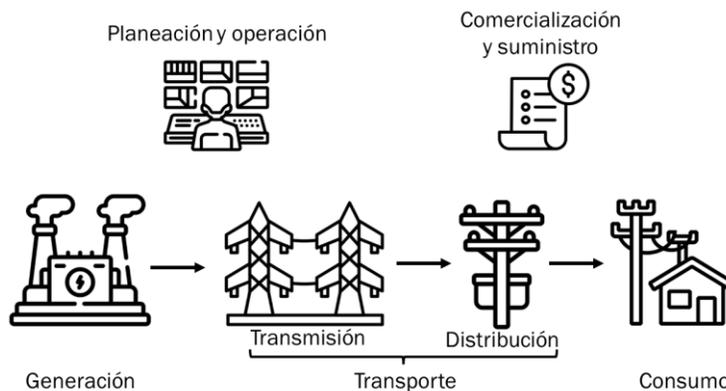


Figura 1. Esquema básico de los sistemas eléctricos.

La **generación** es la etapa en la que se encuentran todas las centrales eléctricas que producen energía eléctrica (y otros productos de los que hablaremos más adelante) de acuerdo con las indicaciones del Operador del Sistema (etapa operativa y de planeación). La energía eléctrica generada en las centrales pasa a la etapa de **transporte**, que está compuesta por toda la red de transmisión (en México, la RNT) y de distribución (en México, las RGD) para poder llegar a los consumidores.

De forma general, la **transmisión** consiste en transportar la energía eléctrica a través de grandes distancias desde las centrales eléctricas hasta las redes de distribución, acercándola a los centros de consumo. Debido a los efectos físicos, entre los que destaca el efecto Joule, la circulación de corriente eléctrica en un conductor genera pérdidas. Para reducirlas, se eleva la tensión (comúnmente conocida como voltaje) en instalaciones conocidas como subestaciones eléctricas elevadoras. Así, las líneas de transmisión transportan energía por grandes distancias, generalmente a tensiones de 130 mil volts (kV), 220 kV o hasta 400 kV.

Posteriormente, la energía eléctrica llega nuevamente a subestaciones eléctricas, conocidas como subestaciones de distribución, de las que salen circuitos eléctricos (redes de distribución) que llevarán la energía hasta los puntos de consumo, a tensiones menores y más seguras para entornos poblados, rurales o urbanos.

Justo antes de llegar a los puntos de consumo, ya sean hogares, edificios, comercios o algunas industrias, la energía que viaja por las redes de distribución llega a un último punto donde se vuelve a reducir la tensión para que sea segura de usar. Estos puntos pueden ser subestaciones de servicio, generalmente instaladas en el exterior de los comercios o industrias, o bien transformadores que alimentan varios hogares o pequeños comercios que tienen un consumo mucho menor, por lo que no necesitan de toda la infraestructura de una subestación de servicio. Es muy común ver estos transformadores en los postes que se encuentran en las calles. De ellos salen líneas eléctricas individuales para cada hogar o pequeño comercio.

Cabe señalar que, en el caso de las industrias más grandes o servicios como bombas de agua municipales, el consumo no está conectado a las redes de distribución, sino a las mismas líneas de transmisión, tal es el nivel de energía eléctrica que requieren.

Ahora bien, una de las etapas operativas es la de **operación y planeación**. En el caso de México, existe un Operador del Sistema que se encarga de gestionar en tiempo real la operación de todas las etapas físicas. Este operador indica cómo deben funcionar las centrales eléctricas, ya sea cuándo deben encenderse o apagarse, o si deben aumentar o disminuir la potencia que entregan al sistema. También gestiona cada una de las líneas de transmisión, generalmente indicando u operando remotamente las subestaciones eléctricas (elevadoras, de maniobras o distribución) para seleccionar la potencia a transmitir y las líneas por las que se hará.

Para realizar esta tarea compleja, el Operador utiliza un conjunto de equipos de monitoreo y control, así como otros equipos de respuesta automática. En México, este operador tiene 9 sedes para atender las 9 Regiones de Control en las que se divide el país. En estas sedes, los trabajadores del Operador pueden ver en tiempo real los parámetros del sistema y realizar las indicaciones y operaciones necesarias. Ahondaremos más al respecto en secciones posteriores.

Es importante señalar que, dado que en México existe un mercado eléctrico abierto a participantes privados, así como a la empresa del Estado, el Operador es independiente para asegurar su imparcialidad y que ningún participante pueda ejercer control sobre él. A diferencia de ciertos países donde el operador independiente es una empresa privada, en México el operador es una entidad pública descentralizada y autónoma conocida como el **Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)**. Cabe señalar que CENACE cobra una tarifa a todos los Participantes del Mercado, permitiendo así su operación. Dicha tarifa es regulada y no permite lucro.

La **comercialización** es una etapa prácticamente intangible que, como su nombre lo indica, consiste en la venta de la energía eléctrica. Los únicos equipos relacionados con la comercialización son los medidores eléctricos, que permiten cuantificar la cantidad de energía eléctrica que un usuario consumió en un periodo dado, generalmente un mes o un bimestre, y así poder hacer el cobro correspondiente. Además de la electricidad, existen otros elementos sujetos a la compraventa que son necesarios para el buen funcionamiento del sistema, así como otros cargos relacionados. Los explicaremos más adelante. Por ahora, basta con saber que la comercialización no solo incluye la venta de estos productos a los usuarios finales, actividad conocida como **Suministro Eléctrico**, sino también las transacciones que puede haber entre entidades que no necesariamente consumen la energía eléctrica.

Como se mencionó anteriormente, el país está dividido en 9 regiones de control donde se encuentran las sedes operativas del CENACE. Además, CENACE divide estas regiones en otras conocidas como **Regiones de Transmisión** con la finalidad de facilitar la operación del sistema. De forma general, los puntos donde la energía eléctrica generada por las centrales eléctricas se inyecta a la red y los puntos donde dicha energía se extrae de la red para llevarla al consumo final o a los centros de distribución se conocen como **nodos**. Generalmente, estos nodos son las subestaciones eléctricas, ya sean elevadoras o de distribución. A noviembre de 2024 existen 2,575 nodos en todo el país que solían agruparse en las 53 Regiones de Transmisión que se muestran en el mapa de la Figura 2. En 2023 CENACE desagregó estas Regiones de Transmisión estableciendo un total de 110, sin embargo, no se han ofrecido datos que permitan conocer el detalle de la nueva agrupación.

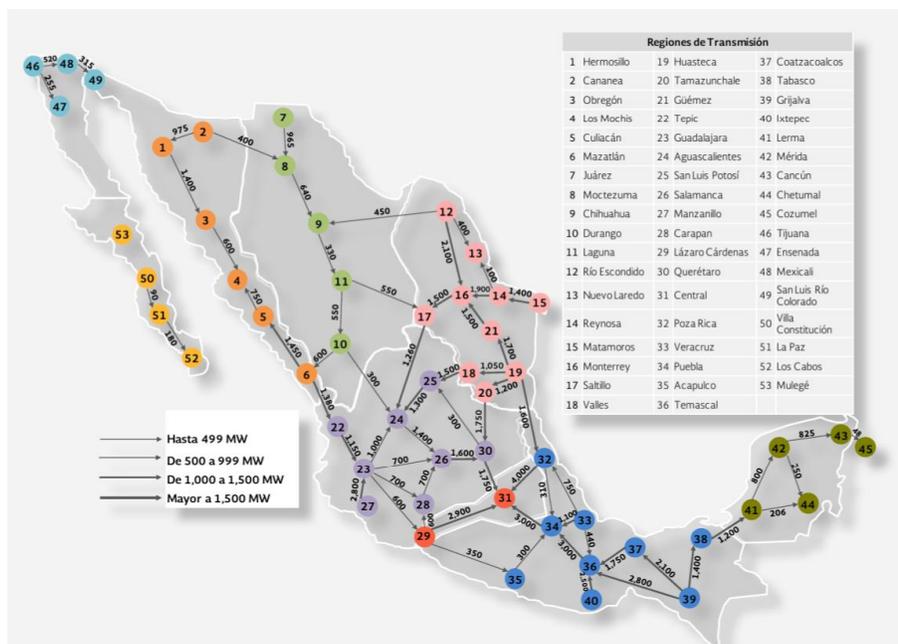


Figura 2. Mapa regiones de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional

Fuente: SENER 2018

3. Fundamentos de las tecnologías de generación

Como se mencionó en la sección anterior, la primera etapa física del SEN es la generación de energía eléctrica. Esto se realiza en instalaciones conocidas como centrales eléctricas. Cada central eléctrica es única y cuenta con sus propios procesos, fuentes de energía primaria y características técnicas. Sin embargo, existen ciertos tipos de clasificación convencional que permiten entender y manejar a las centrales eléctricas de acuerdo con sus características. En esta sección presentamos una clasificación que, aunque propia, se basa fundamentalmente en la que históricamente han manejado tanto la Comisión Federal de Electricidad (CFE) como la Secretaría de Energía (SENER).

Antes de detallar las tecnologías de generación eléctrica que existen en México, es conveniente precisar algunos conceptos útiles.

Capacidad: Este concepto se refiere a la potencia nominal (o de diseño) a la que una central eléctrica opera. Se mide en unidades de potencia, W (en México watts, a diferencia de otros países hispanohablantes donde se le conoce como vatio). La potencia es la capacidad de un sistema de entregar o consumir energía en una unidad de tiempo, siendo 1 W equivalente a 1 J (joule) por segundo. Así, una central eléctrica de 1 MW (megawatt) puede entregar 1 millón de joules en un segundo.

Cabe señalar que la capacidad de una central es la potencia a la cual esta opera con mayor eficiencia, de ahí el nombre de potencia de diseño. Sin embargo, la mayoría de las centrales son capaces de operar en un amplio rango de potencias, tanto superiores como inferiores de la de diseño, para ajustarse a las necesidades del sistema eléctrico.

Generación: Se refiere a la energía que una central eléctrica produce en un determinado tiempo. Por convención, aunque se trata de una unidad de energía, no se expresa en Joules sino en watt-hora (Wh) para indicar que se trata de energía eléctrica y no térmica. Un watt-hora es igual a 3,600 J. Una central eléctrica de 1 MW que opere a su potencia nominal durante una hora generará 1 MWh de energía eléctrica.

Factor de planta: Es un concepto que, en pocas palabras, indica el porcentaje del tiempo que una central opera a su potencia nominal. Es decir, de un periodo dado, cuánto de este se aprovechó toda la capacidad de la central. Generalmente se calcula para un periodo de un año por lo que se obtiene dividiendo la energía generada por la central en ese año (E) entre la energía que habría podido generar si hubiese operado todas las horas del año, es decir, las 8,760 horas multiplicadas por la capacidad de la central (C).

$$FP = \frac{E [MWh]}{8,760 [h] * C[MW]} * 100\%$$

Fuente de energía primaria: Este concepto hace referencia al tipo de energético que la central eléctrica transforma en electricidad. Es importante precisar que este concepto puede diferir según el contexto. En el contexto de la cadena energética, se conoce como fuente de energía primaria (o simplemente energía primaria) a todo aquel energético que se extrae de la naturaleza, como el petróleo, el carbón mineral, el sol o el viento. Recordando la cadena energética, las fuentes de energía primaria se transforman en fuentes de energía secundaria para facilitar y eficientar su uso; así, por ejemplo, el petróleo se transforma en gasolina, diésel y otros productos.

En contraste, en el contexto de una central eléctrica que, por ejemplo, usa diésel para generar energía eléctrica, a dicho diésel se le conoce como la fuente de energía primaria de la central; aunque en el contexto de la cadena energética el diésel sea una fuente de energía secundaria por ser un derivado del petróleo.

Los distintos tipos de fuentes de energía primaria que pueden utilizar las tecnologías de generación eléctrica son:

Agua. El agua se considera una fuente de energía debido a su capacidad de almacenar y transportar energía. Existen dos formas de aprovecharla. La primera es mediante embalses (o presas) donde la energía almacenada contiene energía potencial que se libera cuando el agua del embalse se deja circular hacia abajo para mover turbinas. La segunda forma es directamente aprovechando la energía cinética de ríos o arroyos, igualmente haciendo girar una turbina. En este caso, la energía no está almacenada.

Calor geotérmico. Es una fuente de energía térmica que existe al interior de la tierra. Se puede aprovechar en regiones donde la corteza terrestre se encuentra cerca del magma, generalmente cerca de zonas volcánicas. Este calor permite generar vapor, ya sea de forma natural debido a la presencia de acuíferos o ríos subterráneos o a la inyección artificial de fluidos. El vapor generado se aprovecha posteriormente como una fuente de energía que generará energía eléctrica al hacer girar una turbina.

Carbón. Es un mineral de color negro, muy rico en carbono, el cual se forma debido a la descomposición de compuestos orgánicos en zonas pantanosas de poca profundidad durante millones de años. Debido a su composición química posee un alto poder calorífico, es decir, arde con facilidad, convirtiéndose así en un combustible fósil, utilizado en centrales de generación de energía eléctrica.

Combustóleo. Es un producto residual derivado de la destilación del petróleo, está compuesto por moléculas con más de 20 átomos de carbono, es de color negro y viscoso. A pesar de ser prácticamente un desecho de la refinación, contiene un alto poder calorífico por lo que es utilizado en la generación de energía eléctrica como combustible.

Diésel. Es también conocido como gasoil o gasóleo y se trata de un hidrocarburo líquido que se obtiene de la destilación del petróleo a una temperatura entre los 200°C y 380°C. Posee un gran poder energético (superior al del carbón y del combustóleo), por lo que es utilizado como combustible para producir calor, además de tener un buen rendimiento y eficiencia.

Gas. Comúnmente conocido como gas natural, es un combustible de origen fósil que se compone por una mezcla de hidrocarburos simples, principalmente metano por lo que es más ligero que el petróleo. La mayor parte del gas natural se extrae de pozos. Es utilizado para la generación de energía eléctrica por medio de plantas como la de ciclo combinado.

Sol. Es la fuente de energía renovable más abundante del planeta. El Sol es una estrella compuesta principalmente de hidrógeno y helio en cuyo núcleo se genera un proceso de fusión nuclear a través de la cual se emite al espacio energía radiante, esta energía llega a la tierra en forma de luz, calor y rayos ultravioleta. La radiación electromagnética, principalmente luz, se captura en paneles solares, los cuales la transforman en energía eléctrica.

Uranio (U235). El uranio es un elemento químico radiactivo que se encuentra presente en la naturaleza. El U235 es uno de sus tres isotopos (variantes de átomos) naturales y es utilizado como combustible en centrales nucleares para generar energía eléctrica mediante reacciones de fisión, que consisten en la ruptura del átomo en dos más ligeros, neutrones y calor. Sin embargo, para ser utilizado como combustible nuclear es necesario realizar el proceso de "enriquecimiento" a través del cual se aumenta la proporción del isótopo 235 pasando del 0.72% en su estado natural hasta un rango del 3% y 5%. Las centrales nucleares controlan las reacciones de fisión y aprovechan el calor liberado para generar vapor y producir energía eléctrica.

Viento. El viento es el movimiento de aire a gran escala dentro de la atmósfera terrestre, este se produce debido a las diferentes temperaturas entre la superficie y la atmósfera, lo que genera variaciones en la presión atmosférica y da lugar a corrientes de aire. El aire se mueve desde las áreas de alta presión hacia las de baja presión, generando el viento, que puede aprovecharse como fuente de energía eólica para producir electricidad.

Las tecnologías de generación eléctrica en México son las siguientes. Comencemos por las centrales térmicas, las cuales son aquellas que transforman energía térmica, generalmente en un fluido a alta temperatura y presión, en electricidad al hacer girar una turbina de gas o vapor. La obtención de la energía térmica la obtienen ya sea por la combustión de algún energético fósil (gas, carbón, combustóleo o diésel) o renovable (biogás, biodiesel, biomasa) o aprovechando el calor geotérmico o el liberado por reacciones nucleares. Entre estos tipos de tecnologías se encuentran:

Termoeléctricas Convencionales: Funcionan quemando combustibles fósiles como combustóleo, gas o diésel para calentar agua en una caldera. El vapor producido mueve una

turbina conectada a un generador eléctrico. El principio de funcionamiento se conoce como ciclo Rankine.

Son centrales que por economía de escala generalmente son grandes (varios cientos o miles de mega watts) pues están compuestas de unidades de generación, es decir, de varios conjuntos de caldera-turbina-generador. Debido a la inercia térmica característica de los ciclos de vapor, el tiempo de respuesta para ajustar la potencia de operación (conocido como rampa) es de varias horas lo cual las hace poco aptas para adaptarse a los cambios de demanda, pero adecuadas para mantener una potencia constante conocida como carga base (Véase Sección 7).

En México, las centrales termoeléctricas convencionales se encuentran cercanas a las refinerías de petróleo ya que así se disminuye al máximo la distancia de transporte para el combustible.

Centrales carboeléctricas. Se trata básicamente al mismo tipo de centrales termoeléctricas convencionales, con la única diferencia del tipo de combustible que utilizan ya que, como su nombre lo indica, queman carbón.

Centrales geotérmicas. Se trata también de centrales que utilizan el principio del ciclo Rankine, pero, a diferencia de las termoeléctricas convencionales y las carboeléctricas, carecen del proceso de combustión. Las centrales geotérmicas utilizan el calor del subsuelo de zonas geológicas, generalmente volcánicas, para obtener vapor. En ciertas zonas, se inyecta un fluido que al contacto con el subsuelo alcanza altas temperaturas. En otras zonas el vapor proviene directamente del subsuelo. En cualquier caso, este vapor es el que pasa por las turbinas que mueven al generador eléctrico.

Como todas las centrales basadas en el ciclo Rankine, las centrales geotérmicas son ideales para mantener una generación constante de energía, por lo que se utilizan como carga base. En particular, el tamaño de las centrales geotérmicas depende en gran medida del tipo de recurso geotérmico, es decir, la cantidad, profundidad y temperatura de los pozos que puedan excavarse en la zona.

Al no depender de un proceso de combustión, esta tecnología no tiene emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la operación.

Centrales nucleares. Al igual que las anteriores, este tipo de centrales utilizan el ciclo Rankine, pero en este caso, el calor necesario para generar vapor en la caldera no se obtiene de ningún proceso de combustión, sino de una reacción nuclear conocida como fisión.

Debido a los costos de construcción y las características de seguridad asociada, las centrales nucleares existentes en México y en el mundo son de gran tamaño y cuentan con varios generadores.

Al no depender de un proceso de combustión, esta tecnología no tiene emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la operación.

Centrales turbogás. Una turbina de gas es una máquina que convierte la energía del combustible, ya sea líquido como el diésel o gaseoso comúnmente el gas natural, en energía mecánica que posteriormente generará energía eléctrica. Estas centrales funcionan a través de tres etapas: 1) el compresor toma aire del exterior y lo comprime; 2) la cámara de combustión mezcla el aire comprimido con el combustible y lo quema, generando gases calientes; y 3) la turbina de expansión aprovecha esos gases para producir trabajo útil, es decir, aprovecha la expansión del gas para generar el movimiento que hace girar a la turbina. Las etapas descritas conforman el ciclo termodinámico conocido como ciclo Brayton.

Estas centrales se caracterizan por ser rápidas en su arranque, además de ser flexibles para atender picos de demanda, no requieren agua de enfriamiento y destacan por su tamaño reducido. Sin embargo, requieren una salida para los gases de combustión liberando gases de efecto invernadero a la atmosfera.

Centrales de ciclo combinado. Es una planta que combina el funcionamiento de una central de turbogás con una central de vapor con la intención de aprovechar al máximo la energía del combustible. En su primera etapa la turbina de gas genera energía eléctrica mediante la quema de gas al aprovechar la expansión de los gases para mover la turbina, solo que, en lugar de liberar estos gases al ambiente, son dirigidos a una caldera de recuperación para generar vapor e impulsar una turbina en un proceso similar al de las centrales térmicas convencionales. De esta forma se lleva un ciclo combinado, en donde generalmente la capacidad de la turbina de vapor es menor al de la turbina de gas.

Dado que esta tecnología combina las características del ciclo Rankine y del ciclo Brayton son mucho más flexibles en su operación que las centrales térmicas de vapor, por lo que pueden ajustar en mayor medida su potencia para ajustarse a la demanda; esto sin llegar a ser tan flexibles como las turbogás. Además, el tamaño de estas centrales puede ser de algunos cientos de MW hasta superar los mil MW.

Centrales de cogeneración. La cogeneración es definida como la producción secuencial de energía eléctrica a partir de una misma fuente de energía primaria, maximizando así el aprovechamiento energético. Consiste en la generación simultánea de energía eléctrica y energía útil o térmica, que generalmente se utiliza en un proceso industrial. Esta central se compone de una turbina de gas que genera electricidad, donde los gases residuales son aprovechados en una caldera de recuperación de calor para mover una turbina de vapor generando energía adicional. Dentro de la Ley de la Industria Eléctrica se consideran como sistemas de cogeneración aquellos que aprovechan los gases calientes de deshecho en procesos industriales.

En muchos casos, las centrales de cogeneración, al encontrarse asociadas a un proceso industrial están dimensionadas para solamente generar la energía eléctrica que la industria o empresa necesita, por lo que no siempre están interconectadas al sistema eléctrico.

Las anteriores son todas las tecnologías térmicas. Como el lector podrá haber notado, la mayoría de las centrales térmicas basan su operación en la quema de algún combustible fósil; sin embargo, existen algunas tecnologías térmicas que no lo requieren. Ahora bien, a continuación, presentaremos las tecnologías de generación que no se valen de ciclos termodinámicos por lo que no son térmicas.

Centrales hidroeléctricas de embalse. Esta central aprovecha la energía potencial del agua (contenida en un embalse o presa) para convertirla en electricidad. Para lograrlo es necesario dirigir el agua a través de canales o cauces hasta turbinas hidráulicas las cuales comenzaran a girar por acción de la caída de agua, generando energía mecánica que posteriormente será convertida en energía eléctrica gracias a un generador, después el agua retorna a su cauce.

Debido a que el agua del embalse se puede controlar y las compuertas se pueden abrir y cerrar a voluntad del operador eléctrico, estas centrales son sumamente versátiles para seguir variaciones en la demanda del sistema.

Por sus características de construcción y gran impacto al ecosistema que inundan y sus alrededores, estas centrales suelen ser de gran tamaño, llegando a los cientos o miles de MW.

Centrales hidroeléctricas a filo de agua. Estas centrales al no disponer de un embalse o acumulador de agua por encima de las turbinas aprovecharan la energía cinética producida por el paso natural de la corriente. En estas centrales el cauce es interceptado por una estructura que conduce el agua a través de una tubería de alta presión hacia el cuarto de máquinas, donde el agua a gran velocidad mueve el eje de la turbina hidráulica produciendo energía eléctrica.

Al depender de las condiciones de los ríos o arroyos, estas centrales suelen ser más bien de tamaño pequeño o mediano, llegando en raros casos a solo unos cuantos cientos de MW.

Centrales eólicas. Las centrales eólicas están compuestas por turbinas eólicas o aerogeneradores, los cuales son dispositivos mecánicos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica al mover un eje, el cual posteriormente genera energía eléctrica al impulsar un generador. Estos son colocados en filas y su ubicación depende de estudios topográficos y de viento previamente realizados.

Centrales solares fotovoltaicas. Son aquellas centrales conformadas por un gran número de paneles fotovoltaicos interconectados eléctricamente entre si formando arreglos en serie, paralelo o de forma mixta, estos paneles captan la radiación solar y generan corriente directa,

la cual es enviada a un inversor, el cual se encarga de transformar la corriente directa a corriente alterna, permitiendo así su interconexión a la red eléctrica.

La modularidad de los paneles fotovoltaicos hace que la construcción de estas centrales sea muy versátil, permitiendo contar con grandes centrales de cientos o hasta miles de MW, hasta pequeñas centrales de unos cuantos Watts, con solo uno o dos paneles, que se pueden instalar en las azoteas de casas y edificios.

Cabe señalar que las centrales fotovoltaicas son las únicas entre todas las tecnologías de generación existentes actualmente a nivel comercial que no se basan en hacer girar un generador.

Los sistemas eléctricos se desarrollaron basados en la corriente alterna como estándar eléctrico. La corriente alterna se obtiene al hacer girar un rotor cuyo campo electromagnético tira y empuja otro campo electromagnético fijo. Este movimiento hace que los campos tomen una dirección y luego otra variando en forma circular lo que genera una onda senoidal. El ritmo de variación de estos campos electromagnéticos se conoce como frecuencia la cual resulta ser uno de los parámetros más importantes en la operación de los sistemas eléctricos.

De acuerdo con la **Ley de Transición Energética** las energías se clasifican a partir de su fuente, proceso de generación de electricidad y emisiones de gases de efecto invernadero en energías fósiles, energías renovables y energías limpias, mismas que se describen a continuación. Véase la Figura 3.

Energías Fósiles, aquellas que provienen de la combustión de materiales y sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso que contienen carbono y cuya formación ocurrió a través de procesos geológicos.

Energías Renovables, son aquellas cuya fuente de energía reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes.

Energías Limpias, son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias.

Para conocer a detalle esta clasificación con base en su fuente de energía véase Figura 3.

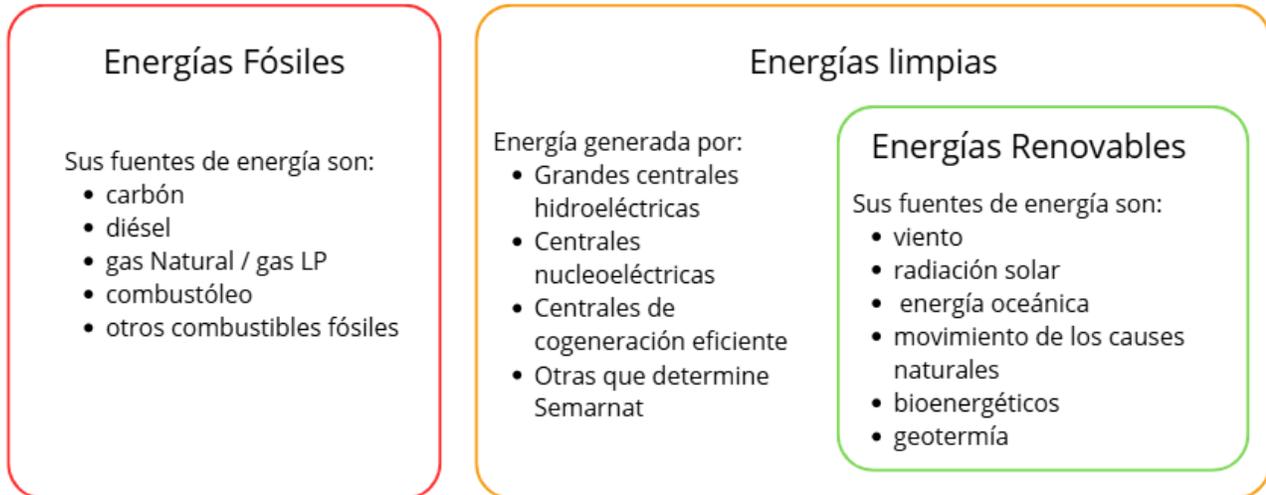


Figura 3 Clasificación por tipo de energía con base en sus fuentes.

4. Fundamentos de las redes eléctricas

Las redes eléctricas, como se mencionó en la Sección 2, comprenden tanto las líneas de transmisión como las redes de distribución. Las redes eléctricas incluyen no solo los cables y postes o torres, sino también una infraestructura compleja de subestaciones, transformadores, bancos de capacitores, interruptores y otros dispositivos de seguridad.

4.1. Componentes de las redes eléctricas.

Líneas de transmisión. Las líneas de transmisión están compuestas por conductores generalmente hechos de aluminio con núcleo de acero (ACSR, por sus siglas en inglés) debido a su alta conductividad y resistencia mecánica. A diferencia de los cables que utilizamos a diario, estos conductores están desnudos, es decir, no cuentan con ningún material aislante para reducir costos. Por esta razón, las torres de transmisión se diseñan de manera que los cables estén suficientemente separados entre sí y de cualquier otro elemento, como edificios, árboles e incluso el suelo, utilizando el aire como material aislante. Estos conductores son los encargados de transportar la energía de un lugar a otro, generalmente entre subestaciones.

Subestaciones. Las subestaciones son instalaciones donde se encuentran diversos equipos según la finalidad de la instalación. Existen varios tipos de subestaciones:

- **Subestaciones transformadoras:** Cambian el voltaje de alto a bajo (o viceversa). Las subestaciones que aumentan la tensión (elevadoras) generalmente se encuentran a la salida de las centrales eléctricas y su función es enviar la energía a largas distancias. Las subestaciones reductoras permiten tomar la energía proveniente de las centrales u otras subestaciones y distribuirla a otros lugares.
- **Centrales de conmutación o maniobras:** Permiten la conexión y desconexión de líneas y equipos para mantenimiento, en caso de fallos o para responder a necesidades operativas del sistema eléctrico.
- **Subestaciones de distribución:** Son aquellas a las que la energía llega para ser distribuida hacia los consumidores. Estas también son generalmente reductoras, ya que un paso importante es bajar la tensión para transportar la energía por zonas más habitadas.

Dentro de las subestaciones se encuentran quizás los elementos más importantes de los sistemas eléctricos: **los transformadores**. Estas máquinas permiten modificar las tensiones, ya sea aumentándolas o disminuyéndolas. Dentro de las subestaciones, los transformadores trabajan en conjunto con otros equipos como interruptores, seccionadores, medidores, actuadores y más. Sin embargo, los transformadores también se instalan sin la presencia de

otros equipos (salvo los interruptores automáticos) en los postes de distribución o subestaciones de servicio para reducir la tensión al nivel de consumo de los usuarios.

Interruptores y seccionadores. Son equipos que permiten la desconexión de partes de la red para mantenimiento, habilitación o inhabilitación de líneas o elementos, o en respuesta a fallos. Existen interruptores automáticos que se disparan en caso de fallo para evitar que este se propague, y otros que son accionados bajo instrucciones de los operadores del sistema, generalmente de forma remota.

Medidores, sensores y actuadores. Son elementos de seguridad y control que permiten a los operadores conocer el estado de las líneas y actuar en consecuencia. Muchos equipos responden de forma automática, en fracciones de segundo, para evitar la propagación de fallos o incluso prevenir que estos ocurran.

4.2 Características técnicas de las redes eléctricas

La principal forma de dimensionar una línea de transmisión o distribución es mediante su capacidad de transporte. Así como la potencia nominal, medida en MW indica la potencia de diseño que genera una central eléctrica, la potencia nominal, también medida en MW indica la potencia que puede transportar una línea.

Esta característica se debe principalmente a la capacidad de operación de los transformadores, y, por tanto, de las subestaciones a la entrada y salida de las líneas. Los conductores también tienen una potencia nominal, sin embargo, son ligeramente más flexibles, reconociendo que, al aumentar la potencia, aumentan las pérdidas por calor, lo cual también genera expansión mecánica que a su vez aumenta el riesgo de corto circuito entre los cables y su alrededor. Cuando esto ocurre, es decir, cuando las subestaciones y los conductores se acercan o superan su potencia nominal se dice que se encuentran congestionados.

Otro parámetro para caracterizar a las redes eléctricas es la capacidad de transformación. Esta se refiere a la habilidad de las subestaciones para modificar las tensiones eléctricas incluyendo la eficiencia con la que lo hacen dado que las subestaciones deben ser capaces de manejar grandes cantidades de energía sin pérdidas significativas y operar de manera continua y segura bajo diversas condiciones de carga. La capacidad de transformación se mide en voltampers (VA) o, más comúnmente, en sus múltiplos kilovoltampers (kVA) y megavoltampers (MVA).

De acuerdo con la ley de Ohm, la multiplicación entre un Volt (V) y un Ampere (A) da como resultado un Watt (W). En otras palabras, la potencia es igual al múltiplo de la tensión y la corriente. Sin embargo, la unidad de VA se utiliza en la ingeniería eléctrica para diferenciar a la potencia real de la potencia aparente. La potencia real es la cantidad de energía que se puede transformar en trabajo físico en un equipo eléctrico, tal como una lámpara o un motor,

mientras que la potencia aparente es la suma de esta potencia real más la potencia reactiva, que es una medida de la energía que se mantiene en la oscilación de los campos electromagnéticos y que por tanto no se transforma nunca en trabajo físico. Este efecto solamente se da cuando se trata de corriente alterna.

Otro parámetro que suele utilizarse para describir a las redes eléctricas es la longitud, medida en kilómetros (km). Para los ingenieros eléctricos que operan o diseñan líneas eléctricas, la longitud aporta información sobre la resistencia (y reactancia) que presentará la línea. Sin embargo, salvo este uso, el parámetro de longitud es de poca utilidad. Las empresas eléctricas o los inversionistas suelen usarlo para dimensionar el tamaño de la inversión y el esfuerzo de construcción.

Cabe señalar que existen dos formas en la que la longitud de una línea se puede presentar. Una es la longitud lineal, o longitud a secas, que mide la distancia entre el punto A y el B. Otra forma es mediante la conocida como longitud circuito, medida en kilómetro-circuito (km-c). Esta unidad indica la cantidad de kilómetros que recorren todos los circuitos de una sola línea. Esto se debe a que una línea de transmisión (y en algunos casos las de distribución) puede transportar más de un circuito. Por ejemplo, cuando en una torre de transmisión se observan 6 cables, lo más probable es que haya 2 circuitos trifásicos que pueden ser el mismo pero redundante o pertenecer a 2 circuitos independientes. Así, una línea de 10 km implica que la distancia entre subestaciones (o puntos a los que se interconecte) se encuentran a 10 km, pero si se especifica que la línea es de 20 km-c esto querrá decir que por ella circular 2 circuitos de 10 km cada uno.

5. Marco Jurídico

En México, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), establece el marco legal que define la organización industrial del sector energético y las bases para su regulación, y está dado en su mayoría por lo que se define en sus artículos 25, 27 y 28, así como las leyes que se derivan o vinculan con estas disposiciones. Recientemente, en octubre de 2024, se realizaron modificaciones, adiciones y derogaciones a diversas partes de estos artículos. En este documento presentaremos la articulación existente tras estas reformas, pero considerando que hay cambios que deberán darse en los siguientes meses y que podrán modificar consideraciones hechas en este documento.

El marco legal de la industria eléctrica regula tanto a los actores públicos como privados, a lo largo de toda la cadena del sector eléctrico, es decir, en la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad.

El objetivo de este marco legal es garantizar el acceso confiable y sostenible a la energía eléctrica, en cumplimiento con los objetivos de desarrollo económico, social y ambiental del país. A continuación, se describe de manera breve el contenido de los artículos constitucionales:

- **Artículo 25:** Establece que el desarrollo económico debe ser orientado por el Estado, promoviendo el crecimiento equilibrado y sustentable. El Estado es responsable de las áreas estratégicas como la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, la transmisión y distribución de electricidad, y asegura que el Gobierno Federal mantendrá la propiedad y control de las empresas públicas en estas áreas.
- **Artículo 27:** En materia de energía señala 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; y menciona que en estas actividades no se otorgarán concesiones. Además, en la reforma de octubre de 2024 se adicionó que las leyes determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades, que en ningún caso tendrán prevalencia sobre la empresa pública del Estado.
- **Artículo 28:** Prohíbe los monopolios, pero establece que no constituyen monopolios las funciones que el Estado ejerza en áreas estratégicas como la generación de energía nuclear, así como la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional. También declara función exclusiva del Estado el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.

Estos artículos proporcionan el marco constitucional que fundamenta las leyes, reglamentos, estrategias y programas sectoriales que conforman el sistema jurídico y normativo del sector

eléctrico en México. Por mencionar solo algunas de las leyes y reglamentos relevantes, se ha construido una estructura jerárquica que regula el funcionamiento del sector, tal como se observa en la Figura 4. **Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Cabe destacar que esta no es una lista exhaustiva, ya que existen otras normativas que también contribuyen al marco regulador del sector eléctrico.

Artículos 25, 27 y 28.	
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	
Leyes	Ley de Planeación, Ley de Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética Ley de la Industria Eléctrica Ley de la Comisión Federal de Electricidad Ley de Transición Energética Ley de Energía Geotérmica Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
Reglamentos	Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica Reglamento de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) Reglamento de la Ley de Transición Energética Reglamento de la Ley de Energía Geotérmica Reglamento de la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
Plan Nacional de Desarrollo	
Estrategias Nacionales	Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios
Programas Sectoriales	Programa Sectorial de Energía Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía Programa Especial de la Transición Energética
Lineamientos y Normas	

Figura 4. Estructura Jurídica y Normativa del Sector Eléctrico en México.

Como se puede observar dentro de las leyes destaca, la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), que establece el marco normativo general, para la organización del sector eléctrico en México, y de esta ley derivan varias normativas, reglamentos y programas que regulan y estructuran las actividades del sector.

Por ejemplo, el Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica es una normativa secundaria que se deriva directamente de la LIE. Este reglamento tiene como objetivo detallar y complementar las disposiciones de la LIE, estableciendo las reglas y procedimientos específicos para la implementación de la ley en diferentes áreas del sector eléctrico.

Alguna de las áreas que cubre son los procedimientos para la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, el establecimiento de reglas sobre la apertura del mercado eléctrico mayorista y la regulación de los contratos de compraventa de energía eléctrica y otros servicios relacionados.

Mientras que las bases del mercado son las normas detalladas que rigen la operación del mercado mayorista de electricidad y las Disposiciones Administrativas de Carácter General (DACGs) detallan las reglas específicas que rigen el funcionamiento del mercado eléctrico en México y son emitidas por organismos reguladores como la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), con base en lo dispuesto en la LIE.

Por ejemplo, las DACGs regulan los procedimientos de acceso a la red eléctrica, las condiciones para la interconexión de nuevos proyectos de generación de energía, las tarifas y los contratos del Mercado Eléctrico Mayorista, así como la medición y facturación de la energía eléctrica, por citar algunas.

A continuación, se presenta una imagen que ilustra la estructura jerárquica dentro de las Disposiciones Administrativas de Carácter General (DACGs), específicamente dentro del Código de Red. En este contexto, las Disposiciones Generales ocupan un lugar de prelación jerárquica, lo que implica que los documentos de menor jerarquía, que conforman las Disposiciones Operativas, deben ser consistentes con las directrices establecidas en aquellas. Tal como se muestra en la Figura 5, los Manuales Regulatorios y los Procedimientos, que integran las Disposiciones Operativas, se encuentran directamente vinculados a los diferentes Capítulos que componen las Disposiciones Generales, garantizando una estructura normativa alineada.

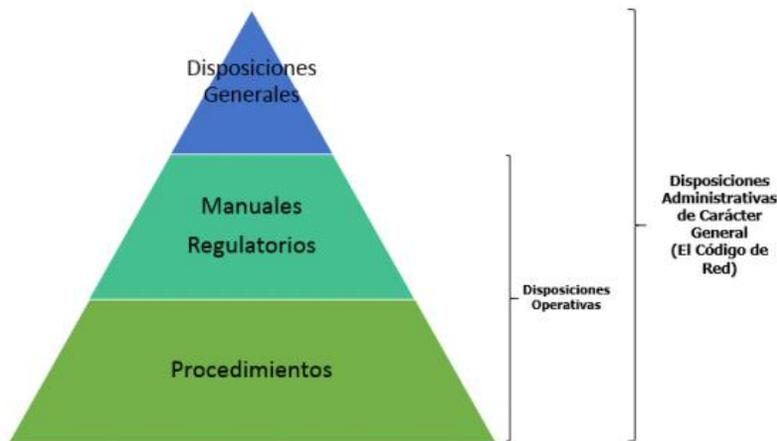


Figura 5 Ejemplo de prelación jerárquica de la DACGs del Código de Red
Fuente: DACGs Código de Red

Adicionalmente, estas leyes se complementan con reglamentos específicos que establecen el marco operativo y regulatorio de diversas actividades dentro del sector.

En este marco tres entidades clave desempeñan roles fundamentales para garantizar la regulación, operación y desarrollo eficiente del sector: la CRE, el CENACE y la SENER. La CRE se

encarga de emitir disposiciones regulatorias y de resolver controversias, asegurando la competencia y la eficiencia en el mercado energético, mientras que el CENACE supervisa la operación del Sistema Eléctrico Nacional, coordinando la generación, transmisión y distribución de electricidad para garantizar la estabilidad del suministro.

Por su parte, la SENER tiene la responsabilidad de formular y evaluar las políticas públicas en el sector energético, promoviendo la seguridad energética y el desarrollo de infraestructuras. A través de estas entidades, el marco jurídico del sector energético busca equilibrar la competencia, la transparencia y la sostenibilidad.

A continuación, se describen algunos de los elementos más importantes del marco regulatorio.

5.1 Autoridades de la Industria Eléctrica

La LIE define que las únicas autoridades son la Secretaría de Energía (SENER) y la Comisión Reguladora de Energía (CRE). La **SENER** es la secretaría del Estado que representa al Poder Ejecutivo y, como tal, tiene las facultades y atribuciones para establecer e implementar la política energética, así como para ejercer la planeación del SEN.

La **CRE** era un organismo descentralizado y autónomo del Estado. Entre sus atribuciones estaban el establecer las reglas secundarias de la LIE tales como disposiciones administrativas, así como definir las tarifas reguladas y supervisar las actividades de los Participantes de acuerdo con el marco regulatorio. En octubre de 2024, tras una reforma constitucional, la CRE dejará de ser un organismo público autónomo y será absorbido por la SENER. Los cambios que articularán esta reforma aún están por presentarse.

5.2 Otros organismos del Estado

Como se ha explicado anteriormente, una entidad fundamental para el funcionamiento del sistema eléctrico es el operador del sistema. En México, esta autoridad es el **CENACE**, que es un organismo público autónomo. No tiene atribuciones de autoridad puesto que no ejerce la planeación del Estado, sin embargo, de acuerdo con la Constitución, es quien ejerce la operación del sistema.

La CRE establece la tarifa que CENACE cobra a todos los Participantes de la Industria Eléctrica para permitir su operación.

La Comisión Federal de Energía (CFE) es la Empresa Pública del Estado que se encarga de participar en distintas actividades de la Industria Eléctrica. No tiene atribuciones de autoridad y, aunque con la reforma de octubre de 2024 se estableció que se le dará prioridad, sigue siendo un participante más en la generación de energía eléctrica.

Tras la extinción de Luz y Fuerza del Centro y hasta 2015, CFE mantuvo el monopolio total del sector eléctrico, pero con la apertura del mercado la Empresa del Estado se dividió en distintas subsidiarias para fomentar una competencia más justa y equilibrada. Así, actualmente, CFE cuenta con 6 empresas subsidiarias encargadas de la generación eléctrica y que compiten con otras empresas privadas. Además, CFE cuenta con las empresas subsidiarias de CFE Transmisión y CFE Distribución que cuentan con las actividades estratégicas constitucionales de transmisión y distribución. Finalmente, existen las subsidiarias de Suministro Básico y Calificados que participan en las actividades de suministro de energía eléctrica a los usuarios finales.

5.3 Participantes de la Industria Eléctrica

Para participar en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es posible realizarlo a través de las seis modalidades existentes:

Generador. Son los autorizados para generar electricidad mediante una central eléctrica, estos no pueden vender electricidad al por menor, ni ofrecer servicios de transmisión ni distribución. Cada una de las 6 empresas subsidiarias de CFE es un Generador; además, existen muchas otras empresas privadas que son Generadores.

Transportista. Se trata de las empresas que tienen permitido realizar las actividades de transmisión o distribución. Recordando que la Constitución establece que estas actividades son exclusivas del Estado y con base en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad, CFE Transmisión y CFE Distribución son actualmente las únicas empresas transportistas en México.

Comercializadores. Se trata de las empresas que compran y venden energía eléctrica y otros productos de la Industria Eléctrica (conocidos como Productos Asociados). Entre los comercializadores, aquellos que venden a los Usuarios Finales se categorizan como Suministradores.

Suministradores de Servicios Básicos (SSB). Son aquellas empresas que venden energía y Productos Asociados a los Usuarios de Suministro Básico. Aunque el Suministro Básico está abierto a libre mercado, las tarifas que cobran a sus clientes, es decir, a los Usuarios de Suministro Básico están reguladas por la CRE y no pueden ser modificadas por los SSB. La existencia del Suministro Básico tiene como finalidad aislar a los pequeños consumidores del Mercado Eléctrico Mayorista para evitar que queden expuestos a las fluctuaciones del mercado. Actualmente, la única empresa de este tipo es CFE Suministro Básico.

Suministrador de Servicios Calificados (SSC). Son las empresas que suministran energía y Productos Asociados a los grandes consumidores, conocidos como Usuarios Calificados (UC).

A diferencia del Suministro Básico, el Suministro Calificado no cuenta con tarifas reguladas por lo que las condiciones del servicio son plenamente negociables entre el SSC y el UC. Para ello firman un contrato de cobertura eléctrica.

Suministrador de último recurso. Ofrece suministro de último recurso a Usuarios Calificados cuando estos no cuentan con un SSC. Este suministro se provee bajo precios máximos a UC y por un tiempo limitado, su intención es mantener la continuidad del servicio cuando el SSC deje de prestar el suministro eléctrico.

Usuario final. Se trata de una persona física o moral que compra energía eléctrica para su utilización (consumo) dentro de sus instalaciones. Existen tres tipos de usuarios.

Usuario Calificado (UC). Es un usuario final que dadas sus dimensiones y nivel de consumo no se encuentra aislado del mercado por lo que adquiere energía y Productos Asociados de un SSC mediante un contrato negociado entre ambas partes.

Usuario Calificado Participante del Mercado. Se trata de un usuario que por su nivel de consumo es capaz de adquirir por cuenta propia directamente del Mercado Eléctrico Mayorista su energía y Productos Asociados. Al participar en el MEM no cuenta con la representación de un SSC y cubre por sí mismos las obligaciones del MEM. Esto le permite reducir costos al adquirir grandes cantidades de energía eléctrica directamente de los Generadores o de los Comercializadores no suministradores.

Usuario de Suministro Básico. Se trata de los usuarios que menos energía consumen por lo que los cambios en el MEM podrían afectarles en gran medida. Por tanto, se encuentran aislados mediante tarifas de suministro básico reguladas por la CRE y modelos de contrato establecidos por la CRE.

6. Mercados eléctricos

Los mercados eléctricos son un espacio financiero intangible en los que se compra y vende energía eléctrica de acuerdo con las condiciones de oferta y demanda.

Como se mencionó en la Sección 1 de este documento, la energía no se puede almacenar directamente lo cual resulta un inconveniente para el mercado; en este sentido las empresas productoras de energía eléctrica deberán comunicar cada día las condiciones de cantidad y precio a las que están dispuestos a vender su energía.

En México, derivado de la reforma energética, en 2016 se creó el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) a través del cual se compran y venden productos como Energía, Potencia, Certificados de Energía Limpia, y servicios conexos, entre otros. El MEM es operado por el CENACE quien, además es el operador del sistema, como ya hemos mencionado. Así, el CENACE, además de encargarse de mantener operando todo el tiempo al SEN, tiene como misión sustentar eficientemente las transacciones de los productos antes mencionados entre los Participantes del Mercado.

6.1 Productos del MEM

Además de la energía existen otros productos que pueden ser negociados dentro del MEM, con la intención de permitir el cumplimiento de las obligaciones de los participantes del mercado y el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico, los cuales se pueden observar en la Figura 6.

En este sentido los participantes del mercado tienen la opción de participar en el Mercado de Energía de Corto Plazo, integrado por el Mercado Día de Adelanto y Tiempo real; en el Mercado para el Balance de Potencia, El mercado de Certificados de Energía Limpia y las Subastas de Mediano y Largo Plazo, aso como los Derechos Financieros de Transmisión.

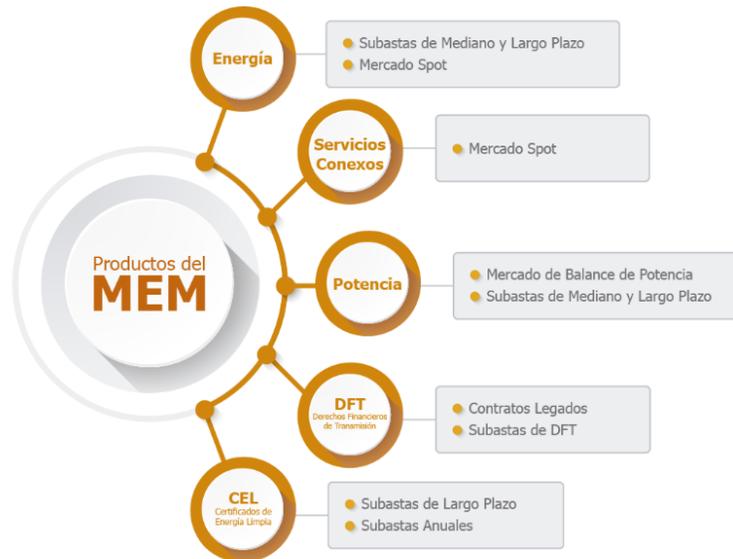


Figura 6 Productos del Mercado Eléctrico Mayorista
Fuente: CENACE 2018

Servicios Conexos. El balance del sistema eléctrico entre la generación y la demanda requiere de innumerables ajustes por parte de los generadores, ya sea aumentando o reduciendo la potencia de sus centrales eléctricas (ver sección 0). Sin embargo, para que la mayoría de las centrales pueda realizar estos ajustes se requiere que tengan disponible ciertas características, conocidas como Servicios Conexos. Algunos de estos servicios tales como la regulación automática de tensión o de frecuencia no representan costos adicionales para las centrales, pero otras, conocidas como reservas operativas, si implican un gasto adicional de energía que debe ser remunerada puesto que no se trata de energía entregada al sistema. Por tanto, estas reservas, de acuerdo con las Bases del Mercado (específicamente la Base 10) integran los Servicios Conexos pertenecientes al Mercado.

Para los cuatro tipos de Servicios Conexos pertenecientes al Mercado, como resultado del despacho CENACE establece para cada hora de operación un precio marginal. Los cuatro tipos son:

- De Regulación
- Rodante de 10 minutos
- No Rodante de 10 minutos, y
- Suplementaria

Potencia. Se trata de la capacidad de una central eléctrica de entregar energía adicional, superior a la de las reservas operativas, en un momento dado cuando por las condiciones reales al momento de operación del SEN se requiera de más energía de la que se encuentra

despachada.

Como producto de mercado, la Potencia es un incentivo financiero que motiva a las centrales eléctricas a estar disponibles en cualquier momento del año.

Derechos Financieros de Transmisión (DFT). Los DFT son elementos puramente financieros que dan el derecho y la obligación a quien los tenga de cobrar o pagar la diferencia entre el precio de la componente de congestión del Precio Marginal Local (PML) y el precio establecido en el DFT. Así, el titular de un DFT puede protegerse o beneficiarse de la fluctuación del costo de entregar energía eléctrica en un nodo en un momento dado.

Certificado de Energías Limpias (CEL). Cuando una central eléctrica produce 1 MWh de energía limpia (ver sección 0) la CRE le otorga 1 CEL. El Generador entonces puede vender este CEL a cualquier Comercializador no suministrador o a cualquier entidad responsable de carga (Suministrador o Usuario Calificado Participante del Mercado).

Cada año, las entidades responsables de carga están obligadas a demostrar a la CRE que adquirieron una cantidad de CELs equivalente a un porcentaje de su consumo total anual de energía eléctrica. Este porcentaje es establecido por la CRE y se conoce como requerimiento de CEL. Si las entidades no cumplen con el requerimiento de CEL, son acreedoras de multas.

Así, los CEL son una herramienta financiera que obliga a las entidades responsables de carga a cumplir con un mínimo de energía limpia, mismo que crece cada año. Además, como los CELs solo son otorgados a las centrales eléctricas que se instalaron después de 2014 (o a la capacidad limpia que adicionen centrales ya existentes, ya sea por repotenciación o modificaciones), son un incentivo para la inversión en nueva capacidad de energía limpia.

6.2 Mercados del MEM

El MEM está compuesto por diversos mercados, como se puede apreciar en la Figura 6 Estos mercados son:

Mercado de Balance de Potencia. Se trata de un mercado ex-post, es decir, un mercado en el que las transacciones y los precios se determinan después de que se ha producido el evento o la actividad económica que en este caso es la disponibilidad de Potencia durante las 100 horas críticas del sistema.

Todas las entidades responsables de carga deben acreditar haber cubierto con el requisito de Potencia para el año. Como mencionamos anteriormente, la Potencia es un elemento financiero que indica que una central tiene capacidad de reserva.

CENACE opera este mercado cada abril, determinando cuáles fueron las 100 horas en las que

la reserva operativa fue menor (100 horas críticas) y facilitando las transacciones entre las entidades responsables de carga que no acreditaron los requisitos de Potencia del año, y las centrales que tuvieron disponible Potencia durante esas 100 horas críticas.

Mercado de CEL. Este mercado no es operado por CENACE. Se trata de la compra-venta bilateral que se da entre los titulares de los CEL y las entidades responsables de carga. Las transacciones de un CEL pueden ocurrir más de una vez y en todas ellas son registradas en el portal de la CRE. Al final del año, la CRE verifica que las entidades responsables de carga cuenten con los CEL que se les requiere.

Subastas de Largo Plazo. De acuerdo con la LIE, los SSB solamente pueden adquirir energía y Productos Asociados mediante subastas. Esto para evitar la volatilidad del Mercado de Corto Plazo.

Cada año, CENACE debe organizar una Subasta de Largo Plazo en la que el SSB licitará la cantidad de energía, CEL y Potencia que necesite cubrir para los siguientes 15 años (20 para el caso de los CEL).

Las empresas generadoras realizarán ofertas para cubrir con esos requisitos y CENACE escogerá a las empresas que oferten al menor precio, cubriendo con los requisitos técnicos de la licitación. Con este mecanismo, las empresas generadoras pueden asegurar los recursos para la construcción de nuevas centrales.

En 2018 las subastas fueron canceladas por el gobierno entrante y no han sido retomadas desde entonces.

Mercado de Energía de Corto Plazo. A este mercado también se le conoce como spot, aunque dentro de él existan 3 mercados más. Estos 3 mercados están interrelacionados y se rigen por el Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo.

El primer mercado es el **Mercado del Día en Adelanto (MDA)**. Su función principal es que CENACE pueda realizar, con un día de anticipación, la asignación de unidades y el despacho para las 24 horas siguientes. Para ello, los Generadores deben enviar sus ofertas de generación y las entidades responsables de carga sus ofertas de demanda. CENACE utilizará distintos modelos para establecer bajo criterios de Confiabilidad, Seguridad del despacho y el mínimo costo, las centrales que operarán, en qué momento y bajo qué condiciones lo harán.

Como explicamos en la sección 7, CENACE divide al SEN en diversas regiones, pero para la operación considera los conocidos nodosP que representan los puntos en los que se inyecta energía de las centrales eléctricas o se extrae para las entidades responsables de carga. Existen más de 2,400 nodosP y, para cada uno de ellos, para cada una de las 24 horas de operación, CENACE establece un precio, conocido como Precio Marginal Local (PML) que se compone del

precio de la central más cara en ser despachada, del precio del nivel de congestión de las líneas de transmisión o subestaciones asociadas, y el precio de las pérdidas técnicas en la transmisión y distribución.

El segundo mercado es el **Mercado de Tiempo Real (MTR)**. Su finalidad es adecuar la operación planeada en el MDA a los eventos y parámetros reales de la operación. En este Mercado, CENACE hace las indicaciones de despacho para aumentar o reducir potencia de las centrales, e incluso realiza ajustes a la topología de la red, conectando o desconectando subestaciones o líneas para mantener la seguridad y confiabilidad del sistema.

Como resultado del MTR, los PML del MDA se ajustan para reflejar la operación real.

El tercer mercado no se encuentra en operación, pero está detallado en el marco jurídico. Este corresponde al **Mercado de Hora en Adelanto (MHA)** y sirve como un intermedio entre la planeación del MDA y la ejecución real del MTR para poder preparar con anticipación centrales eléctricas que puedan aportar potencia u otro Producto Asociado y así reducir la variación entre los PML del MDA y el MTR.

Cabe señalar que al publicarse la LIE en 2014, se planteó una segunda fase del Mercado de Energía de Corto Plazo en el que, como ya dijimos, se incorporaría el MHA. Además, se incorporarían al mercado las ofertas de despacho de la demanda. En otras palabras, CENACE podría asignar no solo centrales eléctricas sino demanda controlable para mejorar la operación del mercado y reducir los costos de operación, tanto de generación como de congestión y pérdidas. Sin embargo, esta segunda fase del mercado no se ha implementado.

Ahora bien, una parte fundamental tanto para la planeación como la operación del SEN yace en la manera en la que se despachan unidades de tal forma que, simultáneamente, se aseguren la Confiabilidad, Calidad y Seguridad de Despacho y se obtenga el menor costo posible. Esto es posible utilizando metodologías y herramientas (conocidas como modelos) que han probado su factibilidad y eficiencia en todos los países o regiones donde existen mercados abiertos a la generación. A continuación, explicaremos las bases teóricas de este despacho económico.

6.3 Despacho económico del sistema eléctrico.

El despacho económico se basa en asignar aquellas unidades que tengan un menor costo de operación. Por costo de operación nos referimos a los costos variables que incurre una central eléctrica para generar energía eléctrica y están relacionados a la cantidad de energía que genera, así, si la central no opera durante un mes, en ese periodo sus costos de operación serían nulos. Por el contrario, los costos fijos son aquellos que se deben cubrir independientemente de si la central genera energía o no. Estos incluyen salarios, rentas, intereses sobre el financiamiento, costos de capital y cierto tipo de mantenimiento necesario para mantener la central, aunque esta no opere.

Los costos variables incluyen mantenimientos correctivos necesarios cada cierto periodo de operación, materiales e insumos como repuestos, lubricantes o productos químicos, consumo de agua y combustibles, tanto los que corresponden a la fuente de energía primaria como los combustibles requeridos para operar equipos auxiliares como bombas, compresores y vehículos.

Todos los Generadores están obligados a participar en el MDA. Para ello deben enviar a CENACE, desde 7 días antes y hasta las 9 de la mañana del día anterior al Día de Operación (el día en el que se opera el sistema) sus ofertas de generación, indicando para cada hora del Día de operación la potencia que podrá entregar la central eléctrica junto con otros parámetros como la capacidad de rampa y, sobre todo, el costo de operación de cada hora.

Una vez que CENACE cuenta con las ofertas de generación (así como con las ofertas de demanda, que no abordaremos en este documento), procede a realizar la asignación y despacho. Cabe señalar que existen diferentes tipos de ofertas y que el proceso de despacho y asignación es mucho más complejo de lo que describimos a continuación. Esto para facilitar el entendimiento básico del despacho económico.

Comencemos a ver el proceso de despacho tomando una sola de las 24 horas del MDA; igualmente enfoquémonos en uno solo de los más de 2,500 nodosP. Así, para este nodo, se tiene un monto de demanda a cubrir en esta hora al que llamaremos D y que en este ejemplo será de 1,500 MW durante esa hora (por tanto 1,500 MWh). Además, contamos con un listado de centrales eléctricas que han ofertado las potencias de la siguiente tabla.

Central eléctrica	Oferta de generación (MW)	Costo de la oferta (\$/MWh)
A	600	45
B	300	39
C	200	5
D	500	50
E	150	68

Ahora ordenemos las ofertas de generación, partiendo de la de menor costo a la de mayor. Para visualizarlo más fácil, hagamos una gráfica en la que en el eje horizontal se coloca la potencia ofertada y en el eje vertical el costo. Como resultado tendríamos la Figura 7 en la que

la primer central en ser despachada sería la C, aportando 200 MW durante esa hora. Le seguiría la central B aportando 300 MW, con lo que ya se habrían satisfecho 500 MW de los 1,500 MW que se demandan en esa hora. Posteriormente se despacharía la central A y luego la D. Sin embargo, si observáramos la demanda como una recta vertical trazada en los 1,500 MW, notaríamos que, si se despachan los 500 MW ofertados por la central D, se tendría una generación mayor a la demanda. Por tanto, si las características de la central D lo permiten (y pasando por alto las necesidades de despacho del resto de las horas del día modelado para simplificar el ejemplo), se podría indicar a esta central que entregue una potencia de 400 MW. Finalmente, la central E no es despachada.

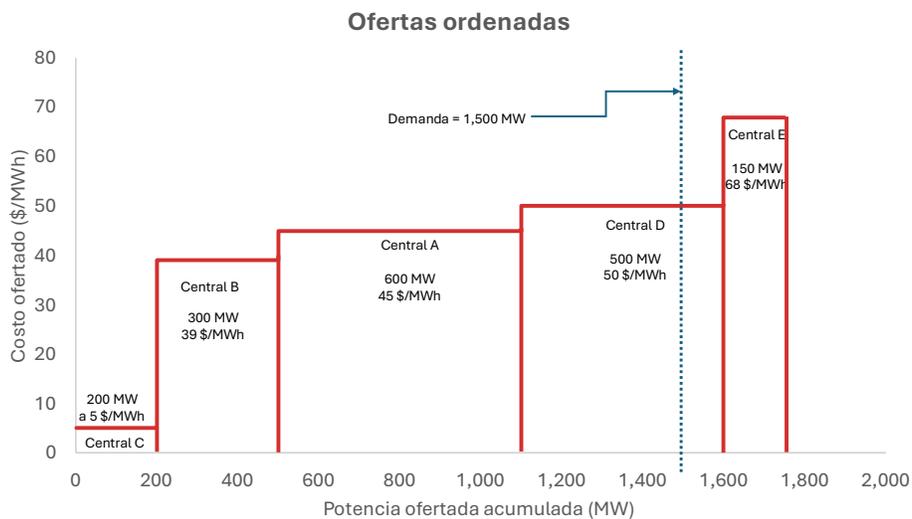


Figura 7. Ejemplo de orden de despacho económico.

La componente de energía del PML de este nodoP ejemplo, para esta hora sería entonces de 50 \$/MWh. Esto implicaría que todas las entidades de carga que retiren energía eléctrica de este nodoP a esta hora deberían pagar por cada MWh retirado \$50. Este pago sería hecho a CENACE tras la liquidación del mercado, que ocurre 7 días después del Día de Operación.

Además, todas las centrales eléctricas que hayan entregado energía en este nodoP a esta hora recibirían el mismo pago de 50 \$/MWh. Así, la central C recibiría un pago de \$1,000 ya que entregó 200 MW. Por su parte, la central D recibiría un pago de \$2,000 correspondientes a los 400 MW entregados.

Como el lector podrá apreciar, la central A tiene unas ganancias respecto a su costo de operación equivalentes a 45 \$/MWh, es decir, de \$900 totales. Por su parte, la central D no tiene ganancias puesto que todo el pago recibido equivale a su costo de operación. Como resultado, este sistema incentiva a todos los Generadores a mantener sus centrales eléctricas en las

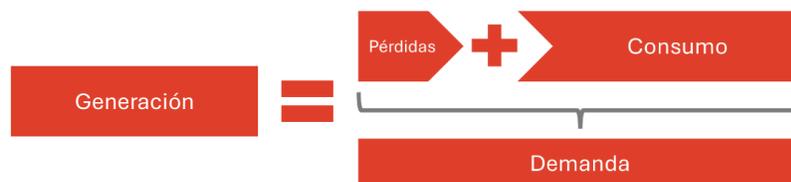
mejores condiciones, buscando tener los costos más bajos para lograr ser despachados. Esto a su vez, hace que la energía generada en el sistema sea la más barata posible. Si por características técnicas, movimientos de la demanda, u otras circunstancias se tuviera que despachar la central E, esto causaría que el PML subiera de 50 a 68 \$/MWh.

Es importante mencionar que los Generadores tienen otras fuentes de ingreso tales como el Mercado de Balance de Potencia. Además, contando con una cartera de centrales de distintas características, los Generadores pueden buscar tener un negocio rentable que aporte energía y Productos Asociados que requiere el MEM.

7. Demanda, consumo y balance en el despacho eléctrico

En esta sección se retoma la última parte de la introducción. El hecho de que la energía eléctrica no se pueda almacenar en las cantidades en las que se consume hace necesario que siempre deba haber un balance entre la generación y el consumo. Esto ha dado lugar a todas las actividades e infraestructuras que hasta este momento se han discutido en este documento.

Recordando la naturaleza física de la energía eléctrica, para mover los campos electromagnéticos que conducen la energía que consumen los usuarios se requiere del trabajo generado en las centrales eléctricas. Como en todo proceso real, no toda la entrada de energía a un sistema se aprovecha puesto que existen pérdidas inevitables debidas a los principios físicos, así como por otras ineficiencias propias del sistema. En el caso del sistema eléctrico nacional, la parte que inevitablemente se pierde sucede durante el transporte de energía en la RNT o en las RGD y se conocen como pérdidas técnicas. Adicionalmente, a un porcentaje del consumo que es suministrado a un usuario, pero no es facturado apropiadamente se le denomina pérdidas no técnicas. Entonces, regresando al enfoque sistémico, la energía generada es igual a la energía consumida más la energía perdida. A la suma de la energía consumida, o consumo, y la energía perdida, o pérdidas, se le conoce como demanda.



Mientras que el consumo y la demanda suelen medirse en unidades de energía, es decir, en MWh, las pérdidas suelen medirse como un porcentaje de la demanda o de la generación, que es lo mismo. En general, en México las pérdidas han sido históricamente menores al 13% de las entradas de suministro al SEN, siendo las técnicas alrededor del 8% y las no técnicas menores al 5%.

El balance de potencia se refiere a que en todo instante el suministro o generación de potencia debe ser igual a la demanda. El operador del SEN se encarga de mantener en todo momento este balance, o al menos dentro de los rangos permitidos que aseguren un suministro de calidad. Existen diversos parámetros físicos que permiten medir este balance y el más importante es la **frecuencia de operación del sistema**. En México, la frecuencia debe ser de 60 Hertz o ciclos por segundo (Hz). Las diferencias entre consumo y generación causan cambios en la frecuencia. Desviaciones hacia frecuencias menores son provocadas por aumentos en el consumo, mientras que desviaciones hacia frecuencias mayores son causadas por aumentos en la generación de potencia. El control automático de generación de todas las centrales, o postes en la red, censan la frecuencia y responden aumentando o disminuyendo el suministro de potencia instantáneamente para mantener el equilibrio del SEN. Cuando el desbalance supera los rangos de actuación del control automático, el operador del sistema debe responder enviando instrucciones de modificación de potencia a las centrales eléctricas o modificando la topología de la red, es decir, cambiando las líneas de transmisión que operan para generar nuevos enlaces o conectar o desconectar nodos.

Adicionalmente, la frecuencia está ligada a la tensión eléctrica, la cual es una medida equivalente a la fuerza en el suministro. Si la tensión baja (baja frecuencia), los aparatos eléctricos no responden adecuadamente. En el caso opuesto, si la tensión es mayor a la necesaria (alta frecuencia), los aparatos se sobrecargan, se calientan y pueden ocasionar fallas y accidentes a los usuarios. Mantener la calidad del suministro se refiere a mantener el equilibrio de frecuencia que asegure la tensión precisa de operación de los aparatos que utilizan los usuarios. En México, la tensión nominal es de 127 V.

La labor del operador de la red es asegurarse de la calidad del suministro, de manera que haya suficientes generadores o postes que hagan frente a las disminuciones o aumentos de frecuencia, aumentos de demanda y, por consiguiente, de consumo por parte de los usuarios. Para ello, el operador debe calcular el número de centrales asegurando además de la calidad, seguridad y continuidad del suministro, el mínimo costo de operación. Al proceso de indicar qué central entra en operación y cual no se le llama asignación de unidades, y la estimación de la cantidad de potencia que suministra cada central, así como el uso de las líneas de transmisión y distribución y la asignación de los precios de operación se denomina despacho.

La orquestación del SEN va de la mano con el mercado y la observación de los históricos de compra y venta de suministro eléctrico. En los registros se aprecian patrones de consumo diarios, estacionales y anuales. Los cambios anuales son, por lo general, de alza de consumo año con año, ligado al desarrollo económico y poblacional de la nación. Esto está correlacionado al Producto Interno Bruto (PIB). Los cambios estacionales se deben mayoritariamente al mayor consumo de electricidad para refrigeración y aire acondicionado durante los periodos más calurosos del año, generalmente de mayo a octubre como se muestra en Figura 8, así como la disponibilidad de recursos, siendo un claro ejemplo las temporadas de

sequías y lluvias que afectan la operación de las centrales hidroeléctricas. Finalmente, los patrones diarios van de la mano con el comportamiento de las personas y la sociedad en general, siendo posible observar los comportamientos característicos de los días laborales y los fines de semana, cuando la demanda es menor, observe los cambios entre semana en la Figura 9 o en la Figura 10, así como el comportamiento horario que presenta picos al anochecer cuando la población regresa a casa y realiza sus actividades antes de dormir y hacia la tarde cuando, durante las épocas calurosas, se encienden los aires acondicionados y ventiladores, véase Figura 11.

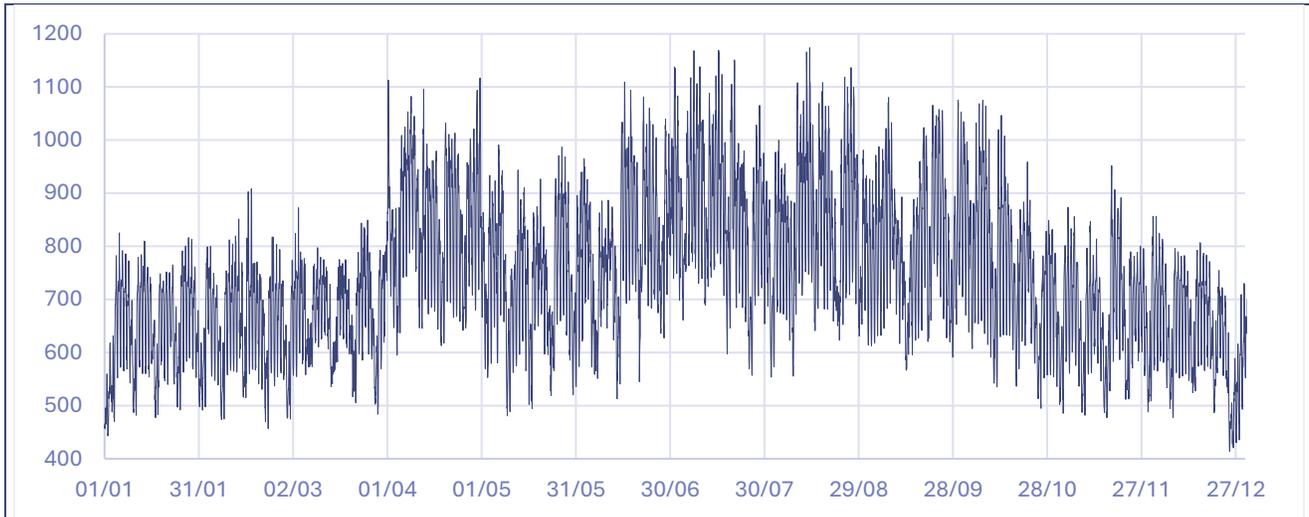


Figura 8 Demanda anual durante 2021 en la región de transmisión de Tijuana.

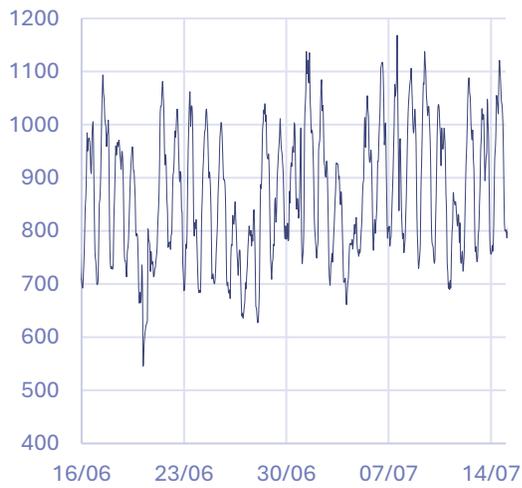


Figura 9 Extracto demanda de verano en Tijuana

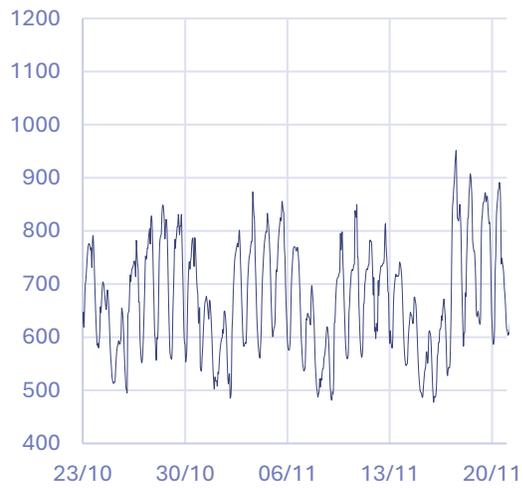
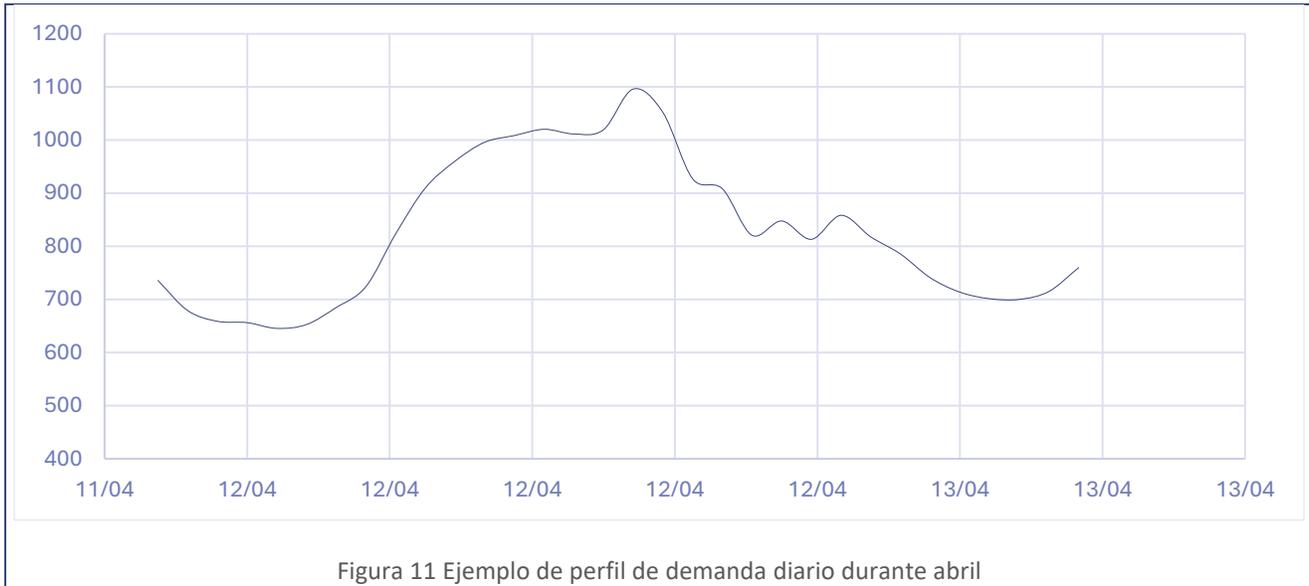


Figura 10 Extracto demanda de invierno en Tijuana



Como se puede observar desde la Figura 8 a la Figura 11, la demanda tiene patrones previsibles que, con las herramientas adecuadas, permiten al operador del SEN realizar pronósticos certeros necesarios para la asignación de unidades y despacho. Conforme los pronósticos sean más imprecisos, el operador deberá ejecutar acciones de remediación que pueden implicar congestiones en las redes eléctricas; la necesidad de reasignar unidades o despachar centrales que, aunque de respuesta más rápida, son más costosas para el sistema; o incluso instruir la desconexión de usuarios (conocida como tiro de carga) a los que no se les dará el servicio.

Además de la operación del SEN, la planeación tiene una componente fundamental en el pronóstico de la demanda y la operación. Como se mencionó en la sección 5. Marco Jurídico, el estado tiene la atribución exclusiva para realizar esta planeación, recayendo la labor en la SENER. Una buena planeación permitirá la previsión adecuada y eficiente de la construcción de la infraestructura eléctrica necesaria para atender los cambios de mediano y largo plazo de la demanda.

8. Conclusiones

El **ABC del Sector Eléctrico en México** es un documento que permite hacer accesible el conocimiento sobre uno de los sectores más importantes y complejos del país, recordando que la electricidad es mucho más que un recurso que damos por sentado: es el motor que impulsa nuestro desarrollo económico, mejora nuestra calidad de vida y nos conecta con el mundo. Además, nos permite reflexionar sobre los desafíos ambientales asociados a su generación y el papel que todos jugamos en la transición hacia energías más limpias y sostenibles.

A manera de conclusiones es importante subrayar la importancia de mantener un balance constante entre la generación y el consumo de energía, así como la necesidad de continuar fortaleciendo el marco regulatorio para garantizar que el sector eléctrico sea confiable, eficiente y accesible para todos. El documento también menciona la relevancia de los mercados eléctricos en la economía nacional y su papel como catalizadores para la incorporación de tecnologías de generación más limpias.

Este documento más que ser un manual informativo: es una invitación a ser partícipes activos en el cambio. Ya sea al ahorrar energía en casa, al buscar o promover políticas públicas que impulsen la transición energética o simplemente al comprender mejor cómo funciona el sistema eléctrico, este conocimiento nos empodera como ciudadanos.

Referencias

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2024). Sistema Eléctrico Nacional. Recuperado de: <https://energia.conacyt.mx/planeas/electricidad/sistema-electrico-nacional>
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2023). Informe Anual de Sustentabilidad 2023. Comisión Federal de Electricidad. Recuperado de: <https://www.cfe.mx>
- Secretaría de Energía (SENER). (2024). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2024-2038. Secretaría de Energía. Recuperado de: <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2024-2038>
- Deniau, Y., & Pérez Macías, L. F. (2023). El Sistema Eléctrico Nacional: Parte 2. Análisis sobre la ocupación territorial de las centrales eléctricas en México. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático (Pronace-ECC). Recuperado de https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia_y_cambio_climatico/energia/cuadernos_tematicos/Cuaderno_6.pdf
- Levy, A., Messina, D., & Contreras Lisperguer, R. (2021). Definiciones del sector eléctrico para la incorporación de las energías renovables variables y la integración regional en América Latina y el Caribe (LC/TS.2021/147). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/46120321-fd1d-4b75-a24a-b3b92c7e880b/content>
- International Energy Agency (IEA). (2023). Energy Technology Perspectives 2023. International Energy Agency. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
- Congreso de la Unión. (2024). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Viqueira, L. (1985). Redes Eléctricas I. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Secretaría de Energía. (2016). ACUERDO por el que se emite el Manual de Mercado de Energía de Corto Plazo. Recuperado de [https://www.cenace.gob.mx/Docs/MercadoCortoPlazo/Manual%20de%20Mercado%20de%20Energ%C3%ADa%20de%20Corto%20Plazo%20\(DOF%20SENER%2017-Jun-16\).pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/MercadoCortoPlazo/Manual%20de%20Mercado%20de%20Energ%C3%ADa%20de%20Corto%20Plazo%20(DOF%20SENER%2017-Jun-16).pdf)