

Comisión Federal de Electricidad
CFEnergía
Dirección de Inteligencia Energética
Subdirección de Investigación

Análisis sobre los modelos de despacho eléctrico en el mundo. Casos representativos

Elaborado por:

Lic. Abraham Salinas Díaz

Revisado por:

Dra. Dacsina Peto Vonduben



Ciudad de México, México 04 de enero del 2022

Sobre la responsabilidad intelectual del documento

"Los materiales visuales y la serie de Documentos de Análisis e Investigación presentados de manera pública en el presente trabajo de CF Energía S.A., empresa filial de Comisión Federal de Electricidad (CFE), son producto de investigaciones realizadas por personal que labora en la Subdirección de Investigación de la Dirección de Inteligencia Energética de CF Energía, con la finalidad de garantizar la libre expresión para el intercambio y debate de ideas. El contenido y los hallazgos, así como interpretaciones y conclusiones que de ellos se derivan, son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente las de CF Energía; de tal forma, CF Energía no garantiza la exactitud de los datos incluidos en los trabajos de investigación. Los límites, colores, denominaciones y otra información que se muestra en cualquier mapa, gráfica, tabla o material visual utilizados en los materiales y documentos no implican ningún juicio político o legal por parte de CF Energía".

Agradecimientos.

La elaboración de esta investigación no hubiera sido posible sin el apoyo de nuestra empresa CFENERGÍA —filial de la CFE— al confiar en el profesionalismo de los investigadores de la Subdirección de Investigación, y permitirnos ejercer nuestro trabajo intelectual de forma libre, crítica y responsable. Además, damos las gracias por brindarnos los recursos materiales, económicos, y un ambiente multidisciplinar, en términos académicos, y de temporalidad apropiados para la realización de este proyecto. A su vez, agradecemos a la Dirección de Inteligencia Energética por el respaldo y acompañamiento que proporcionó al presente trabajo durante el periodo de su elaboración y publicación.

Confiamos en que los argumentos expuestos en la presente investigación sean de utilidad para la empresa en su proyecto de contribuir, desde diversos frentes, a la recuperación de la seguridad y la soberanía energética de México.

Índice

Introducción	4
1.1. Revisión y caracterización de los modelos de despacho eléctrico en otros países	5
1.1.1. Despacho eléctrico en Alemania	7
1.1.2. Despacho eléctrico en Estados Unidos	10
1.1.3. Despacho eléctrico de Canadá	16
1.1.4 Despacho eléctrico en España	20
1.1.5. Despacho eléctrico en China	24
1.2. Caracterización de los límites del despacho eléctrico basado en ER, dado el problema de su intermitencia de las plantas de reconfiguración tecnológica.	32
1.2.1. Caracterización de la intermitencia de las energías renovables y la condicionalidad no renovable de la electricidad generada con energías fósiles.	32
1.2.2. La intermitencia de las energías renovables.	35
1.2.3. La dependencia industrial de los hidrocarburos.	37
1.2.4. Desarrollo tecnológico especializado en las tecnologías de generación eléctrica fósil.	37
1.3. La flexibilidad de los sistemas eléctricos y su relación con la intermitencia	40
1.3.1 Intermitencia de la energía eléctrica y sus efectos en el despacho eléctrico.	41
Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	51

Introducción

En el año 2021 el presidente Andrés Manuel López Obrador presenta ante el Congreso de la nación una iniciativa de reforma en materia de electricidad y energía, que tiene como principal objetivo por medio de la modificación de 3 artículos de la constitución mexicana, hacer un cambio estructural y profundo a como se compone y funciona el sistema eléctrico del país, todo en consecuencia, en gran medida por los efectos que ha tenido la reforma energética del expresidente Enrique Peña Nieto, que liberó la participación dentro del sector eléctrico nacional al sector privado principalmente extranjero, que ha tomado el control de la generación y distribución eléctrica del país por medio de vacíos legales y actos ilícitos muchas veces apoyados desde las mismas esferas del gobierno, además de que se pretende vulnerar en gran medida el poder y el alcance que tiene la Comisión Federal de Electricidad en el sector por medio del desmembramiento de la institución y la desaparición de atribuciones y funciones. Esta situación ocasiona el encarecimiento la generación pública de electricidad que no puede competir con los precios de la electricidad sé que establecen desde el sector privado, estas acciones ponen en riesgo tanto el sistema eléctrico nacional física y económicamente, y todo el esfuerzo histórico labrado para su consolidación.

Con esta nueva iniciativa de reforma se pretende en primera poder fortalecer a la CFE, para que esta misma tenga la capacidad de poder garantizar el suministro eléctrico a todos los Mexicanos, siempre a precios justos y protegiendo los intereses de la nación; y en segundo que esta capacidad de garantizar el suministro eléctrico pueda mitigar los riesgos de seguridad eléctrica que representan la pérdida del control sobre el sector eléctrico a manos de un sector privado voraz, sentando siempre las bases para que México pueda alcanzar una estabilidad energética, aprovechando sus potenciales naturales, tanto fósiles como renovables.

Es en este contexto que dentro de la Subdirección de investigación de CFEEnergía, nace la necesidad de poder elaborar un trabajo académico que aborde el cómo se despacha la electricidad en todo el mundo, especialmente en los países líderes del sector eléctrico en diversos subcampos, teniendo siempre presente que cada país representa un contexto único y que la decisión de optar por un modelo u otro van desde la disponibilidad de los recursos naturales hasta el impacto de la intermitencia; todo con el objetivo central de poder encontrar cuál es el modelo eléctrico predominante a nivel mundial y explicar cuáles son las razones por las que existe esa hegemonía

que se apoyarán desde un análisis de los precios finales de la electricidad en los países con el modelo y los costos asociados a las tecnologías de generación eléctrica.

El presente trabajo busca contribuir en la toma de decisiones asociadas con la aplicación de la nueva reforma a la industria eléctrica nacional, ejemplificando el cómo se desarrollan los diversos tipos de despachos eléctricos en diversos contextos a nivel mundial, exponiendo que cada modelo de despacho y tecnología generadora de electricidad presenta ventajas y desventajas que se adaptan de diferente manera a la situación que vive cada país, y que el modelo que México como nación debe adoptar debe tener siempre en consideración las fortalezas que el país tiene tanto en aspectos medioambientales, económicos y sociales; observando cómo en todo el mundo diferentes modelos de control del sector eléctrico pueden llevar a una nación al éxito o al deterioro de las condiciones en que se produce y satisface el consumo de la electricidad.

1.1. Revisión y caracterización de los modelos de despacho eléctrico en otros países

Los sistemas de energía eléctrica en todo el mundo se usan para satisfacer la demanda total de energía eléctrica de su área asignada, tienen a su disposición varias unidades/plantas de generación energía eléctrica que están conectadas a través del sistema de transmisión y distribución, las cuales son despachadas dentro del sistema en cierto orden para satisfacer el equilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad; estas centrales son despachadas en cada país de manera diferente, pero por lo general parten de una jerarquización en torno a sus costos asociados o planeaciones anuales; los costos de las unidades se pueden dividir en muchas formas, pero la más concretas son en dos tipos, los costos variables que representan a los costos del combustible, mano de obra, costos operativos en general y pérdidas de transmisión, y los costos fijos agrupan a los costos de capital de los generadores y el sistema de transmisión.

El despacho eléctrico es un proceso central en la toma de decisiones en todos los sistemas nacionales de energía eléctrica que adquieren recursos de generación eléctrica y desean mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda; el principal objetivo del despacho eléctrico es mantener la estabilidad física del sistema de transmisión y distribución, controlar la oferta de la generación eléctrica, determinar el orden de entrada en el sistema de transmisión de los generadores eléctricos en todos sus tipos hablese de fósiles, renovables y nucleares, además de cubrir la demanda de electricidad diaria de los habitantes del país y las diversas industrias.

En las economías más avanzadas como Estados Unidos, Canadá y Alemania el despacho de la generación eléctrica generalmente se refiere a una secuencia de procedimientos con base en la demanda estimada y real de electricidad diaria, esto ocasiona que se genere una jerarquía de despacho eléctrico que pone las energías con costos de generación más bajos al principio del día como la nuclear o las renovables, como si de una base se tratase, tener un soporte en el despacho cuando la demanda de energía aumenta en la tarde con energías de coste medio como el gas natural y utilizando las energías más caras como el petróleo y carbón en los picos de demanda que habitualmente se alcanzan en las noches; estos despachos eléctricos se realizan por medio de contratos a largo plazo entre generadores y empresas de transmisión que son quienes por medio de licitaciones diarias para el compromiso de suministro de energía a precios particulares y licitaciones por hora, marcan quiénes despachan, cuándo y en qué orden, todo siendo un proceso dinámico que requiere el monitoreo constante de la red por parte de quien la controla.

Por otro lado, el despacho eléctrico en países como China se lleva a cabo de manera diferente que en sus contrapartes de occidente; siendo los dos componentes clave del despacho la planificación anual administrativa de la generación y el despacho a tiempo real; la planificación de la generación eléctrica es un procedimiento que pretende determinar la producción de electricidad de cada generador en una provincia con un año de antelación en función de la demanda anual de un año anterior, este documento es realizado principalmente por comisiones de planificación económica y eléctrica en cada gobierno provincial, siendo los que asignan cuotas de horas de generación a las empresas generadoras de electricidad y por ende determina la cantidad de electricidad despachada en el sistema de transmisión a lo largo de todo el año; una vez que se elaboran estos planes anuales de generación, son entregados a las empresas de la red eléctrica de transmisión que crean programas de compromiso de unidades trimestrales, mensuales y diarios con base en las tecnologías disponibles en la región, el tiempo que requieren para su puesta en marcha y el costo total de la generación eléctrica; las compañías de redes de transmisión deben tener un especial cuidado en el diseño de estos programas de compromiso de unidades para que los generadores a lo largo del año puedan cuidar los parámetros de generación asignados; y en cuanto al despacho en tiempo real los operadores del sistema despachan electricidad de los generadores de acuerdo con lo estipulado en su programa, pero se adaptan a la demanda diaria, ajustando en casos extraordinarios el orden el que se despachan para que todos cumplan sus cuotas.

En los siguientes apartados se presentan las principales características de despacho eléctrico de 5 países líderes en el sector mundial de la energía eléctrica en diferentes áreas; los cuales se tratan de Alemania, Estados Unidos, China, Canadá y España; esto con el principal objetivo de observar y evaluar los parámetros con los cuales se despacha la electricidad y entender que este puede ser un proceso que en esencia puede ser similar, pero que dependiendo del contexto social, político y económico de cada país adquiere matices complejos, como ya se ha descrito con anterioridad en el cual China cuenta con un despacho planificado bajo una estructura de justa competencia en donde a pesar de ser un mismo sector industrial cada participante tendrá diferentes reglas para despachar su producción, agrupándose por el tipo de tecnología de generación que utiliza, generando electricidad solo en los tiempos estipulados de la planeación anual y todos los participantes por tecnología generando electricidad solo las mismas horas del día, y para el caso de Alemania, Canadá y Estados Unidos la clave rondara en crear una jerarquía que tome en cuenta los costos variables de producción como el principal orden del despacho.

1.1.1. Despacho eléctrico en Alemania

El sistema eléctrico de Alemania tiene como base principal el objetivo de poder utilizar dentro de la generación cada vez más la electricidad proveniente de las energías renovables; las cuales por su mismo origen tienen la principal característica de ser de carácter intermitente, significando que al depender de un recurso natural que no es estático como los recursos fósiles y que se encuentra en constante movimiento, un día del año podría ayudar a generar grandes cantidades de energía, pero en otro podría no existir ni rastro del recurso natural; esta condición crea grandes desafíos para el sector eléctrico del país en torno a poder tener un equilibrio entre la oferta y la demanda.

El despacho eléctrico en Alemania utiliza como principal eje jerarquizador a los costos productivos de electricidad variables, a esto se le llama orden de mérito, la cual da un carácter prioritario en el despacho eléctrico a las energías renovables como a la solar y eólica, con el objetivo principal de eliminar parcialmente el uso de las energías fósiles como el petróleo y el gas natural en la generación eléctrica diaria; la orden de mérito da un carácter prioritario a los generadores que presenten los costos variables de generación más bajos para que funcionen como energías base a lo largo del día, esto significa que son energías que funcionarán a lo largo del todo el día (energías renovables y nuclear antes de su prohibición), dejando a las energías de coste medio como soporte para las de base, siendo por lo general por las tardes que es donde aumenta

considerablemente la demanda eléctrica (gas natural) y para los picos de demanda que habitualmente se alcanzan en la noche se utilizan las de los costos más elevados (petróleo y carbón); este proceso ocurre a si debido a que anterior a la reforma eléctrica con énfasis sustentable, la electricidad generada en el país provenía de los recursos fósiles, siendo el carbón y el gas natural, las energías que servían como base del sistema de generación, lo que aumentaba las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuía a aumentar la dependencia a energéticos imputados costosos como el gas natural; pero actualmente con la importancia que se le ha dado dentro de las políticas energéticas nacionales a las energías renovables y la prohibición de la energía nuclear por miedo a repetir en Alemania un caso como el de Fukushima o Chernóbil, los operadores de la red de transmisión y distribución tienen un carácter esencial para mantener el equilibrio y asegurar el suministro eléctrico a todos los alemanes (Netz Entwicklungs Plan Storm, 2021).

Un problema claro de la importancia que se les dan a las energías renovables dentro del despacho en Alemania es que este tipo de fuente de energía sufre ampliamente por la intermitencia en su producción, lo que no asegura que este tipo de energía se pueda considerar como 100 % de base, ocasionando que los operadores de la red deban forzosamente contar con un respaldo de energías con coste medio para los momentos en las que las renovables no pueden cubrir la demanda, este respaldo habitualmente ocurre en temporadas en donde la energía fotovoltaica del sol y la velocidad del viento son insuficientes por las condiciones climáticas o estacionarias (Appunn, 2016). El sistema eléctrico de Alemania está dando cada vez más pasos para que las energías renovables se integren al sistema, pero sus deficiencias en la generación continúan solo acrecentado la dependencia del país a las fuentes de respaldo de gas natural, mismo que no se produce en el país y depende de las importaciones de países como Noruega y Rusia.

En Alemania el sector eléctrico en su mayoría es controlado por el sector privado, siendo el Estado el ente regulador que se encarga de gestionarlos, poner las reglas y supervisarlo por medio de la Agencia Federal de Redes; la red de transmisión y distribución es el eje central de sistema pues es el encargado de despachar la electricidad, moverla de las zonas de producción a los consumidores finales y comprarla a los generadores, esta se compone de 4 grandes empresas operadoras que son conocidas como TSO (por sus siglas en inglés); TenneT, 50Hertz, Amprion y TransnetBW, las cuales dividen el país en 4 partes y son las responsables de la operación,

regulación del suministro de energía, mantenimiento físico del sistema, resguardar el equilibrio del despacho fluctuante de las renovables por medio de los respaldos fósiles de gas natural y el desarrollo de sus respectivas secciones de la red (Appun & Russell, 2021) y (Appunn, 2015).

Para que la red de transmisión y distribución eléctrica permanezca en niveles estables a lo largo del año, las cantidades de electricidad que se despachan en la red deberán ser iguales a lo que estipula la demanda (Nabe, 2001). Esto se logra por medio de que cada planta generadora produzca las cantidades de electricidad con base en una lista de demanda de energía eléctrica que se elabora con un día de anticipación por parte de los operadores de las redes de transmisión; este modelo permite, por un lado, por medio de la replicación de la demanda del día anterior poder despachar similares cantidades de electricidad por parte de los generadores, lo que reduce la pérdida de electricidad que no puede ser despachada y aprovecha mejor los recursos de cada planta, pues cada generador sabe cuánto y cuándo despachara su electricidad, además de que permite realizar actualizaciones en el despacho de una manera más rápida si es que es necesario realizar ajustes para garantizar que la red funcione sin problemas y se cubra la demanda (Appun & Russell, 2021)

La demanda de electricidad a lo largo del día no tiende a variar demasiado a lo largo del año, pero si esto ocurre ocasionado por eventos climatológicos o cambios en la temperatura, los operadores de las redes alemanas pueden recurrir a tres tipos diferentes de medidas de despacho eléctrico, siempre con el cometido de priorizar a la generación renovable en el despacho:

- Pueden ordenar a las centrales eléctricas fósiles reducir la generación, con el fin de “hacer espacio” en la red para la alta afluencia de energía renovable.
- Si la energía renovable no puede cubrir la demanda básica de electricidad, los operadores de la red pueden ordenar electricidad de las centrales eléctricas de gas natural y despacharla en el sistema.
- En los picos de alta demanda se pueden ordenar detener las plantas de generación renovable para que la energía fósil se pueda despachar cubriendo la demanda (solo como último recurso en invierno) (Appunn, 2015).

En estos caso en donde es necesario modificar el despacho para nivelarse con la demanda y que los operadores de la red de transmisión les indicaron a las centrales eléctricas fósiles que

limiten la producción, los operadores de la red deben compensar económicamente a los generadores fósiles por ley por la energía que les habrían pagado por suministrar y que no se despachó, con el fin de que el negocio de la generación fósil no sea desigual o plagado de pérdidas económicas para los generadores; cuando los operadores ordenen a los productores de energía renovable que se desconecten de la red, ellos como en el caso anterior también deben ser compensados económicamente, debido a la electricidad perdida, por eso la planeación diaria es de vital importancia, para evitar pérdidas económicas para las empresas de transmisión (Nabe, 2001).

A pesar de la necesidad frecuente de medidas de reformulación de despacho y su dependencia a los recursos fósiles como energía de respaldo; el sistema eléctrico de transmisión y despacho eléctrico de Alemania son unos de los más fiables y eficientes de Europa y el mundo; tanto por la clara inmersión que tiene a las energías limpias y por la estructura del sistema que permite la participación equitativa en el sector; radicando sus problemas en que al ser un modelo renovable pionero está plagado de problemas relacionados con la intermitencia de los recursos naturales, lo que en el fondo solo estimula la dependencia a los recursos fósiles del país, pues si bien se produce la mayoría de la electricidad de fuentes renovables, esto no se hace a lo largo del año y solo es en periodos específicos cuando los recursos naturales como el sol y el viento abundan.

1.1.2. Despacho eléctrico en Estados Unidos

Similar al caso de Alemania, en los Estados Unidos el despacho de la energía eléctrica se rige por los costos variables de la operación de las plantas generadoras de energía eléctrica; los costos variables junto con la demanda de electricidad prevista son el principal eje jerarquizador que determina qué unidades generadoras operan y despachan a lo largo del día, estos costos influyen en los gastos por operación, mantenimiento y el valor de la materia prima con la que se genera la energía, siendo aquí en donde las energías renovables reducen sus costos operativos variables pues su generación al ser con base en recursos naturales que en el entorno inmediato presentan una alta capacidad energética, además de que no requieren esfuerzos adicionales más que la tecnología para aprovecharlos, situación que no ocurre con las energías fósiles que si bien también provienen de recursos naturales estos requerirán una inversión adicional en su compra, cuyo precio refleja los costos de extracción, procesamiento y transporte, requieren pasar por un proceso de combustión para poder aprovechar la energía que se desprende de ellos, situación que los rayos del sol o la

velocidad del viento no requieren, la energía naturalmente se desprende de ellos, además de que el aprovechamiento de los recursos fósiles genera cantidades de contaminación altas.

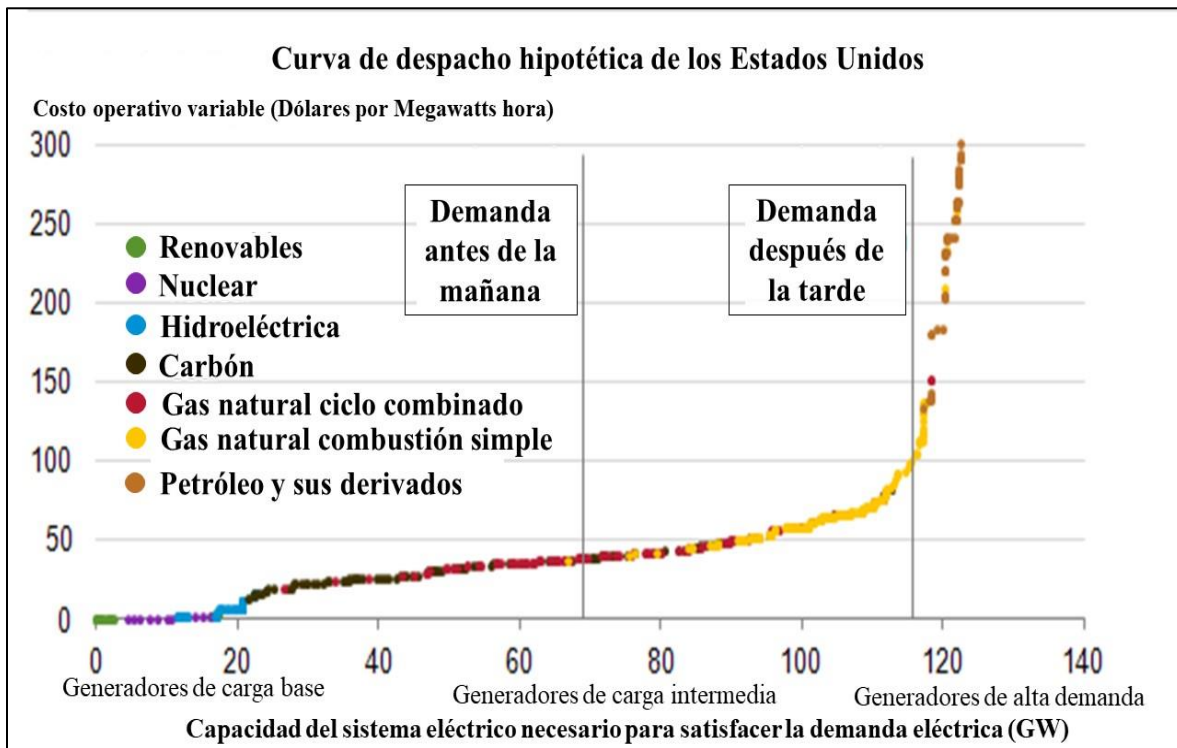
El sistema de transmisión y distribución de electricidad de los Estados Unidos no es una única red conectada que suministra electricidad a todo el país, sino que se trata de múltiples redes que pueden llamarse regiones eléctricas que no están conectadas entre sí y que tienen generadores eléctricos, fuentes de energía y operadores de red totalmente únicos; las regiones con la mayor extensión en todo Estados Unidos son la región eléctrica oriental que cubre toda la costa del atlántico, la occidental sobre los Estados de la costa del océano pacífico, la red Texana que es exclusiva del estado de Texas y la red de Alaska la cual se encuentra separada por la provincia canadiense de la Columbia británica del resto del país; la red es operada por 500 empresas de carácter privado, las cuales se encuentran bajo el control del gobierno estadounidense, con el fin de mantener un sector justo y competitivo, evitando los monopolios energéticos (RealClearEnergy, 2012).

La red de transmisión y distribución eléctrica de los Estados Unidos es un complejo sistema que requiere como el de Alemania mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda, que habitualmente se le conoce como equilibrio de voltaje, y sin el cual podrían presentarse apagones en el suministro o daños en la estructura física de la red; en todas las regiones eléctricas del país existen operadores que tiene el control total del despacho y también de la entrega de la electricidad, este arduo trabajo se realiza las 24 horas del día los 365 días del año, pues si la red requiere ajustes los cambios se deben realizar de inmediato, redistribuyendo la electricidad, aumentar o distribuir el despacho; los operadores son los encargados también de tener la suficiente capacidad de generación eléctrica disponible para poder satisfacer la demanda esperada de electricidad para ese día considerando todos los factores que podrían afectarlos, como el clima o el precio de los energéticos, para que estos se pueda cumplir sin contratiempos siempre deben contar con un margen extra de reserva eléctrica en caso de eventos inesperados (RealClearEnergy, 2012).

Las plantas con los costos operativos variables más bajos son las que despachan primero al empezar el día, siguiéndoles las plantas con costos medios que se ponen en funcionamiento de manera secuencial a lo largo del día mientras la demanda de electricidad aumenta siendo por lo general desde la tarde y finalmente se utilizan las plantas con los costos más altos cuando se alcanzan los picos de demanda habitualmente en las noches; la secuencia del despacho eléctrico

se puede apreciar en el **Esquema 1**, el cual contiene una curva hipotética de cómo se desarrolla el despacho eléctrico a lo largo del día en respuesta a la satisfacción de la demanda, se trata de una figura hipotética porque la generación de todos los días en los Estados Unidos es única para cada zona del país, que si bien podría comportarse de manera similar, esta tiende a variar por cuestiones tales como el que una determinada industria solo opere en ciertos días, si la demanda de electricidad aumenta con el invierno por el uso de la calefacción o si en determinadas áreas como la costa del pacífico cuenta con infraestructura eólica lo que permite que este tipo de electricidad se despache en demasía en comparación con zonas como la central del país que carece de estas instalaciones; el **Esquema 1** debe ser tomado como una aproximación de cómo funciona la compra de electricidad por parte de los operadores del sistema de transmisión y distribución (EIA, 2012).

Esquema 1. Curva de despacho hipotética de los Estados Unidos



* Generadores de carga base: plantas del sector eléctrico de la generación que aportan a lo largo de todo el día electricidad, siendo la base del sistema, son las plantas con los costos operativos variables más bajos.

** Generadores de carga intermedia: plantas del sector eléctrico de la generación que funcionan secuencialmente a los generadores de carga base y que ayudan a controlar el flujo eléctrico del sistema.

*** Generadores de alta demanda: plantas del sector eléctrico de la generación que funcionan solamente en donde la demanda de electricidad es alta y requieren apoyo para ser cubiertas, son las plantas con los costos operativos variables más altos.

Fuente: Elaborado con datos de (EIA, 2012).

El **Esquema 1** representa las unidades generadoras de electricidad, las cuales se pueden jerarquizar en torno a su orden de despacho a lo largo del día, estas categorías son generadores de carga base, generadores de carga intermedia y los generadores de alta demanda; los generadores de carga base que aparecen en la parte izquierda del **Esquema 1**, son los de los costos operativos variables más bajos, estos operan las 24 horas de día durante todo el año, los generadores por tecnología que pertenecen a esta categoría son la energía nuclear, las hidroeléctricas y las renovables como la geotérmica, solar y eólica; la energía nuclear es la única, de previamente mencionadas, que funciona al 100 % como energía base; debido a que no sufre de intermitencia o de otros factores más allá de los errores humanos que afectan la producción, teniendo siempre un máximo rendimiento eléctrico a bajo costo, invirtiendo en su mayoría el presupuesto sobrante en los protocolos y tecnologías que aprovechan los elementos radiactivos; si bien las plantas eólicas, geotérmicas y solares tienen costos operativos variables bajos, su disponibilidad está limitada por la intermitencia del recurso natural, si un día en una planta solar cuenta con presencia de nubes en la atmósfera el rendimiento de los paneles no será el óptimo para cubrir la demanda, lo mismo ocurre si no se cuenta con la presencia de vientos de altas velocidades que muevan las turbinas eólicas o si no se cuenta con la suficiente cantidad de agua para generar vapor en las turbinas de una geotérmica; respecto a la energía hidroeléctrica, aunque tienen costos operativos variables bajos, sus patrones de despacho están delimitados por muchos otros factores, por ejemplo, los niveles de reserva de agua disponibles o la cantidad de lluvias en la temporada, aunque tienden a tener una mayor participación que las renovables ya mencionadas pues es la energía renovable con mayor inclusión a nivel mundial por la amplia construcción de presas y por ser la primera en ser aprovechada a gran escala (EIA, 2012).

En varios sistemas de distribución regionales a lo largo de los Estados Unidos, la energía eléctrica renovable se despacha como de tipo base y en otros como intermedio; esto depende enteramente de las condiciones geográficas y climáticas de cada área del país, por ejemplo en las zonas costeras del pacífico las aportaciones de la energía eólica es mayor, como lo es lo aportado en el norte del país por la solar; mientras que en zonas centrales la energía solar pierde fuerza de participación por la baja cantidad de radiación fotovoltaica o por la presencia del corredor de tornados que hace económicamente inviable colocar turbinas eólicas (EIA, 2012).

En la parte central del **Esquema 1** se encuentran las unidades generadoras intermedias, las cuales operan de manera fluctuante entre cuando la demanda eléctrica supera a las de carga base y apoyando a la generación en los picos de demanda; suelen ser las fuentes energéticas con la mayor eficiencia y por ende su capacidad para generar electricidad es superior, siendo sus desventajas los costos extra de la compra de materia prima y su capacidad de generar contaminación, ejemplos de este tipo de unidades son los ciclos combinados de gas natural o los ciclos de combustión de carbono (EIA, 2012).

Las unidades de alta demanda son los generadores los cuales tienen los costos operativos variables más elevados, que funcionan solo cuando la demanda eléctrica está en sus puntos más altos, comúnmente ocurre por las noches o en los días de invierno donde las temperaturas son bajas y aumenta el consumo de electricidad por el uso de calefacción, en el **Esquema 1** se encuentran en la parte derecha; en esta categoría de unidades de generación eléctrica se agrupan los productores de electricidad alimentados con petróleo y algunos de sus refinados, los cuales debido a que tienen un costo más elevado de obtención y presentan altas cantidades de emisiones de CO₂, como el carbón y el gas natural, se utilizan con menor frecuencia en el sector de la energía eléctrica, destinándose solo a casos de urgencia eléctrica, pues el petróleo al ser un recurso fósil tiene un poder energético considerable, pero un costo elevado de compra (EIA, 2012) y (RealClearEnergy, 2012).

Las energías fósiles a diferencia de las renovables que no tienen altos costos variables de producción, por no tener que comprar combustibles o materia prima para generar electricidad, las energías fósiles a ser alimentadas por combustibles como el petróleo, refinados, gas natural o carbón establecen sus costos operativos variables en función de los precios de estos combustibles y la eficiencia de la conversión energética durante la combustión de la materia prima por parte de la tecnología de la planta, estos factores ubican a unidades generadoras como las de gas natural y petróleo dentro del sector eléctrico intermedio (EIA, 2012).

Las unidades de generación eléctrica de gas natural y carbón representan la mayoría de la carga intermedia eléctrica de los Estados Unidos por su alto rendimiento energético, la cual a su vez es de vital importancia como el respaldo que representan para las intermitentes energías renovables; anterior a la participación de las energías renovables en la matriz eléctrica de generación eléctrica de los Estados Unidos, las plantas de carbón habían operado como las

unidades de carga base a intermedia a lo largo de todo el país, mientras que las unidades que funcionan con gas natural en varios sectores eléctricos regionales satisfacían solo las necesidades de carga intermedia, esto en función del bajo costo de la extracción de carbón en comparación con las extracciones convencionales de gas natural o las tecnologías renovables en desarrollo.

No obstante, a partir de la década de 1990 Estados Unidos experimentó por un lado el cada vez mayor aprovechamiento de la energía de los recursos renovables y lo más importante el boom del Fracking, lo que ocasionó que los precios de la extracción del gas natural disminuyeron con el descubrimiento de los yacimientos no convencionales, creciendo a su vez la eficiencia de las plantas de gas natural de ciclo combinado comenzó poco a poco a desplazar al carbón como el nuevo generador eléctrico de carga base fósil y colocando este último como un generador de carga intermedia (EIA, 2021).

En los casos de Estados Unidos y Alemania sin bien los costos operativos variables son el principal impulsor del orden en el despacho que determinan los operadores del sistema para asegurar el correcto y justo abastecimiento eléctrico para toda el área a su cargo, otros factores pueden influir en las desviaciones de la curva de despacho, ejemplo de esto puede ser desde la velocidad en la que se inician las operaciones de una planta generadora de energía eléctrica, hasta la tasa de rampa que implica la capacidad que tiene una planta de generación eléctrica de convertir el combustible en electricidad de una manera eficiente y con la menor pérdida de combustible (EIA, 2012).

El que utilice este modelo de costos operativos variables para definir el despacho eléctrico en Estados Unidos y en Alemania, es debido a que por un lado asegura la seguridad física del sistema de transmisión, porque no permite la sobre generación de energía de fuentes energéticas costosas, funcionando en torno a lo que marca la demanda estimada, la cual es fijada por los operadores de la red; el modelo permite también que las tarifas cobradas a usuarios finales sean más bajas, debido a que se le da predilección a las energías de bajo costo variables en el despacho a lo largo del día, exceptuando las épocas con alta demanda eléctrica como invierno y verano; por otro lado un problema clave de este sistema de despacho es que las energías tomadas como base no pueden cubrir la demanda eléctrica por lo cual se debe requerir constantemente a fuentes de tipo fósil como el gas natural no que no alienta en realidad una verdadera participación de las

renovables si no aumenta a la dependencia a recursos claramente contaminantes (RealClearEnergy, 2012).

1.1.3. Despacho eléctrico de Canadá

En Canadá como en el resto del mundo la electricidad se suministra a todos los consumidores finales a través del sistema de transmisión, conectando las plantas generadoras de todos los tipos de tecnologías con pequeños y grandes consumidores; para que el sistema eléctrico en su totalidad mantengan una integridad estructural es necesario mantener el equilibrio contante entre la oferta y la demanda, esto se logra contando con algún tipo de mecanismo de despacho de electricidad que coordine y garantice que la producción de los generadores es equitativa al volumen que los consumidores finales demandan (Organización Mundial de Comercio, 2013).

El sistema de transmisión de electricidad de Canadá se encuentra dividido en 3 grandes regiones que abarcan la zona occidental, oriental y la red de la provincia de Quebec; el sistema de transmisión se encuentra configurado de tal manera que la electricidad fluya de norte a sur, esto con el principal objetivo de permitir la venta de electricidad de las zonas de generación eléctrica hacia los Estados Unidos, ya que el sistema de transmisión ambos países se encuentran conectados, esta conexión permite Canadá ser un importante proveedor de electricidad para los Estados del norte de Estados Unidos, existiendo cerca de 35 interconexiones de transporte eléctrico entre los sistemas; todos los participantes del sector son de carácter privado y son regulados por el gobierno el país, teniendo también autoridad sobre ciertos aspectos del sector de generación nuclear y exportaciones de electricidad, todo a través del Regulador de Energía de Canadá (Generator Source, 2021).

Los reguladores de electricidad más importantes de Canadá son lo que se enumeran a continuación:

- Regulador de Energía de Canadá (CER, por sus siglas en inglés): esta agencia federal tiene jurisdicción sobre las exportaciones de electricidad, regulación de la transmisión interprovincial de electricidad y la regulación del sector nuclear.
- Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC, por sus siglas en inglés). Esta agencia federal regula la seguridad en las plantas de energía nuclear y las instalaciones de investigación; el CNSC, es dependiente de la CER.

- Junta de Energía de Ontario (OEB, por sus siglas en inglés) este regulador provincial de Ontario es el encargado de controlar el sector eléctrico de la provincia más grande del país, esto va desde generadores, transmisores, distribuidores, mayoristas y minoristas, también regula activamente la distribución y venta minorista de gas natural.
- Comisión de Servicios Públicos de Alberta (AUC). Esta comisión se encarga de regular el mercado de la generación eléctrica de la segunda provincia más grande del país, además de como su contraparte de Ontario regula la distribución y venta minorista de gas natural (Christian, Shipley, & Lundell, 2020).

Debido a que la electricidad de los grandes productores eléctricos aún no se puede almacenar en grandes cantidades y que la demanda de electricidad de un día a otro puede fluctuar en demasía, en Canadá al igual que en Estados Unidos y Alemania el despacho de la electricidad se hace por medio de la una orden de mérito que toma en cuenta los costos variables de operación como principal jerarquía para decidir quién despacha su electricidad primero, utilizando una combinación de tecnologías para poder satisfacer la demanda, cada una de diferentes estructuras de costos y necesidades operacionales; agrupando a las tecnologías generadoras de electricidad en 3 grandes grupos: carga básica, carga intermedia y carga máxima (Organización Mundial de Comercio, 2013).

La carga básica representa en parte a todos los suministradores eléctricos que se espera que puedan funcionar tanto en los periodos de baja como de alta demanda, aquí se agrupan los generadores como las centrales hidroeléctricas y las nucleares, pero a diferencia de Estados Unidos y Alemania se puede considerar a algunas tecnologías del carbón como carga base, debido a que en algunas zonas de país se encuentran importantes yacimientos, lo que vuelve económicamente viable su uso a lo largo del día.

La producción de carga intermedia es la que se encarga de poder suministrar la electricidad en el periodo entre la demanda más baja y la más alta, utilizándose por lo general a los generadores de gas natural; y al final se encontrarían los generadores de carga máxima los que se utilizan solo cuando la demanda alcanza sus picos máximos, como los ciclos combinados de gas natural y petróleo, a estas últimas tecnologías se les considera como las que tienen la mayor capacidad de despacho, superior a los generadores de las categorías anteriores, siendo los costos más elevados

los que limitan su uso como intermedios o básicos; en lo que respecta a las tecnologías que se consideran renovables como la solar fotovoltaica y la eólica su producción de electricidad se consideraría como carga básica, debido a que cuenta con costos operativos bajos, pero tiene una capacidad de despacho baja debido a su producción intermitente (Organización Mundial de Comercio, 2013).

Si bien la electricidad que se genera en el país se distribuye a través de las 3 redes de transmisión y su despacho es en entorno a una orden de mérito, la generación de la electricidad es responsabilidad entera de los generadores que se encuentran dentro de cada provincia, esto significa que por ejemplo los generadores que se ubican en la provincia de Nunavut, serán los únicos responsables de cubrir la demanda de electricidad de la provincia, esto genera que cada provincia del país represente casos únicos en entorno al despacho eléctrico, pues en algunas áreas predomina el uso de los recursos naturales fósiles y en otros lo es las hidroeléctricas (Generator Source, 2021).

La **Tabla 1** , contiene las empresas que tienen los mayores porcentajes de participación en la generación eléctrica por provincia y las principales tecnologías de captación utilizadas; esto con el fin de poder entender que el despacho eléctrico canadiense a nivel provincial es extremadamente variado, dependiendo en gran medida de los recursos disponibles en cada una de las delimitaciones geográficas, y que a pesar de tener una clara jerarquía de despacho en la orden de mérito esta se modifica en gran medida cuando se observa que en provincias como Alberta el dominio de la generación se encuentra en los recursos fósiles por ser los más abundantes y por tener capacidad de despacho mucho mayor, mientras que en provincias como Manitoba u Ontario, existe una predominancia de las energías renovables como las hidroeléctricas o la eólica tanto por la presencia de importantes ríos y afluentes con gran poder de corriente y recursos naturales no estáticos como las corrientes de viento o la energía fotovoltaica del sol (Generator Source, 2021).

Tabla 1 . Generación eléctrica en Canadá por provincia

Provincia	Empresas Generadoras de Electricidad con mayor participación	Tecnología de Generación eléctrica predominante
------------------	---	--

Alberta	TransAlta, ENMAX y Capital Power Corporation	Recursos fósiles (Carbón y Gas Natural)
Columbia Británica	BC Hydro	Hidroeléctricas en ríos Columbia y Kootenay
Manitoba	Manitoba Hydro	Hidroeléctricas en ríos Nelson, Saskatchewan, Laurie y Winnipeg
New Brunswick	Varias empresas	Recursos fósiles, Nucleares e Hidroeléctricas
Terranova y Labrador	Terranova y Labrador Hydro	Hidroeléctricas y Fósiles
Nueva Escocia	Varias empresas	Recursos fósiles (gas natural, petróleo y carbón)
Ontario	Varias empresas	Nuclear, Hidroeléctrica, Gas natural, Eólica, Solar y de Biomasa
Isla del Príncipe Eduardo	Caso especial, importa la electricidad	Tiene respaldos de Petróleo en caso de emergencias
Quebec	Hydro-Quebec	Hidroeléctricas
Saskatchewan	SaskPower	Carbón
Yukon	Yukon Energy Corporation	Hidroeléctricas, eólicas y Petróleo
Territorios del Noroeste	Varias Empresas	Petróleo
Nunavut	Quilag Energy Corporation	Petróleo

Fuente: Elaboración propia con datos de (Generator Source, 2021).

A pesar de la importancia que aún tiene la generación fósil y nuclear sobre el mercado de generación eléctrica de Canadá por su alta capacidad de despacho, en su conjunto mayor el mercado del despacho eléctrico está dominado por los generadores hidroeléctricos, gracias a la abundancia de ríos y caudales de alta potencia a lo largo del país, además de que el país cuenta con la infraestructura tecnológica para la generación de presas hidroeléctricas.

1.1.4 Despacho eléctrico en España

En España como en la mayoría de los países desarrollados, el sector de la electricidad ha experimentado una liberalización en cuanto a quien puede participar en todas las etapas del proceso eléctrico, sobre todo en el sector de la generación y la transmisión, todo con la búsqueda de generar una mayor competencia y la reducción de los costos finales a los usuarios; este proceso comenzó en la década de los 90 con la promulgación de la ley del sector eléctrico de 1997 y su reformulación en el año 2013; la reestructuración consiste en que el sector eléctrico en su totalidad pasó de una estructura vertical en donde todas las actividades funcionaban dentro de un solo bloque controlado por el Estado a una estructura en donde las etapas de generación, transmisión, distribución y comercialización, funcionan ahora de manera independiente; siendo la comercialización y la generación aperturadas al sector privado, funcionando en torno a una estructura de competencia de mercado, mientras que la transmisión y la distribución se mantiene como actividades reguladas exclusivamente por el gobierno (Total Energies, 2018).

La generación y el despacho de la electricidad en España desde 1998 han experimentado un profundo cambio en cómo se estructuran física y económicamente; ya que ninguno de los generadores tendrá asegurado su despacho de electricidad, sino que más bien deben competir diariamente en el mercado de generación de energía eléctrica para intentar que se compren sus ofertas de generación de electricidad proyectadas a un día, si estas no llegan a conseguir que su electricidad proyectada a un día se compre, no podrán despachar en el sistema; este proceso es así debido a que se espera poder lograr que el sistema eléctrico funcione de forma segura, abra la participación en el sector y sobre todo que el sistema no presente interrupción (Fernández, 2021).

El despacho eléctrico en España es una decisión que responde tanto a criterios técnicos dictados por los operadores de la red y criterios económicos operados por el mercado eléctrico de oferta y demanda; estas variables componen el mercado de generación de energía eléctrica, el cual

es controlado por el Operador del Mercado Ibérico de la Electricidad (OMIE), el mercado de producción de energía eléctrica se estructura con base en sesiones diarias, seis interdiarias y un intradiario continuo, en donde se negocia la mayor parte de la energía eléctrica que se despacha en el sistema y se terminan ajustando algunas cantidades de electricidad programadas una vez ya fijado el mercado diario; los generadores eléctricos de todas las tecnologías hablese hidráulica, petróleo, nuclear, gas natural, renovables presentan a diario sus ofertas de venta de electricidad para cada una de las horas del día que sigue, y a su vez las comercializadoras y grandes consumidores como las industrias, presentan sus demandas de compra, estas representan a la electricidad que prevén consumir en el día siguiente. De forma horaria para el día siguiente el OMIE ordena las ofertas de generación eléctrica de menor a mayor según el precio de venta (oferta) y de mayor a menor según el precio de compra (demanda). Es decir, el mercado eléctrico español es un mercado de precios marginales, por lo que independientemente del precio al que el generador haya ofertado su electricidad este recibirá el precio del último productor que haya entrado en el mercado (Fernández, 2021) y (Total Energies, 2018), cuyos costos variables de operación son los más altos.

Es en este punto que de manera muy similar a como ocurre en Estados Unidos a través de la orden de mérito, el despacho eléctrico de España se tiende a ordenar poniendo en primera línea de despacho a los generadores eléctricos que tienen los costos variables operativos más bajos, siendo los que los comercializadores y grandes consumidores prefieren adquirir, como lo es la energía nuclear, las renovables y las hidroeléctricas; dejando a los generadores basados en recursos naturales fósiles como el gas natural y el carbón en segunda línea y los derivados del petróleo al final (Fernández, 2021). A continuación, se presenta una descripción a profundidad de las tecnologías de generación y por qué ocupan determinados espacios en el despacho:

- Las centrales de generación renovable fotovoltaicas, hidroeléctricas, biomasa y eólicas, tienen costos variables de operación que se podrían considerar como bajos o negativos, lo que hace que los demandantes de electricidad las prefieran para intentar cubrir la mayor parte de su demanda, aunque en la realidad es complicado por su fluctuante capacidad de generación eléctrica debido a su intermitencia; las plantas de generación renovables a pesar de tener los costes de inversión más altos de todas las tecnologías generadoras de

electricidad, una vez que estas están en funcionamiento, los costos variables de operación al ser tan bajos compensan las inversiones iniciales.

- Las centrales nucleares, tienen costos variables de operación que también se podrían considerar como relativamente bajos e inclusive teniendo el caso particular de que si estas centrales no generan electricidad, esto genera costes económicos negativos relacionados con la contención de los minerales radiactivos, por lo cual las centrales nucleares requieren en la mayoría de los casos funcionar todo el tiempo para aprovechar la energía de los minerales; gracias a esta capacidad de funcionar las 24 horas sin intermitencia estas centrales tienden a ser también las preferidas por los demandantes de electricidad, pues los generadores nucleares para asegurarse de que su electricidad se venda lo hacen a veces a precios muy bajos que pueden llegar al 0, todo gracias a sus bajos costos variables de operación.
- Las centrales eléctricas de combustión de recursos naturales fósiles como el carbón, gas natural y petróleo tienen costes variables de operación que se consideran altos, principalmente porque el precio de la materia prima que mueven las turbinas y centrales es considerablemente alto, varía en todo momento y por la necesidad de extraerlos de la corteza terrestre por parte de la industria de la minería de hidrocarburos. A esto también se le suma los costes económicos y morales por las emisiones de CO₂ que se generan durante la combustión de los hidrocarburos, estas variables colocan a estas centrales hasta el final del despacho eléctrico; dentro de este tipo de centrales el principal tipo de hidrocarburos seleccionado durante los procesos de compra es el gas natural, tanto por el costo de la materia prima que es menor al del carbón y el petróleo y por qué el rendimiento energético es alto.

Otro factor que da un carácter de preferido al gas natural en el despacho eléctrico sobre sus otras contrapartes fósiles es que la estrategia de transición energética canadiense como otros países del mundo se basa en la reducción de las emisiones de CO₂ y el gas natural durante la combustión emite menos gases de efecto invernadero a diferencia del petróleo y el carbón (Fernández, 2021).

Para entender mejor de qué manera se estructura el despacho eléctrico en España y como afecta éste al precio de la electricidad que se les paga a los generadores, a continuación, se

presentan las siguientes tablas, que en conjunto representan un ejemplo hipotético de 4 horas de un día de despacho eléctrico en España. La **Tabla 2**, contiene los precios hipotéticos en euros ofertados por cada uno de los generadores tecnológicos de electricidad para cada hora del día y que los demandantes de electricidad adquieren siempre en orden de despachar del ofertante más barato al más caro.

Tabla 2. Precios de la electricidad ofertada por los generadores en España* (ejemplo hipotético)

Tecnología	Precio por la electricidad ofertada por los generadores (euros/MWH)
1-Nuclear	1
2-Solar	2
3-Eólica	2
4-Hidro	30
5-Gas	45
6-Carbón	55

* Dependiendo del nivel de demanda eléctrica existente en España en cada hora y el orden de entrada de la electricidad generada con estas fuentes, son estos precios los que fijan el precio al que se paga a los generadores finalmente por su electricidad.

Fuente: Elaborado con datos de (Fernández, 2021).

La **Tabla 2** sirve para entender la **Tabla 3**, presentada a continuación. Esta última, contiene 4 horas hipotéticas de un día en España, en las cuales las ofertas de electricidad ya fueron compradas por los demandantes eléctricos, y que, se ordenan por precio ascendente y acomodándose en relación con la demanda por hora con intención de cubrirla; en color verde claro se encuentra la oferta de electricidad despachada en cada hora del día y que tiene como objetivo cubrir la demanda de electricidad de los demandantes que se encuentra en color morado; en cada una de las horas el precio de la electricidad que se les paga a todos los generadores despachados es el que fija la última central en entrar en el despacho en la hora, las cuales se marcan en color gris y se pueden apreciar a profundidad en la **Tabla 2**.

Tabla 3. Despacho eléctrico en España y fijación del precio (ejemplo hipotético)

Horas			1	2	3	4
Demanda eléctrica de los demandantes (GWh)			15	35	55	90
Orden de despacho (1 al 6)	Ofertas de electricidad ya compradas (GW)	1-Nuclear	10	10	10	10
		2-Solar	1	8	4	0
		3-Eólica	4	10	6	5
		4-Hidro	x	7	5	5
		5-Gas	x	X	30	30
		6-Carbón	x	X	x	40
Precio de la electricidad pagado a los generadores (euros/MWH) *			2	30	45	55

* Este precio que se paga a las empresas generadoras de electricidad corresponde en cada hora a los generadores con los costos variables de operación más caros y que se pueden revisar en la tabla 3

Fuente: Elaborado con datos de (Fernández, 2021).

El despacho eléctrico en España se rige por el costo variable operativo que tiene la electricidad; es respecto de este parámetro que se lleva a cabo el despacho eléctrico, despachando primero a las energías más baratas y al final a las más caras, que se incorporan a la oferta eléctrica despachada debido al aumento de la demanda, también se ve que existen horas como la 1, en las que las energías renovables hacen que el precio de la electricidad llegue por debajo de los 5 euros/MWH, y en otros casos como en la hora 2, la energía hidroeléctrica establece el precio a pesar de ser la que menos GW aporta en ese periodo; en lo que respecta a las horas 3 y 4 al ser despachadas las tecnologías fósiles para cubrir el aumento en la demanda de electricidad, el precio establecido aumenta irremediablemente; una última situación importante por mencionar es que en la **Tabla 3** se puede apreciar la intermitencia de las energías renovables sobre todo en la solar y en la eólica, pues su aportación de GW es variable si se comparará con la nuclear o con las de tipo fósil que energéticamente aportan más y de manera estable.

1.1.5. Despacho eléctrico en China

China actualmente está realizando importantes reformas en todos los sectores de su sistema de energía eléctrica, por medio de la introducción de elementos de mercado en el sistema de

generación y despacho eléctrico; que se controla actualmente por medio de planificaciones provinciales anuales, que permite la participación del sector privado de generación en estos proyectos en igualdad de condiciones; el gobierno pretende con estos cambios tener un sistema eléctrico más eficiente energéticamente y cada vez menos contaminante por medio de la incorporación de energías renovables. Para poder analizar cómo se realiza el despacho eléctrico en China es de vital importancia entender que las instituciones públicas quienes por medio de sus planificaciones son las que regulan el despacho eléctrico y directamente dictaminan qué se hace y cómo se realiza.

A diferencia del despacho eléctrico que se realiza en los Estados Unidos, Canadá y Alemania, el cual se basa en las decisiones relacionadas con la necesidad de suministro eléctrico de los operadores del sistema de transmisión eléctrica que tomando la demanda eléctrica a corto y largo plazo, determinan el acceso al despacho en la red a los generadores eléctricos en torno a sus costos variables de operación; en China el despacho eléctrico es resultado de la toma de decisiones provinciales, ya que el país actualmente no tiene un mercado de transmisión que pueda tomar estas decisiones, a pesar de que ya hace más de una década se comenzó a reestructurar su sector eléctrico para abrir la toma de decisiones, sin embargo el compromiso, envío y determinación de que quien despacha la electricidad están guiados por instrucciones de las agencias de planificación eléctrica y económica de los gobiernos de cada provincia (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

Al final de cada año los gobiernos provinciales hacen un diagnóstico/pronóstico de la demanda total de electricidad necesaria para el próximo año en toda la provincia con base en lo experimentado ese año, el cual lleva por nombre *Asignación administrativa de cuotas anuales de generación*, en el cual se asigna la demanda eléctrica requerida para el próximo año a los generadores de todos los tipos de energía que operan en la provincia y a los que operan en el área, pero requieren traer energía de otras zonas; algunos de los parámetros extras para asignar la demanda eléctrica en cada área pueden variar, pues cada provincia tiene características de generación únicas, pero por lo general las que más se toman en cuenta son las tecnologías disponibles en la región, el tiempo que requieren para su puesta en marcha y la cantidad de recursos naturales fósiles o renovables disponibles.

Esta asignación de horas se rige como el despacho eléctrico bajo un principio de “despacho de horas justo”, en el que los generadores eléctricos de una clase determinada, por ejemplo, las

centrales eléctricas de gas natural de ciclo combinado, se les asignan las mismas horas anuales de operación; la regla del despacho justo se estableció en la década de 1980, cuando se eliminó el monopolio estatal de generación eléctrica y se permitió la inversión privada en el sector; la intención es garantizar la oportunidad equitativa de recuperación de costos para todos los inversores de cada tipo de tecnología de generación ya sea fósil, nuclear o renovable; eliminando la sobregeneración de energía eléctrica y los costos negativos asociados a desperdiciar electricidad; el ingreso que reciben los generadores eléctricos por su despacho difieren según la tecnología de generación, pero siempre toma en cuenta el costo de la materia prima y su mano de obra. El orden de despacho eléctrico de todas estas horas asignadas a cada tipo de generador lo definen las empresas que componen el sistema de transmisión (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017) y (Ding & Yang, 2013).

Una vez terminada la elaboración de la *Asignación administrativa de cuotas anuales de generación*, por parte de los gobiernos provinciales, esta se les entrega a las empresas de la red eléctrica de transmisión, las cuales tienen la obligación de crear programas llamados de *Compromiso de unidades trimestrales, mensuales y diarios*, que son el eje rector del despacho eléctrico en el sistema, acomodando a los generadores que ya se les asignaron horas de funcionamiento para todo el año en un orden que satisfaga lo mejor posible la demanda de electricidad diaria, no siempre implicando que se tengan energías de base, intermedias y de alta demanda como los casos de Alemania o Estados Unidos, estas decisiones son estrictamente responsabilidad de las empresas de transmisión y los recursos que dispongan en sus provincias. Las compañías de redes de transmisión deben tener un especial cuidado en el diseño de estos programas de *Compromiso de unidades* para que los generadores a lo largo del año puedan cuidar los parámetros de generación asignados y no se sobre genere o falte electricidad para cubrir la demanda (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

En cuanto al despacho en tiempo real, los operadores del sistema de transmisión despachan electricidad de los generadores de acuerdo con lo estipulado en su programa, pero este no es una verdad absoluta en relación con la demanda que puede ser necesaria a lo largo del día, el programa es un complejo análisis estadístico que pretende marcar las probabilidades más altas de la demanda para ese día, pero esta puede cambiar abruptamente con lo observado en el año anterior si ocurren sucesos extraordinarios que la modifican, como lo pueden ser grandes tormentas de nieve u olas

de calor, por lo cual los operadores de la red deben adaptarse a estos cambios, ajustando el orden en que se despachan los generadores para cubrir la electricidad faltante, sin alterar las horas de generación asignadas, siendo este un trabajo complejo que requiere un amplio conocimiento tanto de la red de transmisión como de cada uno de los generadores de la provincia (Kahrl, Dupuy, & Wang, Issues in China Power Sector Reform: Generation Dispatch. Discussion paper, 2016).

Las reglas y normas que rigen el despacho han evolucionado a lo largo del tiempo junto con la reforma del sector eléctrico de China¹ en las últimas dos décadas; dado que el despacho de generación eléctrica funciona enteramente de acuerdo con la oferta y la demanda, mismas que con el desarrollo económico e industrial del país aumenta cada vez más rápido; se podría llegar a pensar que el despacho eléctrico de China a pesar de asignar las horas de operación a los generadores por medio de estas planeaciones anuales provinciales, en el momento del despacho eléctrico, los operadores de la red de transmisión acomodarían las horas asignadas con base en los costos variables de generación, delimitándolos de menor a mayor para determinar quién entra primero al sistema eléctrico, como en los casos de Estados Unidos, España, Canadá o Alemania; esto en China no sucede así, ya que los criterios para establecer el orden de despacho y satisfacer a su vez la demanda eléctrica en cada provincia no se rigen por el modelo convencionalmente establecido como estándar de tomar los costos variables de operación como eje rector del despacho; sino que más bien en China el despacho está asociado a aspectos como la cantidad de unidades de generación por provincia, la velocidad de puesta en marcha de los generadores y la disponibilidad de los recursos naturales fósiles, renovables y nucleares de la región (Kahrl & Wang, 2014).

El hecho de que China estructure su despacho y transmisión eléctrica con base en un modelo totalmente diferente a lo establecido en occidente con sus modelos de despacho marginalistas y de costos variables de producción, permite entender que a pesar de que el modelo aplicado en Estados Unidos, Canadá o España sea el dominante a nivel mundial; esto no significa que sea la única alternativa y mucho menos que sea una obligación aplicar dicho modelo a contextos en los cuales no se adapta con facilidad o que puede causar más problemas por la propia estructuración de cada sistema eléctrico nacional; ejemplo de esto es México, que actualmente busca aplicar reformas estructurales a su sistema eléctrico, por lo cual ha recibido importantes críticas por querer optar

¹ El proceso de despacho de generación de China es parte de la economía política general del sector eléctrico del país, la comprensión de este proceso proporciona información sobre la naturaleza de la reforma del sector energético de China, sus objetivos a mediano y largo plazo y el enfoque incremental adoptado para implementar la reforma.

por una opción distinta al típico modelo marginalista que se aplica en las grandes potencias, a pesar de que el abanico de opciones para escoger un modelo de despacho eléctrico es amplio y de ninguna manera debería ser obligatorio que un país replique el modelo dominante si este no representa la mejor opción para su sistema eléctrico.

La forma en que cada red de transmisión provincial despacha su electricidad es enteramente responsabilidad de sus autoridades a cargo y depende en gran medida de lo disponible; por lo que es de esperarse que las diferentes provincias a lo largo del país despachen los generadores de manera diferente (Kahrl & Wang, 2014). Por lo que, por ejemplo, en las provincias del Este de China como Shandong, Jiangxi o Fujian dentro de la configuración de su despacho eléctrico, tendrán una mayor participación de la generación eléctrica proveniente del carbón, por contar con la mayoría de las extracciones del país del mencionado recursos natural, desplazando a las renovables que si bien tienen costos operativos más bajos, cuentan una menor inmersión tecnológica en el área; otro ejemplo son las provincias del norte y Oeste como Mongolia Interior, Qinghai o Tíbet, que tendrían una mayor participación de la energía solar en el despacho por su potencial fotovoltaico natural alto y por contar con una amplia cantidad de unidades de generación; o las regiones del sur como Guangxi, Cantón o Hainan, tendrían una considerable participación de la energía nuclear por contar con unidades nucleares. En algunas regiones del país se podría dar el caso de que se le den más horas de generación a productores baratos como las renovables y se deje en segundo plano al uso de carbón y gas natural, simulando tender un despacho con base en costos variables de operación, pero en realidad este orden respondería siempre a poder acomodar las horas asignadas de los generadores y cubrir la demanda ;esta gran variedad de despachos es difícil de ser contabilizada por la gran heterogeneidad de un país tan grande y diverso como China (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017) y (Kahrl & Wang, 2014).

Para comprender cómo se compone el sistema eléctrico de China y en especial el sistema de transmisión principal responsable del despacho, es vital entender que el despacho eléctrico es un término técnico que se refiere enteramente a cómo los operadores del sistema de transmisión deciden utilizar las unidades de generación eléctrica; en China el sistema de transmisión son los centros de comunicaciones y despacho de energía dentro de las compañías del sector, que se pueden dividir en 5 sectores diferentes dependiendo de su área geográfica de operación: nacional, regional, provincial, prefectural y de condado; los sistemas de cada nivel de esta jerarquía tienen

competencias y funciones distintas, a continuación se presenta la que tiene como objetivo proporcionar una descripción general de la jerarquía y sus funciones en torno al despacho eléctrico; mientras más abajo se encuentren en la tabla deberán seguir las instrucciones de los de un nivel superior; siendo la única excepción el Centro de Despacho de China del sureste, cuya operación es independiente de la compañía nacional de transmisión la State Grid Corporation of China (SGCC, por sus siglas en inglés), esto ocurre porque el Centro de Despacho de China del sureste, cubre muchas de las provincias más grandes del país Guangdong, Guangxi, Yunnan, Guizhou y Hainan² (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

Tabla 1. Estructura del sistema de transmisión de China y su relación con el despacho eléctrico a nivel provincial.

Nivel	Operario	Jurisdicción		Principales funciones
		Geográfica	Generadores	
Nacional	State Grid Corporation of China (SGCC)	Nivel nacional, regional, provincial, prefectura y condado	Generadores térmicos e hidroeléctricos	Apoyo y supervisión en la creación de los <i>Compromisos de unidades trimestrales, mensuales y diarios</i> ; además de la supervisión y el apoyo del despacho a tiempo real.
Regional	Compañías de transmisión regionales	Nivel regional, provincial, prefectura y condado	Hidroeléctricos	Apoyo en la creación de los <i>Compromisos de unidades trimestrales, mensuales y diarios</i> ; además del apoyo del despacho a tiempo real.
Provincial	Compañías de	Nivel provincial,	Todos los generadores fósiles,	Planificación y control de la generación eléctrica y el despacho, por medio de la

² Con la excepción de las provincias que controla China Southern Power Grid Company, todas las compañías de redes regionales y provinciales son subsidiarias de SGCC; las empresas de suministro de energía de las prefecturas y los condados son en su mayoría filiales de las correspondientes empresas de redes provinciales, con algunas excepciones de propiedad mixta público-privada.

	transmisión provinciales	prefectura y condado	renovables, nucleares no controlados a nivel regional o nacional	recepción de la <i>Asignación administrativa de cuotas anuales de generación</i> elaborada por la autoridad energética provincial y la creación del documento llamado <i>Compromiso de unidades trimestrales, mensuales y diarios</i> que rige el despacho.
Prefectura	x	Nivel prefectura	Pequeños generadores	Supervisión de la generación eléctrica prefectura
Condado	x	Nivel condado	Pequeños generadores	Supervisión de la generación eléctrica condado

Fuente: Elaborado con datos de (Kahrl, Dupuy, & Wang, Issues in China Power Sector Reform: Generation Dispatch. Discussion paper, 2016) y (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

Dado que las empresas de transmisión eléctrica son las entidades que marcan el orden de los generadores en el despacho, se podría llegar a pensar que estas mismas empresas están a cargo de decidir las tasas de utilización anual de los generadores eléctricos, siendo que este último como ya se ha explicado es responsabilidad de las autoridades eléctricas provinciales a través de la *Asignación administrativa de cuotas anuales de generación*; la confusión ocurre porque por un lado, las empresas de transmisión tienen la facultad de poder adquirir servicios auxiliares de generación para la red en tiempo real fuera de lo que estipula la *Asignación administrativa de cuotas anuales de generación*, todo con el objetivo de subsanar cuando la demanda ha sopesado lo estimado en *Compromiso de unidades trimestrales, mensuales y diarios*, sin embargo como estos servicios se realizan fuera asignación y son medidas de carácter temporal y no requieren compromisos de generación estables a futuro, no se requiere la firma de un contrato o la integración a la asignación de horas de generación (Kahrl & Wang, 2014) y (Kahrl, Dupuy, & Wang, 2016).

La *Asignación administrativa de cuotas anuales de generación* solo son pautas de cuánta electricidad deben generar cada tipo de unidad generadora eléctrica; son instrucciones que establecen objetivos estrictos de horas de generación anuales de cada tipo de tecnología, con la razón fundamental de establecer una distribución; los generadores de cada tipo de tecnología carbón, gas natural, eólicos, solares, hidroeléctricos, petróleo, nuclear, geotérmica, etc., se les asignan las mismas horas de producción como un intento de garantizar una oportunidad equitativa para la recuperación de sus costos asociados; en consecuencia las empresas de la red son responsables a través de los *Compromisos de unidades trimestrales, mensuales y diarios* de cubrir la demanda con la oferta de electricidad y ordenar el despacho justo (Zhao & Ma, 2013) y (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

Los enfoques para determinar los planes anuales de generación para cada tipo de unidad de generación tecnológica varían demasiado entre provincias e inclusive entre tecnologías con una fuente en común, como las fósiles, un ejemplo de esto es que a las centrales eléctricas de petróleo se les otorgan un número igual de horas base de generación, pero estas serán menores que las que se les otorgan a las centrales de carbón, porque la cantidad de petróleo disponible en el país es menor a lo que se puede encontrar de carbón, que se extrae en demasía en China, además de ser energéticamente más eficiente el carbón; otros factores que afectan el número de horas asignadas a cada tecnología es el equilibrio general de la oferta y la demanda, el exceso de capacidad de generación de una planta de gas natural puede conducir a una menor utilización de otros tipos de unidades, por lo que los programas deben equilibrar todos sus recursos disponibles para que todos puedan participar aunque sea en pequeños porcentajes; las horas asignadas también tienden a variar por la aplicación de la política nacional de energía renovable, que busca reducir dentro de las provincias la producción de las plantas de energía de carbón, con el fin de acomodar con mayores porcentajes de participación a las renovables, sin olvidar el papel fundamental que tiene el gas natural como un respaldo a las renovables que son intermitentes, ejemplo de este caso es que en cierto momento algunas provincias del norte del país fueron seleccionadas para experimentar con el despacho con enfoque renovable que adicionó a la planificación de generación anual, el calificar a cada planta de generación con base en carbón en orden de su eficiencia energética y su desempeño/impacto medioambiental (Woo, 2005) y (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

El despacho eléctrico de China a través de la nueva reforma eléctrica tiene el objetivo claro de poder abrir la toma de decisiones en el sector, por medio del aprovechamiento de los potenciales ambientales, económicos y sociales del país, tomando en cuenta que es un territorio extenso y que cada provincia representa casos únicos que deben abordarse desde enfoques muy particulares, el modelo ha ayudado a reducir en gran medida la sobreproducción de electricidad, la pérdida de recursos, el pago equitativo a cada participante por tipo de tecnología generadora y costos negativos asociados a lo anteriormente mencionado (Mun, Zhongmin, & Zichao, 2017).

1.2. Caracterización de los límites del despacho eléctrico basado en ER, dado el problema de su intermitencia de las plantas de reconfiguración tecnológica.

1.2.1. Caracterización de la intermitencia de las energías renovables y la condicionalidad no renovable de la electricidad generada con energías fósiles.

Tanto las tecnologías de generación eléctrica a través de energías renovables, fósiles y nucleares son dependientes de diferentes tipos de recursos naturales en general, pero la diferencia de cómo esta relación tecnología-fuente de energía genera o no intermitencia en el suministro de electricidad, radica en qué recurso es la fuente de emisión de energía. Por ejemplo, las fuentes nucleares al estar ligadas a recursos naturales minerales con altas tasas de emisiones de energía radiactiva como el uranio o el plutonio, pueden asegurar un suministro casi ilimitado de energía a la humanidad, debido a que las emisiones de energía en forma de partículas altamente cargadas tienden a durar durante cientos o miles de años y el ser humano puede aprovecharlas dentro de reactores nucleares que fuerzan la fisión de estas partículas para aprovechar la energía calorífica que se desprende generando finalmente electricidad. En este caso, no estamos frente a una generación eléctrica intermitente, debido a que las bajas de producción de electricidad están asociadas primero a una disponibilidad de la fuente de energía primaria continua, que, si bien no es infinita, tiende a emitir energía durante periodos largos de tiempo.

En el caso de la generación eléctrica con combustibles fósiles no es posible hablar actualmente de una intermitencia proveniente de los recursos naturales, debido a que las bajas de producción de electricidad en el sector fósil están ligadas primero a una disponibilidad de la fuente de energía que se puede subsanar en la actualidad buscando en la corteza terrestre más recursos y en segunda ligándose más a fallas tecnológicas y humanas que puede tener las plantas generadoras de estos tipos que bajan los niveles de producción momentáneamente, pero que se pueden evitar

en la mayoría de las veces por medio de avanzados protocolos de mantenimiento y previsión; no tratándose de procesos de intermitencia naturales como ocurren con las energías renovables, que puede limitar en cualquier momento la generación eléctrica y en pocas ocasiones se puede evitar (Fares, 2015).

De igual manera que el caso de las tecnologías nucleares, las fósiles, obtienen energía, de recursos naturales que actualmente solo deben ser extraídos de la corteza, radicando la diferencia principal con las nucleares en que los recursos como el carbón, petróleo y gas natural requieren una activación terminal adicional para poder aprovechar la energía contenida en su composición química, este proceso es la combustión; en el caso de los recursos fósiles no se podría hablar de una intermitencia como tal en la actualidad, sino que más bien podría hacerse referencia a que las bajas en la producción eléctrica estarían ligadas a la disponibilidad física de los recursos naturales fósiles, pues si las extracciones de carbón que se envían a la planta generadora son constantes así también lo será la electricidad producida, por lo que si estas extracciones bajan también lo hará la generación de electricidad; tratándose todo este proceso más bien de una falencia humana relacionada con la minería que al igual que las tecnologías nucleares se puede evitar o subsanar con la búsqueda y aprovechamiento de otros yacimientos (Hanania, Stenhouse, & Donev, 2020); aunque se debe dejar en claro que estos recursos no son infinitos y en un futuro su sobre aprovechamiento abrirá las puertas a empezar también a hablar de una intermitencia en ambos sectores cuando dentro de la corteza terrestre se empiezan a agotar los yacimientos de minerales e hidrocarburos convencionales y no convencionales, lo que reducirá la capacidad de generación eléctrica en el sector.

Es importante aclarar que, tanto las tecnologías generadoras de electricidad nucleares como fósiles si bien no sufren la intermitencia natural de su elemento generador, éstas si se ven afectadas por el efecto de la renovabilidad; los recursos renovables como su nombre lo indica, son los bienes que la naturaleza otorga y que tienen la capacidad de regenerarse constantemente, teniendo una capacidad de generación que se podría considerar de periodos de larga duración; situación que no ocurre con los recursos naturales fósiles y nucleares que son también bienes que la naturaleza otorga, pero estos están limitados por cantidades finitas; que si bien no son cantidades reducidas, estas en algún momento del futuro humano entrarán en un proceso de agotamiento (Hanania, Stenhouse, & Donev, 2020)

Sin embargo, la tecnología generadora de electricidad más vulnerable a la intermitencia natural de los recursos naturales son las catalogadas como renovables, por la dependencia que tienen de la energía que se desprende de diversas formas de los recursos naturales presentes en el entorno, como lo es la energía fotovoltaica que emite el sol, la velocidad del viento o la temperatura de la tierra; la intermitencia de los recursos naturales en la generación eléctrica se puede definir como todos los factores externos al recurso natural que emite energía, que no se pueden controlar totalmente por el ser humano y que afectan la producción constante de energía eléctrica, este proceso tiende a presentarse en recursos naturales que no se consideran estáticos como la energía del sol, viento, la tierra o el mar, mientras que los recursos naturales estáticos como los minerales radiactivos o hidrocarburos no la presentan pues su energía se libera por medio de la combustión; los recursos considerados no estáticos tienden a ser cambiantes y presentar patrones de desarrollo en el entorno variables y poco predecibles, con esto se hace referencia a que los recursos como las corrientes de viento un día podrían moverse a altas velocidades constantemente a lo largo del día, gracias a condiciones climáticas favorables de la atmósfera lo que generaría en campos de generación eólica, altas cantidades de electricidad, sin embargo, al día siguiente podría no presentarse en abundancia la velocidad del viento tanto porque el clima ha cambiado o las corrientes de viento principales se han desplazado a otras áreas, lo que reduciría la generación eléctrica; lo mismo ocurre con la energía del sol que es dependiente de las condiciones climáticas y atmosféricas o la energía que desprende la tierra que está en constante desarrollo de acuerdo a como se mueven las placas tectónicas (Fares, 2015).

Aunque actualmente algunos recursos naturales no estáticos como la energía solar y de las mareas tienen un porcentaje alto de predicción (duración de los días, patrones climáticos, ciclos de las mareas), siguen siendo consideradas como intermitentes, porque el periodo de tiempo en el que la electricidad se puede producir es limitado, debido a esta generación eléctrica variable. La principal dificultad asociada con la integración de fuentes variables de electricidad con las renovables dentro de los sistemas eléctricos a nivel mundial se debe al hecho de que estos mismos sistemas eléctricos se diseñaron en torno al concepto de generadores eléctricos grandes y controlables como los recursos naturales fósiles, por lo que el buscar que los sistemas eléctricos se adapten a las renovables requiere un doble esfuerzo tanto para mitigar la intermitencia con el almacenamiento eléctrico como el lograr un equilibrio entre la demanda y todos los generadores ofertantes (Fares, 2015).

1.2.2. La intermitencia de las energías renovables.

El desarrollo de las energías renovables puede ser una herramienta a través del despacho eléctrico, que contribuya a aliviar los problemas energéticos que tiene el mundo actualmente, además de poder proteger la salud de las personas, promover la sustentabilidad y cuidar el medioambiente; las energías renovables, excluyendo la hidráulica, representan cerca del 11.7 % de la generación eléctrica en el mundo y si se le suma el porcentaje de la energía hidroeléctrica este llegaría a 27.8% de la generación eléctrica mundial (BP, 2021), sin embargo, los combustibles fósiles aún continúan de manera dominante controlando el mercado de la generación eléctrica con el 61.3% (BP, 2021), esta diferencia puede deberse a que las energías renovables en su uso acarrearán una serie de problemáticas tecnológicas y físicas que limitan el que puedan estar produciendo electricidad de manera continua. En otras palabras, el predominio de la electricidad fósil sobre la renovables está asociado a su intermitencia, de manera que conforme el desarrollo tecnológico avanza es posible una mayor participación de las fuentes renovables en la matriz eléctrica global, como en la de países en particular.

El que las energías renovables produzcan electricidad con costos operativos bajos es debido a que los generadores no tienen que invertir en el insumo que mueve los aerogeneradores o ilumina los paneles solares, esta condición es ventajosa como ya se ha visto en países como Estados Unidos y Alemania que ordenan su despacho eléctrico en torno a integrar primero las unidades más económicas como una carga base; el problema comienza cuando estas energías al depender de recursos naturales renovables e intermitentes limita el despacho eléctrico en ciertos momentos del año, lo que ocasiona que los operadores de la red de transmisión tengan respaldos fósiles que indirectamente desplazan la producción renovable por su fluctuante capacidad de cubrir esa demanda, alejando cada vez más los objetivos de combate contra el cambio climático, la protección del medioambiente y la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero que buscan las políticas de inmersión de tecnologías renovables en la generación, transmisión y distribución (Kochtcheeva, 2016).

La intermitencia y falta de conocimiento para predecir con exactitud los patrones de la naturaleza son la principal desventaja que enfrentan las energías renovables en un mercado eléctrico que no es estático y está en constante cambio, actualmente las tecnológicas renovables

no presentan estabilidad en cuanto a su generación, siendo más bien procesos dependientes de los recursos naturales renovables y sus constantes patrones naturales de cambios.

La generación de electricidad a partir de combustibles fósiles es la mayor fuente de emisiones de dióxido de carbono en el mundo (IEA, 2019). Como ya se ha analizado en el primer apartado, varios países han promulgado leyes para reemplazar grandes fracciones de su generación con energías renovables, todo con el objetivo de reducir los efectos nocivos que la sociedad industrial ha traído sobre el medioambiente, a la par que ello le permita a las empresas generadoras de electricidad poder aprovechar las fuentes energéticas renovables de manera rentable y obtener ganancias económicas.

Muchos científicos y especialistas consideran que las energías renovables y en especial la energía solar y eólica serán una fuente crucial para la generación eléctrica del futuro; sin embargo, las energías renovables intermitentes son un desafío debido a que interrumpen los métodos convencionales para planificar la operación diaria de cualquier red eléctrica; su generación intermitente obliga al operador de la red a ajustar sus procedimientos operativos constantemente, lo que implica gastos adicionales; por ejemplo los paneles de la energía fotovoltaica, la energía solar mayoritariamente alcanza sus picos más altos de producción solo durante las horas del día en las que el sol irradia con intensidad, por lo que los operadores de la red deben ajustar sus despachos diarios para incluir a los generadores mayoritariamente fósiles, para compensar el aumento y la disminución de la generación solar en relación con la demanda.

Además de la intermitencia diaria normal causada por el movimiento de rotación del planeta tierra, entiéndase como el amanecer y el atardecer; la capacidad de generación eléctrica de una planta solar también se puede ver interrumpida debido a las condiciones climáticas como el aumento en la nubosidad o la lluvia, esta intermitencia además de reducir la generación eléctrica por la obstrucción de la energía solar, ocasiona que se les dificulte a los operadores de la red planificar cuanta generación eléctrica adicional se requerirá durante el resto del día o posteriores, pues los cambios climáticos pueden durar desde pocas horas hasta días, por lo que los respaldos deben ser contantemente puestos en marcha (Fares, 2015). La intermitencia y la naturaleza cíclica de las energías renovables se consideran uno de los mayores obstáculos para su adopción a gran escala como el generador dominante (Gowrisankaran, Reynolds, & Samano, 2011).

1.2.3. La dependencia industrial de los hidrocarburos.

Si bien la intermitencia es actualmente el principal problema que enfrenta el sector de la generación eléctrica renovable, también se le debe sumar que a medida que se van desarrollando nuevas políticas medioambientales de inmersión de tecnologías de generación renovable en la generación, en el sector se va asentando cada vez más la dependencia industrial que se tiene hacia los recursos naturales fósiles, tanto por la predilección del gas natural como fuente del respaldo a la intermitencia y por la alta capacidad energética que tienen al momento de la combustión si se compara con las tecnologías de captación de energía renovable; el sector se enfrenta cada vez más a nuevos desafíos que son de difícil solución y llenos de facetas complejas; ya que el hecho de que las energías fósiles como el carbón y gas natural sigan teniendo una importancia enorme en el desarrollo humano a través de sus importantes reservas tanto de tipo convencional como no convencional, impide en cierto modo el aumento de la generación renovable, ya países que cuentan con importantes reservas, destinan la mayoría de sus esfuerzos físicos y económicos en poder aprovechar los recursos fósiles del subsuelo, dejando a las renovables de todo tipo más como una alternativa de apoyo a la generación eléctrica fósil y no como una solución para el futuro, a pesar de que los recursos como el petróleo son de carácter finito y los recursos que provienen del sol, viento o la temperatura de la tierra representan recursos que se están renovando constantemente por lo que su aprovechamiento puede ser continuo mientras no se presente la intermitencia (Kochtcheeva, 2016).

1.2.4. Desarrollo tecnológico especializado en las tecnologías de generación eléctrica fósil.

Otra desventaja que ocasiona que la generación eléctrica y su posterior despacho sea tan afectados por la fluctuación de los recursos naturales renovables radica en la madurez de las tecnologías de aprovechamiento renovable; las energías fósiles tienen una infraestructura tecnológica que se ha podido desarrollar física y científicamente con el paso de muchos más años, mientras que las tecnologías renovables tienen poco tiempo que han empezado a aprovechar los recursos naturales no estáticos, pues si bien en la antigüedad ya se contaban con molinos de viento y sistemas hidráulicos rústicos, el aprovechamiento de los recursos no era de manera intensiva y en contadas ocasiones se utilizaba para generar electricidad, siendo más procesos para aprovechar la fuerza en trabajos manuales (Lema & Lema, 2013).

Además, se le debe sumar que las energías fósiles reciben mayores insumos económicos a nivel mundial para su desarrollo y han logrado mitigar su renovabilidad (principal obstáculo para su uso en el sector eléctrico)³ por medio tanto el aumento en las extracciones de hidrocarburos como del perfeccionamiento de sus procedimientos mineros que permiten el extraer de la corteza recursos difíciles de obtener como el gas natural y el petróleo shale; hidrocarburos que se pueden contener fácilmente y aprovecharlos en la combustión para generar energía; mientras que las energías renovables para mitigar su intermitencia requieren una inversión superior para primero la extracción de litio que servirá para la creación de baterías de gran almacenamiento que permita guardar y utilizar cuando la oferta sea baja y se necesite cubrir la demanda, actualmente estas tecnologías de almacenamiento están en constante perfeccionamiento por sus altos costos de producción, al igual que las de aprovechamiento de las energías renovables (Kochtcheeva, 2016).

Para los países que se consideran en desarrollo, es especialmente difícil el poder afrontar los costos que representa tanto contrarrestar la intermitencia natural de los recursos renovables como su instalación, desarrollo y funcionamiento; por lo cual estos deciden inclinarse por las tecnologías de generación eléctrica fósil; a lo anterior se le debe sumar la falta de políticas sólidas que ayuden a solucionar la intermitencia y fomente una mayor generación eléctrica a partir de las energías renovables. Los gastos de puesta en marcha, la falta de enfoques para equilibrar las disparidades entre los precios entre las energías renovables y los combustibles fósiles y los obstáculos generales de la instalación y mantenimiento de la infraestructura, como el estado centralizado fósil que tiene la industria eléctrica mundial son solo otros factores que disminuyen las inversiones en el sector, eliminando el apoyo y la implementación de nuevos proyectos que apoyen el desarrollo tecnológico renovable con vistas a mitigar la intermitencia (REN21, 2014) y (Kochtcheeva, 2016).

Los países de todo el mundo cada vez están más decididos en poder tomar medidas para poder desplegar las fuentes de energía renovables dentro de sus matrices energéticas de generación eléctrica y consumo; todo con el fin principal de aprovechar económicamente y de manera rentable la energía de los recursos naturales renovables, y poder indirectamente fomentar el desarrollo económico, el crecimiento social, cumplir con compromisos globales de protección del medioambiente, alcanzar una seguridad energética y sobre todo poder resolver los desafíos

³ Para más información revisar apartado a) en donde se aborda el problema de la intermitencia en las energías renovables y el de renovabilidad de las fósiles.

ambientales mundiales asociados con el cambio climático. Se puede observar analizando la situación social y económica de diferentes países que las energías renovables han sido adoptadas de una mejor manera, principalmente por países que cuentan con productos internos brutos per cápita que se podrían considerar relativamente altos como Estados Unidos, Alemania, China, Francia y Canadá, etc. y con claros intereses políticos con enfoques preocupantes de alcanzar una seguridad energética o aprovechar de manera rentable los recursos naturales renovables (Müller, Brown, & Ölz, 2011).

La riqueza económica de los países influyen claramente en la elección de la tecnología para generar electricidad renovable, en donde los países con una mayor capacidad económica buscan enfocarse en la generación eléctrica en fuentes renovables con porcentajes más altos de intermitencia como lo son la solar y la eólica, que como se ha mencionado sufren de intermitencia su capacidad de producción eléctrica es superior y más constante a las renovables seleccionadas por los países con menor capacidad económica, los cuales se enfocan en las renovables que tienen tanto una menor intermitencia y menor costo, además de ser las más ampliamente conocidas y las que tienen un desarrollo tecnológico más desarrollado, como la energía hidroeléctrica (Müller, Brown, & Ölz, 2011), ejemplo de esto es México que a pesar de tener un PIB per cápita que se podría considerar de medio a alto, la energía renovable que cuenta con una mayor participación en la generación nacional son las hidroeléctricas, destinando las renovables con mayor intermitencia a aprovechar las áreas con mayor potencial natural como en las zonas áridas del norte del país para la solar y las costas del pacífico de Oaxaca para las eólicas.

La razón fundamental para la adopción de energías renovables como medio para generar electricidad y que es la principal razón para que un país quiera absorber los costos negativos de la intermitencia radica en la mejora tecnológica en el poder aprovechar los recursos naturales renovables de manera eficiente y a través de este aprovechamiento poder alcanzar estabilidad energética y alejarse de las energías fósiles que alimentan una dependencia que tarde o temprano pasará factura no solo en términos ambientales sino económicos y sociales, ante su tendencia al encarecimiento debido a su vez por su tendencia natural a su agotamiento relativo.

El empleo de energía renovable y cómo se afrontan los problemas que acarrea la intermitencia, enfrentan una variedad de desafíos económicos, políticos, estructurales y sociales,

que requieren no solo mayor desarrollo tecnológico e inversión, sino también una comprensión más profunda de los factores de éxito y los obstáculos para lograr una adopción generalizada, el perfeccionamiento de las tecnologías de captación y el encontrar una alternativa más allá del almacenamiento para subsanar la intermitencia de los recursos naturales (Kochtcheeva, 2016).

1.3. La flexibilidad de los sistemas eléctricos y su relación con la intermitencia

Para poder entender los límites que tienen las energías renovables en torno al despacho eléctrico, antes es importante entender un concepto clave que define lo que un sistema de electricidad nacional de cualquier país del mundo tiene que ser para poder funcionar con una participación mayoritaria de generadores de energías renovables eólicas, geotérmicas, solares y de biomasa, el concepto también ayuda a explicar directamente la principal desventaja de las renovables sobre las fósiles, que es la intermitencia, el concepto es la flexibilidad de los sistemas eléctricos y en especial el del sistema de transmisión; la flexibilidad. Se refiere a la capacidad que tiene una estructura eléctrica para poder proporcionar un equilibrio entre la oferta y la demanda a lo largo del día tomando en cuenta todos sus participantes de la generación, manteniendo una continuidad en el flujo eléctrico ante situaciones inesperadas, minimizando la pérdida de energía, la sobregeneración y disminuyendo el uso de energías de tipo fósil (Chandler, 2008) y (Impram, Varbak, & Oral, 2020).

El concepto de la flexibilidad se ha introducido en la literatura, recientemente a la par de la participación de las energías renovables como fuentes clave de la generación eléctrica sustentable y amigable con la naturaleza, por lo que no existe una definición clara que establezca las características perfectas de lo que tendría que hacer un país para tener un sistema eléctrico que pueda definirse al 100 % como flexible, ya que ello implicaría contar con tecnologías de almacenamiento eléctrico en forma de baterías eficaces y de alta capacidad que en el sector renovable aún no existen. Pero esta definición sí brinda ideas clave de los sectores, por lo que se tendría que empezar a trabajar para lograrlo; los cuales serían tener un sistema eléctrico que por medio de las innovaciones tecnológicas como las baterías o aumentar la capacidad de captación de energía proveniente de los recursos naturales renovables, que pueda mitigar la intermitencia y responder rápidamente a las fluctuaciones que tiene la oferta y la demanda, a través de aumentar la oferta de una manera rápida cuando sea necesario o disminuirla cuando exista una sobregeneración para eliminar los cuellos de botella y la pérdida de electricidad, reduciendo

finalmente en gran medida la participación de los generadores fósiles y nucleares, que a pesar de ser fuentes energéticas más estables en cuanto al valor de la electricidad continua que se puede crear a través de la combustión o fisión, estas son altamente contaminantes y finitas (Impram, Varbak, & Oral, 2020).

Si se tiene en cuenta que muchos países en todo el mundo como Alemania a través de sus políticas nacionales buscan o han aumentado los niveles de penetración de la generación eléctrica a partir de fuentes renovables como la energía solar y la eólica; la flexibilidad de un sistema de energía eléctrica es un concepto que debe tenerse en consideración, pues sin él la integración de las renovables es casi imposible y se caería en tener respaldos de tipo fósil que solo aumentan la dependencia a los recursos altamente contaminantes y con un límite físico del suministro.

Actualmente, en el mundo no existe un sistema de generación eléctrica que se pueda considerar totalmente flexible, y los que dicen serlo como en el caso de Alemania, cuentan una historia a medias, en donde a lo largo del verano cuando el sol y la velocidad del viento se presentan con abundancia, la generación eléctrica eólica y solar sí puede cubrir con sus ofertas eléctricas lo que la demanda requiere, pero cuando llega el invierno la historia cambia completamente, ya que la cantidad de energía solar fotovoltaica y la velocidad del viento se reducen drásticamente, aumentando el uso de recursos fósiles como el carbón y el gas natural para cubrir la demanda de electricidad que crece a diferencia del verano por las bajas temperaturas y que los ciclos de noche son más largos en el hemisferio norte; el caso de Alemania no es un proyecto que se pueda considerar como fallido, sino que más bien busca alcanzar una flexibilidad en cómo se genera y despacha su electricidad, siendo la intermitencia de la naturaleza su principal obstáculo a superar (Impram, Varbak, & Oral, 2020). Hasta que los sistemas eléctricos y las tecnologías renovables no puedan alcanzar una flexibilidad en su generación y distribución, su integración parece una meta bastante distante, pero no imposible de subsanar, y la respuesta reside en los avances tecnológicos.

1.3.1 Intermitencia de la energía eléctrica y sus efectos en el despacho eléctrico.

Las tecnologías de captación renovables como los paneles solares, aerogeneradores y centrales geotérmicas, padecen en gran medida las alternancias irregulares que tiene la energía que se desprende de los recursos naturales no estáticos, intermitencias las cuales son mayoritariamente impredecibles y pueden durar durante un periodo de 24 horas, una semana e incluso meses; ejemplo de los causantes más comunes de intermitencia son las temporadas de lluvia, los cambios

en la atmósfera, el cambio en las estaciones del año, la disminución de los vientos, los cambios en la corteza terrestre, etc.

Como cualquier tipo de fuente de generación eléctrica las energías renovables tienen condiciones favorables para su generación, produciendo grandes cantidades de electricidad de manera eficiente y constante a bajos costos durante los largos días de verano con tasas altas de radiación solar, durante las tormentas y el aumento de la velocidad promedio del viento o cuando se descubre un nuevo punto en la corteza donde se presentan altas temperaturas por la presencia de una bolsa de magma; sin embargo la intermitencia es un proceso que tarde o temprano a través de los mecanismos ya mencionados reducirá los periodos estables de generación poniendo en riesgo los compromisos de generación que los productores de electricidad adquieren, provocando que los operadores de las redes de transmisión tengan que recurrir a otras alternativas como la producción eléctrica mediante recursos fósiles para tener un respaldo.

Si bien se puede llegar a asumir que las tecnologías renovables solo pueden producir energía eléctrica cuando hay un día particularmente soleado o ventoso, esta afirmación no es del todo cierta, ya que los paneles fotovoltaicos seguirían funcionando incluso en condiciones de lluvia o luminosidad, sin embargo su eficiencia disminuye significativamente haciendo imposible que cubra la demanda eléctrica ni de una región pequeña de un país; esta situación es notoria si se tiene en cuenta que a diferencia de una turbina de gas natural o de petróleo que no presenta ninguna afectación por las condiciones climáticas o ecológicas de un país, la generación renovable es altamente vulnerable al estado de la naturaleza no estático, siendo aún más vulnerables si se piensa en los cambios climáticos y de temperatura que la tierra está experimentando en los últimos años a raíz del aumento indiscriminado del desarrollo industrial humano que alimenta el cambio climático y el efecto invernadero (Gaw, 2019).

Pero entonces, ¿por qué la intermitencia es un problema para el despacho y el sector eléctrico en general?, la naturaleza intermitente de estas tecnologías renovables significa que la electricidad de estas fuentes no estará disponible continuamente por lo que no podrá crecer a la par de la demanda todo el tiempo, hoy en día, se acostumbra en todo el mundo a tener sistemas eléctricos que tiene una generación de electricidad controlada bajo predicciones de demanda de días anteriores e incluso de años, por lo que parece poco realista y confiable integrar a la matriz de generación y transmisión porcentajes altos de generadores eléctricos intermitentes a un sistema

energético que no responde bien a las bajas de la oferta eléctrica, esto finalmente compromete la confiabilidad del sistema y duplica el trabajo de los operadores de la red de transmisión, que deben hacer constantes movimientos de despacho entre los generadores fósiles y nucleares para cubrir los espacios en la oferta y que cubrirán la demanda, aumentando directamente la dependencia a los recursos naturales como el gas natural y el carbón (Gaw, 2019).

El cuantificar el impacto que tienen la intermitencia en el despacho eléctrico y en el sistema en general es un proceso bastante complicado, porque como se ha mencionado la intermitencia es un proceso impredecible porque no sigue ningún tipo de patrón específico, desconociéndose muchas veces hasta qué punto podría poner en riesgo el equilibrio del sistema; aunque una forma de poder medirlo parcialmente es revisando cómo la generación eléctrica de una fuente de energía renovable en particular afecta a lo largo del año la programación del operador del sistema de transmisión local, su propio programa de generación de la unidad eléctrica, cómo afecta las reservas operativas del sistema que son la cantidad de electricidad que transita en la red en ese momento y cuál la cantidad de electricidad que se obtiene de la capacidad de respaldo fósil con la que cuenta el sistema (Gowrisankaran, Reynolds, & Samano, 2011); el impacto de la intermitencia renovable sobre las mediciones anteriores a su vez también depende fundamentalmente de 3 factores principales:

1. La variabilidad de la producción eléctrica de la fuente renovable.
2. La medida en que se puede predecir los factores que causan la intermitencia de la producción renovable.
3. Los costos de construcción y operación de las energías de respaldo (Gowrisankaran, Reynolds, & Samano, 2011).

El tema de la intermitencia es un campo que ha causado una gran discusión en el sector científico mundial tanto por ser la principal problemática para la expansión e integración total de la generación renovable a la matriz eléctrica de generación mundial y por qué es una problemática tanto de difícil solución y su medición cuantitativa parece ser tema aun en perfeccionamiento; existen varios estudios recientes que buscan el poder cuantificar el impacto de la intermitencia considerando varios métodos para poder medir su afectación en la producción, algunos de estos estudios se centran en analizar al sector de la generación renovable como un campo que debe ser considerado por ahora y hasta que se encuentre una solución tecnológica a la intermitencia como

de perfil de generación eléctrica variable y no estable como sí lo son la energía nuclear y las fósiles (Borenstein, 2008).

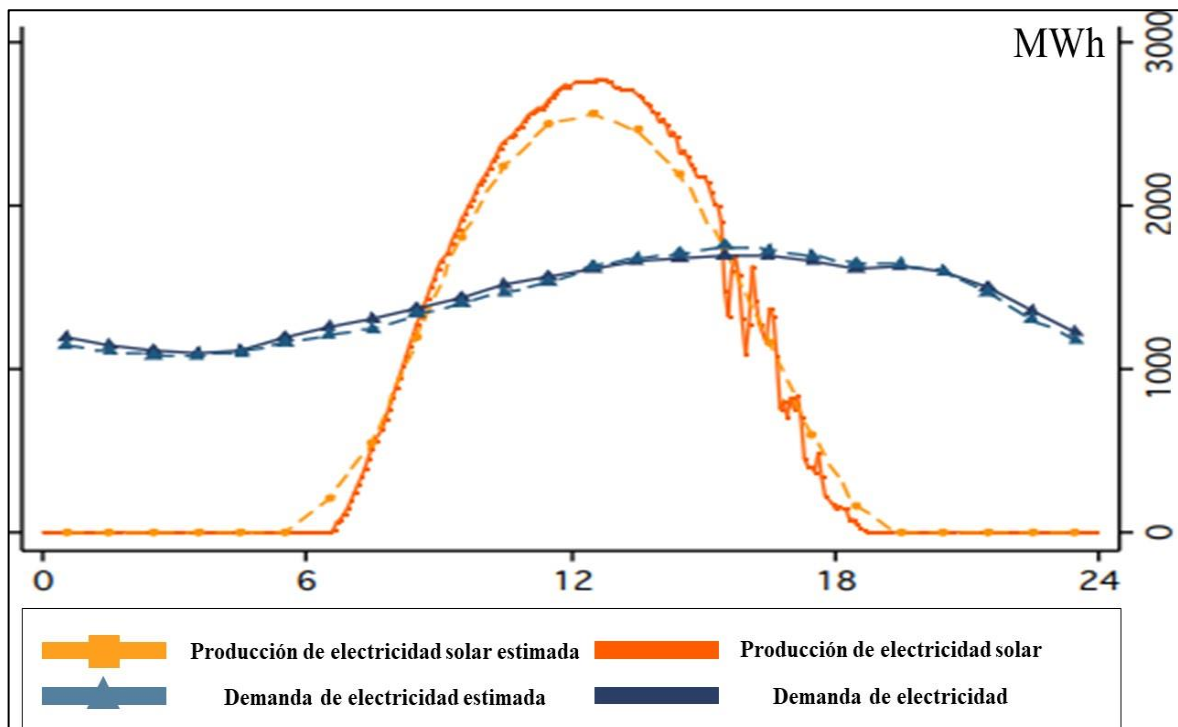
Otros investigadores modelan el impacto de la intermitencia por medio de medir cómo afectan las reservas operativas del sistema de transmisión (Mills & Wiser, 2010) y algunos otros analizan cómo la inversión en la capacidad de respaldo es un indicio del impacto de la intermitencia al ser su principal acción para solucionar este problema natural (Campbell, 2011); lo claro al revisar estos documentos a profundidad es que al combinar estos tres factores centrales, se pueden obtener una evaluación parcial económica del valor del impacto de la intermitencia en la generación renovable a gran escala (Gowrisankaran, Reynolds, & Samano, 2011).

Para entender cómo la intermitencia afecta el despacho eléctrico a través de la generación eléctrica, primero se deberá entender cómo funcionan las unidades generadoras y para eso se tomará como ejemplo central los sistemas fotovoltaicos solares, estos sistemas utilizan paneles solares de materiales como silicio para convertir la radiación solar en electricidad de corriente continua (CC), junto a los paneles se encuentran unos inversores de corriente que convierten la corriente continua en corriente alterna que es la que se inyecta en los sistemas de transmisión (NREL, 2011); la generación de la electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos varían con base en la insolación, que es la medida de la energía fotovoltaica que contiene la luz solar que se irradia en una zona determinada, una mayor presencia de esta insolación ocasiona que los paneles solares produzcan más electricidad fotovoltaica manteniendo la generación estable y la falta de ésta propia de su intermitencia natural, como un día nublado causa una caída en la generación; la mayoría de los paneles solares en el hemisferio norte están montados de cara al sur con una inclinación fija basada en la latitud y la salida del sol, aunque también existen unidades con sistemas de seguimiento de un solo eje siguiendo el movimiento del sol a lo largo del día (Gowrisankaran, Reynolds, & Samano, 2011) y (Mills & Wiser, 2010).

Para poder ilustrar los problemas de la intermitencia en un día común de producción eléctrica de una unidad fotovoltaica se presenta la siguiente **Gráfica 1**, que muestran la demanda de electricidad del sureste de Arizona y la producción de energía solar fotovoltaica de las unidades de generación solar ubicadas en ese Estado, mismo que es una zona con alto potencial renovable solar; en color naranja continuo representa la capacidad de generación eléctrica solar a lo largo del día e igual en color naranja, pero no continuo representa la generación de electricidad

estimada tomando en cuenta los pronósticos meteorológicos con el fin de detectar la intermitencia, mientras que en color azul continuo se encuentra la demanda de electricidad para ese día y en azul no continuo su respectiva predicción.

Gráfica 1. Oferta de electricidad solar y Demanda de eléctrica en el Estado de Arizona promedio de un día de abril del 2018.



Fuente: Elaborado con datos de (Gowrisankaran, Reynolds, & Samano, 2011).

Observando la **Gráfica 1** en su parte izquierda nos podemos percatar que la oferta de electricidad solar al iniciar el día es incapaz de cubrir la demanda de electricidad, porque es de madrugada y la producción solar es baja por la falta de energía fotovoltaica; a partir de las 6 de la mañana la producción solar va en aumento acompañado por la salida del sol en el horizonte y después de las 9 horas, es cuando la producción puede cubrir la demanda que empieza a aumentar; la producción de electricidad renovable fotovoltaica alcanza su punto máximo de generación a las 12 pm, mismo momento en donde empieza a aumentar la demanda de electricidad debido a que en el Estado de Arizona se utilizan mucho los sistemas de aire acondicionado para mitigar el calor cuando empiezan las horas soleadas del día y la temperatura ambiental aumenta; en este momento la demanda de electricidad es cubierta por la oferta de los generadores solares, e inclusive como se aprecia en la **Gráfica 1**, estos últimos pueden producir un exceso de electricidad porque sus

unidades se encuentran trabajando a su máxima potencia gracias a la alta intensidad de la energía del sol.

En la parte derecha de la **Gráfica 1** se puede observar la aparición de la intermitencia natural de la energía fotovoltaica, en donde a partir de las 4 de la tarde la producción solar decae por la reducción en la energía fotovoltaica emitida por el sol, como resultado del movimiento natural del eje de rotación del planeta y por las fluctuaciones climáticas, y por ende no puede producir suficiente electricidad para cubrir la demanda que en ese momento alcanza sus niveles máximos conforme se acerca la noche y la media noche. Esta parte de la **Gráfica 1** es la muestra real del problema de la intermitencia de las renovables, que en los momentos en los que más se necesita su oferta de electricidad para cubrir los picos de demanda, es cuando menos pueden participar para cubrirla, recayendo la generación en los productores fósiles. Así, se muestra que la intermitencia produce una correlación negativa entre una menor generación eléctrica solar y el incremento de la demanda, precisamente en el momento en que ésta es mayor.

La explicación anterior describe la principal desventaja que tienen las energías renovables en torno al despacho y generación eléctrica en todo el mundo, su carácter natural de intermitencia y lo impredecible que puede ser la producción a partir de fuentes naturales como la velocidad del viento o la energía del sol; este problema es un claro reflejo de que las energías renovables y su electricidad son un sector tanto de reciente creación que se adapta a las necesidades de un mundo que se mueve con energías fósiles que son más estables energéticamente, además de que tecnológicamente aún se encuentra en desarrollo y en la constante búsqueda de las innovaciones que les permitan lograr captar la mayor cantidad del recurso natural y poderlo traducir en energía eléctrica, luchando siempre en contra de la intermitencia, muchas veces a través de almacenamiento eléctrico en baterías (Energix, 2021).

Otras problemáticas más allá de la intermitencia natural de los recursos naturales renovables, que afecta la constancia de todos los tipos de generadores renovables, pero en niveles menores y que pueden ser subsanados por otros medios más desarrollados tecnológicamente como la ampliación de la red de transmisión, la difusión de la información y el aumento a los subsidios estatales y privados para la construcción de centrales renovables; el primero de estos subproblemas es la ubicación de los recursos naturales y las plantas de generación en relación con la red de transmisión; la mayoría de las plantas de energía renovable en todo el mundo que despachan su

energía eléctrica en las redes de transmisión requieren grandes extensiones de terreno para la instalación de su maquinaria, dígame de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, presas, etc., estas ubicaciones por lo general están alejadas de los núcleos urbanos, pues en la mayoría de los casos los recursos naturales con mayor intensidad se ubican en zonas donde el ser humano tiende a no instalarse con frecuencia, aunque esto no implica que se puedan instalar en las cercanías de comunidades más pequeñas; estas ubicaciones requieren para su integración en la red una mayor ampliación de la misma para conectarse, lo que implica en todos los casos un mayor costo y un esfuerzo extra para la reconfiguración del despacho, lo que genera en muchas ocasiones un problema en términos de costo y eficiencia (Moradiya, 2019).

Un último problema para la integración de las energías renovables, a desarrollar, es el problema de la barrera de la información sobre los beneficios de las energías renovables, que si bien este tema está mejorando actualmente, existe una falta de información y conciencia sobre los beneficios y la necesidad de las energías renovables, que por un lado presentan el problema de la intermitencia, esto no quita el hecho de que es un problema que tarde o temprano las innovaciones tecnológicas terminarán solucionando, aumentando así el impacto que pueden tener en la generación, ayudando sobre todo en la protección si bien no inmediata del medioambiente sí lo harán a largo plazo; existe una clara necesidad en todo el mundo de que las agencias gubernamentales y asociaciones privadas de protección del medioambiente ayuden, asesoren e inviertan en el sector renovable y su rama tecnológica para eliminar lo antes posible tal vez por medio de las baterías la intermitencia natural del sector (Moradiya, 2019).

Conclusiones

Una vez analizados los tipos de despacho de 5 países clave en el sector eléctrico como lo son Estados Unidos, Canadá, España, China y Alemania y que tienen contextos sociales, económicos y medioambientales variados, se pueden recuperar varios aspectos clave. El principal de ellos es que las decisiones de cómo se estructura y aplica el despacho de la energía eléctrica, principalmente proviene de 3 partes integrales: los generadores eléctricos, las empresas de transmisión y el gobierno de cada país, los dos primeras partes en conjunto estipulan los factores que determinan el orden de despacho con base en la experiencia diaria del funcionar del sistema eléctrico, siendo el gobierno quien supervisa el funcionar de la estructura y dicta las reglas bajo las necesidades de las 2 primeras partes; los modelos de despacho como ya se han analizado van

desde tomar como eje jerarquizador del despacho los costos variables de operación, tomar en cuenta el orden en el que se compra la electricidad en el mercado eléctrico mayorista y hasta aprovechar las potencialidades naturales y tecnológicas de sus provincias, dando preferencia en el despacho al tipo de generador dominante; cada uno de estos modelos de despacho presenta una serie de ventajas y desventajas que aumentan y disminuyen dependiendo del país en el que se aplica, pues cada uno de ellos cuenta con una configuración en su matriz energética totalmente única que va desde una variedad de participantes públicos y privados hasta una dominancia de alguno de estos sectores e inclusive la predominancia de algún tipo de generador eléctrico o la falta de algunos puede afectar la estructura del despacho.

Todos los modelos de despacho eléctrico actualmente presentan ventajas y desventajas asociadas con varios factores que se ligan a cómo se estructura el sistema eléctrico de cada nación, la intermitencia de los recursos naturales no estáticos como la energía fotovoltaica que emite el sol o la fuerza de las mareas, que impiden que los generadores renovables puedan producir electricidad de manera constante, lo que afecta el flujo del despacho y el efecto que tiene la intermitencia sobre la dependencia hacia los recursos fósiles que son utilizados para subsanar la fluctuación del despacho renovable. El problema que plantea que la electricidad producida por las energías renovables sea de carácter variable e intermitente es una cuestión que preocupa al sector energético en general, pues altera directamente cómo funcionan los sistemas eléctricos, ya que si bien la intermitencia en cierto grado es predecible porque algunos procesos siguen patrones naturales establecidos, la intermitencia que más impacta es la de los eventos meteorológicos impredecibles como la formación de nubes o el cambio de los patrones del viento; para que las energías renovables puedan ser generadores eléctricos base estables en cualquier sistema, es necesario encontrar soluciones para manejar la intermitencia natural de los recursos, sin éstas mediante el almacenamiento eléctrico en baterías y los respaldos de la generación eléctrica proveniente de las mismas energías fósiles.

El sistema de ordenar el despacho eléctrico por los costos variables de operación en forma de orden de mérito como se aplica en Canadá, Estados Unidos y Alemania es un sistema que prioriza el despacho de los generadores con los costos más bajos, generando una base eléctrica para cubrir la demanda, despachando consecutivamente las energías de coste medio y altos cuando la demanda diaria de electricidad aumenta y los generadores de la carga base no puede cubrirla;

este modelo en un principio es bastante beneficiosos para generadores, transmisores y usuarios finales debido a que se inyecta de menor a mayor a los generadores en torno a los costos, reduciendo las tarifas a usuarios finales y aumentando la participación de los generadores renovables; el modelo es vulnerable a sufrir los efectos de la intermitencia de los recursos naturales no estáticos, debido a que al considerar a los generadores renovables como una energía base, cuando estas no producen electricidad porque su flujo de energía se vio interrumpido por un día nublado o sin viento, se deben recurrir a energías como las fósiles o la nuclear para intentar mitigar la disparidad con la demanda, lo que directamente tiende a acrecentar la dependencia de energías más contaminantes en términos de CO₂ como el carbón o el gas natural.

Ejemplo de esta situación es el caso de Alemania que si bien tiene una amplia participación de generadores renovables en el despacho eléctrico, esta se ve ampliamente limitada por la intermitencia de los recursos naturales, tanto es así que cuando más despachan electricidad las energías renovables es solamente en épocas concretas del año como el verano y el otoño cuando la intensidad del sol y la velocidad del viento aumentan, reduciendo drásticamente su generación en invierno o en días con condiciones climáticas adversas que son de difícil predicción, aumentando la dependencia al carbón y el gas natural que se utilizan para cubrir los aumentos en la demanda eléctrica, esta situación empeora si se tiene en cuenta que Alemania prohibió la generación nuclear y para fines del año en curso cerrará sus últimas tres plantas nucleares aún en funcionamiento (Forbes, 2022), distinto a lo que ocurre en países como Canadá o Estados Unidos en donde este tipo de tecnología ayuda a las renovables a mitigar la intermitencia en la base eléctrica. Prueba del aumento en la dependencia de los recursos fósiles ocasionada por el modelo de despacho en conjunto con la intermitencia, es que a pesar de que el Gobierno alemán se jacte detener una transición energética renovable, los proyectos de transporte para suministro de gas natural y carbón siguen siendo una prioridad para el país.

Para el caso de España, su despacho eléctrico está ordenado en torno al cómo se compra la electricidad de los generadores dentro del mercado eléctrico mayorista, las compañías de transmisión delimitan su despacho comprando primero la electricidad de los costos variables de operación más bajos y dejando a las más caras al final; teniendo un efecto directo en cómo se paga la electricidad, siendo que por cada hora se paga el precio al resto de la última tecnológica inyectada en el sistema. Este modelo de despacho eléctrico es especialmente dañino para el sistema

eléctrico español porque el hecho de que se despachen las más baratas primero, no implica que estas aporten suficiente energía para cubrir la demanda, lo que ocasiona que los generadores fósiles tengan una mayor participación y a los renovables se les pague de más por su electricidad lo que aumenta las tarifas finales, pues las renovables tienen un impacto marginal en el total de la aportación eléctrica, pero sí un impacto alto en la obtención de ingresos por venta de su electricidad al precio más alto fijado por la unidad generadora -fósil- más cara..

Para el caso de China el despacho eléctrico que se aplica en el territorio es el resultado de una estrategia estatal que busca aprovechar intensivamente las potencialidades tecnológicas, naturales y humanas de sus provincias, despachando a los generadores eléctricos en torno a 3 ejes principales, la disponibilidad de tecnología de generación, la cantidad de los recursos naturales y la velocidad de puesta en marcha de la planta generadora; este modelo de despacho busca aprovechar lo que se tiene en cada área del país despachando su electricidad en torno a la idea básica de que con lo que más se cuente: tecnología o recurso natural es lo que se despachará primero. Un ejemplo de esto es que si en una región se produce carbón en demasía ésta será la tecnología predominante en el despacho; los problemas asociados con este modelo radican principalmente en cómo se estructura este despacho a largo plazo, si bien este modelo prioriza las tecnologías o los recursos dominantes como despacho principal eso delimita en gran medida el crecimiento de las otras tecnologías en la provincia delegando su generación a pocas horas en el día, aumentando en cada provincia la dependencia a un recurso específico, pasando sobre todo con las de despacho mayoritariamente fósil; siendo, por otro lado, las de despacho mayoritariamente renovable vulnerables a sufrir la intermitencia de los recursos naturales no estáticos y abriendo la puerta a los respaldos fósiles. Estos problemas de predominancia de una tecnología específica en cada provincia se buscan subsanar por medio de la asignación de las horas equitativas de generación eléctrica, a pesar de que esta estrategia solo aumenta el rendimiento entre participantes de la misma tecnología de generación y no entre todos los participantes.

Referencias Bibliográficas

- Appun, K., & Russell, R. (10 de junio de 2021). *Set-up and challenges of Germany's power grid*. Recuperado el 9 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/set-and-challenges-germanys-power-grid>
- Appunn, K. (23 de enero de 2015). *Setting the power price: the merit order effect*. Recuperado el 10 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/setting-power-price-merit-order-effect>
- Appunn, K. (2016). *Redispatch costs in the German power grid*. Recuperado el 8 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/re-dispatch-costs-german-power-grid>
- Borenstein, S. (2008). *The market value and cost of solar photovoltaic electricity production*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2021, de University of California, Berkeley.
- BP. (2020). *Statiscal Review of World Energy*. London: Statiscal Review of World Energy .
- BP. (2021). *Statistical Review of World Energy all data, 1965-2020*. Disponible en <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>.
- Campbell, A. (2011). *Government support for intermittent renewable generation technologies*. Recuperado el 31 de Octubre de 2021, de Yale University School of Management.
- Centro SIPA de Política Energética Global . (2019). *Guía de la politica climática china*. Obtenido de Universidad de Columbia: <https://chineseclimatepolicy.energypolicy.columbia.edu/en/hydropower>
- Chandler, H. (2008). *Empowering Variable Renewables Options for Flexible Electricity Systems*. Recuperado el 28 de Octubre de 2021, de International Energy Agency.
- Christian, J., Shipley, L., & Lundell, L. (2020). *Electricity regulation in Canada: overview*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2021, de Thomson Reuters: Practical Law: Obtenido de: [https://ca.practicallaw.thomsonreuters.com/5-632-4326?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true](https://ca.practicallaw.thomsonreuters.com/5-632-4326?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true)

- Ding, Y., & Yang, H. (2013). *Promoting energy-saving and environmentally friendly generation dispatching model in China: Phase development and case studies*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021
- EIA. (17 de agosto de 2012). *Today in Energy*. Recuperado el 9 de octubre de 2021, de Electric generator dispatch depends on system demand and the relative cost of operation.: Obtenido de: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=7590#>
- EIA. (2014). *Renewable Energy. Medium Term Market Report 2014. Executive Summary*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2021, de Obtenido de: <https://www.iea.org/reports/medium-term-renewable-energy-market-report-2014>
- EIA. (18 de marzo de 2021). *Electricity generation, capacity, and sales in the United States*. Recuperado el 9 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us-generation-capacity-and-sales.php>
- Elia, A., Taylor, M., Gallachóir, B. Ó., & Rogan, F. (2020). Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers. *Energy Policy*.
- Energix. (2021). *WHAT IS “INTERMITTENCY” IN RENEWABLE ENERGY?* Recuperado el 19 de Octubre de 2021, de Obtenido de: <https://energyx.com/resources/what-is-intermittency-in-renewable-energy/>
- Fares, R. (2015). *Renewable Energy Intermittency Explained: Challenges, Solutions, and Opportunities*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2021, de Obtenido de: <https://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/renewable-energy-intermittency-explained-challenges-solutions-and-opportunities/>
- Fernández, S. (2021). *Cómo funciona el mercado eléctrico y por qué, a pesar de que el precio a veces llegue a cero, apenas va a repercutir en nuestra factura*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2021
- Forbes. (2022). *Alemania cierra 3 de sus últimas 6 centrales nucleares; pide no considerar limpia esta energía*. Recuperado el 4 de enero de 2022, de Obtenido de:

<https://www.forbes.com.mx/mundo-alemania-cierra-3-de-sus-ultimas-6-centrales-nucleares/>

Gaw, J. (2019). *How will the renewables industry overcome its 'intermittent availability' challenges?* Recuperado el 28 de Octubre de 2021, de Action Renewables: Obtenido de: <https://actionrenewables.co.uk/news-events/post.php?s=how-will-the-renewables-industry-overcome-its-intermittent-availability-challenges>

Generator Source. (2021). *Canadian Power Generation and Electrical Infrastructure*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2021, de Obtenido de: <https://www.generatorsource.com/Articles/Other-Information/Canadian-Power-Grid-Electrical-Infrastruture.aspx>

Gowrisankaran, G., Reynolds, S., & Samano, S. (2011). *INTERMITTENCY AND THE VALUE OF RENEWABLE ENERGY*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de Obtenido de: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w17086/revisions/w17086.rev2.pdf

Hanania, J., Stenhouse, K., & Donev, J. (2020). *Intermittent electricity*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2021, de Obtenido de: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Intermittent_electricity

Hostettler, S. (2015). *Energy Challenges in the Global South*. Recuperado el 28 de Octubre de 2021

IEA. (2019). *CO2 emissions from fuel combustion*. Recuperado el 03 de diciembre de 2121, de Obtenido de: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/greenhouse-gas-emissions-from-energy-highlights>

Impram, S., Varbak, S., & Oral, B. (2020). *Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2021, de Obtenido de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X20300924#bib1>

IRENA. (2021). *RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2020*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency. Recuperado el 8 de noviembre de 2021, de <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>

- Kahrl, F., & Wang, X. (2014). *Integrating Renewables into Power Systems in China: A Technical Primer—Power System Operations*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2021
- Kahrl, F., Dupuy, M., & Wang, X. (2016). *Issues in China Power Sector Reform: Generation Dispatch. Discussion paper*. Recuperado el 27 de Octubre de 2021, de Regulatory Assistance: Obtenido de: <http://www.raonline.org/wp-content/uploads/2016/07/rap-kahrl-dupuy-wang-china-generator-dispatch-reform-july-2016.pdf>
- Kavlak, G., McNerney, J., & Trancik, J. (2018). Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. *Energy Policy*, 700-710.
- Kochtcheeva, L. (2016). *Renewable Energy: Global Challenges*. Recuperado el 26 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.e-ir.info/2016/05/27/renewable-energy-global-challenges/>
- Kouglas, I. (2020). *Hydropower Technology Development Report* . Luxembourg : Publications Office of the European Union.
- Lema, A., & Lema, R. (2013). *Technology Transfer in the Clean Development Mechanism*. Recuperado el 22 de Octubre de 2021
- Mills, A., & Wiser, R. (2010). *Implications of wide-area geographic diversity for shortterm variability of solar power*. Recuperado el 31 de Octubre de 2021
- Ministry of Water Resources, People's Republic of China. (2016). *Water Resources in China*. Obtenido de <http://www.mwr.gov.cn/english/mainsubjects/201604/P020160406508110938538.pdf>
- Misachi, J. (2018). *World Atlas*. Obtenido de <https://www.worldatlas.com/articles/countries-with-the-most-freshwater-resources.html>
- Moradiya, A. (11 de Enero de 2019). *The Challenges Renewable Energy Sources Face*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2021, de Obtenido de: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=836>

- Moreno Almaraz, A., & Salinas Sánchez, S. (2019). Repotenciación de centrales hidroeléctricas. *Transición Energética*, 25-31. Recuperado el 26 de octubre de 2020, de <http://transicionenergetica.ineel.mx/Articulos/R1n3v1.pdf>
- Müller, S., Brown, A., & Ölz, S. (2011). *Renewable Energy. Policy Considerations for Deploying Renewables*. Recuperado el 30 de Octubre de 2021, de OECD/IEA.
- Mun, H., Zhongmin, W., & Zichao, Y. (2012 de abril de 2017). *Resources of the future*. Recuperado el 15 de Octubre de 2021, de Obtenido de: <https://media.rff.org/documents/RFF-Rpt-ChinaElectricity.pdf>
- Nabe, C. (2001). *Technische und ökonomische Bewertung der Inanspruchnahme von*. Recuperado el 10 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.er.tu-berlin.de/fileadmin/a38331300/iewt2001.pdf>
- Netz Entwicklungs Plan Storm. (2021). *Transmission Sistem Operators*. Recuperado el 8 de octubre de 2021, de Obtenido de: <https://www.netzentwicklungsplan.de/en/background/transmission-system-operators>
- NREL. (2011). *Solar photovoltaic technology*. Recuperado el 22 de Octubre de 2021, de Obtenido de: http://www.nrel.gov/learning/re_
- NREL. (2017). *2015 Cost of Wind Energy*. Denver: National Renewable Energy Laboratory. Recuperado el 2021 de noviembre de 9, de <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/66861.pdf>
- Open Development Vietman. (2018). *Water Resources*. Obtenido de <https://vietnam.opendevelopmentmekong.net/topics/water/>
- Open Electricity Economics. (s/f). *Open Electricity Economics*. Recuperado el 8 de noviembre de 2021, de Open Electricity Economics: <http://open-electricity-economics.org/index.html>
- Organización Mundial de Comercio. (2013). *CANADÁ - DETERMINADAS MEDIDAS QUE AFECTAN AL SECTOR DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2021, de Obtenido de: https://www.wto.org/spanish/tratop_s/dispu_s/412_426abr_s.pdf

- Planas, M. &. (2019). *Blog BID*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- RealClearEnergy. (19 de agosto de 2012). *The Dispatch Curve*. Recuperado el 8 de octubre de 2021, de Obtenido de: https://www.realclearenergy.org/charticles/2012/08/20/the_dispatch_curve_106672.html
- REN21. (2014). *Renewables 2014*. Recuperado el 29 de Octubre de 2021, de Obtenido de: https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf
- Sánchez, F. (2013). *Gestión del Recurso Hídrico en Colombia* . Obtenido de http://www.fuac.edu.co/recursos_web/documentos/ing.ambiental/RECURSO_HIDRICO_EN_COLOMBIA_UAUTONOMA_1.pdf
- Total Energies. (2018). *LA LIBERALIZACIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO ESPAÑOL*. Recuperado el 7 de Diciembre de 2021
- Woo, P. (2005). *China's Electric Power Market: The Rise and Fall of IPPs*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2021
- World Bank Group. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Washington D.C.: World Bank Publications.
- Zhao, X., & Ma, C. (2013). *Deregulation, vertical unbundling and the performance of China's large coal-fired power plants*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2021