

ECONOMÍA Y FINANZAS

# MERCADOS ELÉCTRICOS VS. LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA Y SOSTENIBLE

**Fernando Lizana Moreno**

Noviembre 2024



Esta publicación consiste en un análisis de las incompatibilidades y barreras existentes en los mercados eléctricos liberalizados para el desarrollo de una transición energética justa. Con base en evidencia internacional, se desarrolló un sumario de problemas identificados tales como la canibalización de la energía solar, la aparición de precios negativos y los sobrepagos de la electricidad en situaciones de escasez.



Finalmente, se propuso una alternativa para el desarrollo de un modelo eléctrico que permita cumplir las premisas de la transición energética justa, avanzando hacia una economía descarbonizada, que tenga una relación sostenible con la naturaleza, que respete los límites al crecimiento de la economía y que asegure la justicia ambiental para todos los grupos humanos.



# CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>TRANSICIÓN ENERGÉTICA VS. LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>PLANIFICACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS</b>	<b>6</b>
3.1	Características inherentes al servicio eléctrico	6
3.2	Planificación indicativa vs. directiva	6
3.3	Mercados de corto y largo plazo en mercados eléctricos liberalizados	7
3.4	Planificación de la composición de la matriz eléctrica	7
3.5	Balance entre energía firme y energía variable	8
3.6	Expansión de la transmisión	8
3.7	Adecuación de los sistemas eléctricos	8
3.8	Servicios auxiliares	9
<b>4.</b>	<b>INCOMPATIBILIDADES ENTRE MERCADOS ELÉCTRICOS LIBERALIZADOS Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA. PROBLEMA 1: LIMITACIONES PARA DESARROLLO DE ELECTRICIDAD RENOVABLE</b>	<b>9</b>
4.1	Canibalización de la energía solar	9
4.2	Recortes de generación renovable	10
4.3	Alineamiento de los mercados liberalizados con la energía fósil	10
4.4	Elevada volatilidad de precios	10
4.5	Precios negativos	11
4.6	Elevado costo de capital para energías renovables	11
4.7	Alta dependencia de subsidios para el desarrollo de energía renovable	11
4.8	Crítica a mercados liberalizados para desarrollo renovable	11
<b>5.</b>	<b>PROBLEMA 2 – SERVICIOS AUXILIARES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS LIBERALIZADOS</b>	<b>12</b>
5.1	Dificultad de determinar servicios auxiliares <i>a priori</i> en mercados liberalizados	12
5.2	Costos excesivos de servicios auxiliares	12
5.3	Mercados de servicios auxiliares	12
5.4	Servicios auxiliares para la transición energética	12
<b>6.</b>	<b>PROBLEMA 3 – CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y SEGURIDAD ENERGÉTICA NACIONAL</b>	<b>13</b>
6.1	Valor de la energía firme en sistemas eléctricos	13
6.2	Desventajas de energías firmes en mercados liberalizados	13
6.3	Requerimiento de mercados de capacidad	13
<b>7.</b>	<b>PROBLEMA 4 – PÉRDIDA DE ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS</b>	<b>14</b>
7.1	Planificación indicativa vs. adecuación de los sistemas eléctricos	15
7.2	Sistemas eléctricos: máquina compleja que funciona como un sistema unitario	15
7.3	Adecuación de sistemas eléctricos como traje a la medida de cada país	15

<b>8.</b>	<b>PROBLEMA 5 – AUMENTO EN FACTURAS DE CLIENTES</b>	16
8.1	Aumento de facturación producto de subsidios en los mercados liberalizados	16
8.2	Aumento de facturación por servicios auxiliares para integración de renovables variables	16
8.3	Aumento de facturación por pérdida de adecuación del sistema eléctrico	16
8.4	Facturas eléctricas en situaciones de crisis energética	16
8.4.1	Caso de sobrecostos en período de crisis: Texas 2021	17
8.4.2	Caso de sobre costos en período de crisis: Europa 2022	17
8.4.3	Períodos de crisis en sistemas eléctricos regulados	17
<b>9.</b>	<b>PROBLEMA 6 – TRANSICIÓN ENERGÉTICA VS. OBJETIVOS COMERCIALES DE INVERSIONISTAS</b>	18
<b>10.</b>	<b>PROBLEMA 7 – EL VERDADERO ALCANCE DE LA PLANIFICACIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA</b>	18
10.1	Sostenibilidad considerando los límites de crecimiento de la economía	18
10.2	Planificación de muy largo plazo: una necesidad	19
10.3	Ventajas del modelo eléctrico de Costa Rica	19
<b>11.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS</b>	19
11.1	Democratización de la planificación y visión de largo plazo	19
11.2	Planificación de muy largo plazo	20
<b>12.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	20
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	22

## 1

## TRANSICIÓN ENERGÉTICA VS. LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los sistemas eléctricos se han establecido alrededor del mundo con estructuras organizacionales muy diversas. Estos modelos de organización varían en cada país o región, desde esquemas de monopolio controlado por el estado o el gobierno local hasta esquemas de mercado abierto con participación de empresas privadas de competencia. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés), las estructuras organizacionales de los sistemas eléctricos se pueden agrupar en seis categorías, según el nivel de apertura a la participación y competencia de inversionistas privados<sup>1</sup> (IRENA 2022).

Las cuatro primeras categorías se denominan usualmente como sistemas eléctricos regulados, en los que la participación de inversionistas privados en esquemas competitivos no está habilitada, o bien se limita a sectores específicos mediante subastas o contratos bilaterales. Por su parte, las dos últimas categorías corresponden con los llamados mercados eléctricos liberalizados. Este tipo de estructura organizacional se desarrolla mediante mercados competitivos en generación y comercialización de electricidad, habilitando la libre participación competitiva de inversionistas privados.

En el caso de los mercados eléctricos liberalizados, se han identificado una serie de incompatibilidades que dificultan el avance efectivo hacia una transición energética justa. Estas incompatibilidades se presentan debido a que estos mercados se desarrollaron en los años 80 y 90 del siglo pasado, cuando las energías renovables eran utilizadas marginalmente para la generación de electricidad y las matrices eléctricas eran dominadas por los combustibles fósiles. Por su parte, muchas de las características inherentes a las fuentes energéticas renovables variables, como la eólica y solar, provocan desalineamientos o inconsistencias con los esquemas de desarrollo y operación de los mercados eléctricos liberalizados.

Así, el presente análisis pretende caracterizar las barreras para la transición energética justa producidas por las estructuras organizacionales actuales de los sistemas eléctricos alrededor del mundo, con especial énfasis en los mercados liberalizados. Con esto, se pretende contribuir en la identificación de las variables necesarias para diseñar la evolución de los sistemas eléctricos y, de esta manera, concretar los objetivos de la transición energética justa.

## 2

## DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA

La llamada transición energética justa es un esfuerzo global impulsado por gobiernos nacionales, sectores productivos, organizaciones sociales y organismos multilaterales, como la Organización de las Naciones Unidas. Su promoción busca mitigar el cambio climático, dado que el sector energético aporta el 64 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Shukla et al. 2022).

Esta transición también permitirá habilitar muchas de las medidas de adaptación que serán requeridas a lo largo del siglo XXI, para que la población mundial pueda sobrevivir a los cambios en el entorno que se producirán por el calentamiento global. Consiste en un esfuerzo multigeneracional, en el que deben participar todas las personas que habitan el planeta y sus

descendientes, con el objetivo de estabilizar el clima global, para entregar a las siguientes generaciones un entorno estable donde vivir, en una sociedad sostenible.

Un componente vital para la transición energética es la descarbonización de los sistemas eléctricos alrededor del mundo. La electricidad producida mediante energías renovables habilita la posibilidad de mitigar las emisiones de numerosos servicios, aplicaciones y sectores de la economía que hoy se desarrollan mediante el uso de combustibles fósiles. Algunos ejemplos de mitigación de emisiones mediante el uso de electricidad renovable son la descarbonización del transporte, mediante el uso de vehículos eléctricos, la producción de vapor para usos industriales, mediante calderas eléctricas, o la producción de fertili-

<sup>1</sup> En orden de menor a mayor nivel de competencia con participación de inversionistas privados, estas categorías son las siguientes: monopolio, habilitación de productores independientes de electricidad, modelo de comprador único, habilitación de contratos bilaterales, mercados mayoristas de generación y mercados de comercialización de electricidad.

zantes, mediante amoníaco producido con hidrógeno verde<sup>2</sup>.

Es importante resaltar que la transición energética justa no se limita a la descarbonización del sector energético global. Es necesario que incluya dentro de su alcance la sostenibilidad social y ambiental. Es decir, la dimensión ambiental debe basarse en el uso racional de energía y materiales, para establecer una relación sostenible con la naturaleza que considere los límites materiales del planeta tierra. Con respecto a la dimensión social, la transición energética debe contemplar la justicia ambiental, asegurando el empleo de los sectores afectados por la transición, el respeto a las comunidades indígenas y campesinas amenazadas por la expansión minera e industrial y la participación generalizada de la población, a través de la democratización de los procesos de planificación y la expansión de los sistemas energéticos.

### 3

## PLANIFICACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

### 3.1. CARACTERÍSTICAS INHERENTES AL SERVICIO ELÉCTRICO

La planificación de la expansión de los sistemas eléctricos debe tomar en cuenta las características inherentes a este servicio. La electricidad es un vector energético que es difícil de almacenar de manera rentable, por lo que usualmente se produce en el mismo momento que se requiere. Es decir, un sistema eléctrico debe asegurar en cada segundo la producción de electricidad que está siendo demandada por el conjunto de clientes.

Para esto, usualmente se recurre a una matriz de fuentes energéticas complementarias que brinden la flexibilidad requerida para atender las variaciones de la demanda total de electricidad. En este aspecto, resultan críticos los momentos en que la demanda eléctrica llega a su máximo valor, ya que debe contarse con suficientes reservas energéticas para evitar un subabastecimiento del servicio eléctrico.

La seguridad energética requerida por los sistemas eléctricos usualmente se concreta por medio de la construcción de infraestructura de almacenamiento de las fuentes energéticas utilizadas en la producción de electricidad. Algunos ejemplos de esta infraestructura de almacenamiento energético son los tanques de combustibles fósiles, los embalses estacionales o los reservorios geotérmicos. En el mediano plazo, se espera que las baterías tengan un rol cada vez más preponderante en aplicaciones de almacenamiento de electricidad a gran escala, sin embargo, aún no resultan competitivas frente a otras alternativas tecnológicas.

Con relación a los sistemas eléctricos, se ha identificado la necesidad de que la transición energética incluya la reformulación de sus estructuras organizacionales. Esto es necesario para superar las barreras existentes para la descarbonización de las matrices eléctricas de los diferentes países y regiones alrededor del mundo. Esta reforma también es necesaria para habilitar la participación de las personas usuarias del servicio eléctrico en los procesos de operación, a partir de sistemas de generación distribuida, almacenamiento energético y gestión de la demanda.

En este punto cabe citar la recomendación de la IRENA, que propone incluir la evolución de las estructuras organizacionales de los sistemas eléctricos dentro de los planes de transición energética, como una condición necesaria para su desarrollo exitoso (IRENA 2022).

Otro aspecto relevante para la planificación de sistemas eléctricos es la separación geográfica entre los puntos de consumo a gran escala y la ubicación de las principales centrales de generación de electricidad. Esta situación implica la necesidad de contar con infraestructura de transporte de electricidad a gran escala, la cual se realiza usualmente mediante las líneas de alta tensión. Estas líneas operan a voltajes muy elevados para reducir las pérdidas de energía provocadas por la resistencia eléctrica de los cables conductores.

Estas características inherentes al servicio eléctrico implican factores condicionantes para los procesos de planificación y operación de la infraestructura de generación, transmisión y distribución de electricidad. En las siguientes secciones, se brindan detalles de las implicaciones para las diferentes metodologías de planificación utilizadas en la actualidad.

### 3.2. PLANIFICACIÓN INDICATIVA VS. DIRECTIVA

Los procesos de planificación de los sistemas eléctricos dependen de la estructura organizacional con la que están conformados. En el caso de los sistemas eléctricos regulados, se utilizan esquemas de planificación directiva, vinculante o mandatoria. En esta, una autoridad gubernamental establece una calendarización detallada de las inversiones que serán desarrolladas para la expansión de la infraestructura de generación, transmisión y distribución de electricidad. Este tipo de planificación se utiliza principalmente en los segmentos de transmisión y distribución eléctrica, por considerarse monopo-

<sup>2</sup> El hidrógeno verde se produce a partir de la separación de la molécula del agua, mediante el uso de electricidad producida con fuentes renovables de energía.

lios naturales, que no presentan condiciones favorables al desarrollo de mercados competitivos.

Por su parte, los mercados eléctricos liberalizados utilizan un esquema de planificación indicativa. Este tipo de planificación se utiliza en mercados competitivos para brindar información sobre pronósticos de demanda y sobre las metas y objetivos identificados en el largo plazo para las partes involucradas. Este tipo de planificación busca promover el direccionamiento de las inversiones públicas y privadas para consolidar el desarrollo de los requerimientos del mercado, sin establecer medidas obligatorias para las partes (Nielsen 2008). La planificación indicativa se utiliza principalmente en el segmento de generación de electricidad, en los países donde se han establecido mercados mayoristas para su desarrollo.

### 3.3. MERCADOS DE CORTO Y LARGO PLAZO EN MERCADOS ELÉCTRICOS LIBERALIZADOS

Los sistemas eléctricos liberalizados se implementan mediante la creación de varios mercados asociados a los servicios requeridos para su óptima operación. En el caso de los mercados de largo plazo, se implementan de dos maneras. Una es mediante contratos bilaterales de compraventa de electricidad, los cuales son negociados entre empresas de generación de electricidad y clientes particulares, usualmente provenientes del sector industrial.

Un segundo mecanismo para implementar mercados eléctricos de largo plazo es el desarrollo de subastas por servicios de capacidad o confiabilidad. Estas subastas son realizadas por parte de la entidad propietaria de la red eléctrica y consisten en la asignación de subsidios o pagos, mediante tarifas reguladas, a empresas propietarias de plantas de generación, o bien a empresas que pretendan construir una nueva planta. En este caso, por las características del servicio requerido, solo se pueden contratar centrales que aprovechen fuentes firmes de energía y que sean completamente despachables. Lo anterior, considerando que los contratos de capacidad o confiabilidad se utilizan para brindar seguridad energética al país o la región, al funcionar como una reserva de energía para períodos de baja disponibilidad.

Por otro lado, los mercados eléctricos de corto plazo se implementan mediante subastas en mercados mayoristas, mejor conocidos como mercados *spot*. Estos mercados operan, usualmente de manera diaria, recibiendo ofertas de electricidad por parte de las plantas generadoras para cada hora del día siguiente. Se recibe también la información de intenciones de compra por parte de las entidades habilitadas para adquirir electricidad en estos mercados, que, usualmente, son los grandes clientes industriales y comerciales, además de las empresas distribuidoras y comercializadoras de electricidad.

El operador de este mercado realiza un cruce entre las ofertas de electricidad y la demanda total, ordenando las ofertas de generación de menor a mayor precio hasta alcanzar la energía y potencia requerida para satisfacer la demanda prevista. Con esto, se determina el precio de equilibrio, el cual corresponde

con la oferta presentada por la última planta requerida para satisfacer la demanda prevista en cada hora del día siguiente (costo marginal). Este precio es luego pagado a todas las plantas que fueron seleccionadas para aportar electricidad al sistema eléctrico en esa hora, cerrando de esta manera el proceso de subasta diaria/horaria de electricidad.

### 3.4. PLANIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ ELÉCTRICA

En el caso de los sistemas eléctricos regulados, la planificación directiva establece la composición esperada de la matriz eléctrica a ser construida. Por ejemplo, en el caso de Costa Rica, el Plan de Expansión de la Generación realizado por el Instituto Costarricense de Electricidad define las plantas de generación que serán construidas en un periodo de 20 años (Instituto Costarricense de Electricidad 2023). Aquí, se establece de manera mandatoria las plantas que serán construidas por la institución estatal y las que serán desarrolladas por el sector privado. Con este tipo de planificación, se define *a priori* el nivel de aporte esperado por parte de las diferentes fuentes energéticas que componen el sistema eléctrico.

Este diseño preciso de la composición de la matriz eléctrica facilita la integración de fuentes renovables de energía. Debe mencionarse que estas fuentes energéticas dependen en su mayoría de las condiciones del tiempo. Por lo anterior, es conveniente aprovechar la complementariedad que puede presentarse entre las fuentes energéticas utilizadas, para minimizar los costos de inversión asociados al crecimiento del sistema eléctrico.

Por ejemplo, en los países ubicados en zonas tropicales, usualmente se presenta complementariedad entre la disponibilidad estacional de la energía hidroeléctrica y la solar. En los meses lluviosos, se tiene una elevada producción hidroeléctrica y, en la estación seca, se cuenta con abundante producción fotovoltaica. En este caso, un diseño preciso de la cantidad de potencia a instalar de estas dos fuentes energéticas, incluyendo infraestructura de almacenamiento, como son los embalses, permite optimizar el desarrollo de un parque de generación eléctrica renovable.

Existen otra serie de aspectos relevantes asociados a la capacidad de diseñar con precisión la composición de la matriz eléctrica; a saber, la seguridad energética, el balance entre energía firme y energía variable, la planificación de infraestructura de transmisión eléctrica, la adecuación de los sistemas eléctricos y el dimensionamiento de servicios auxiliares. Estos aspectos se comentarán más adelante en el presente ensayo.

La composición de la matriz eléctrica en los sistemas con mercados liberalizados, por su parte, es el resultado de las decisiones de inversión de las empresas e instituciones participantes. Es decir, la cantidad de energía eólica, solar, hidroeléctrica, térmica o de biomasa a ser interconectada al sistema eléctrico depende únicamente del interés o voluntad de quienes quieren participar del mercado eléctrico. Esto se da porque los sistemas eléctricos liberalizados no establecen barreras de ingreso al

mercado ni limitaciones de ningún tipo, a excepción de la normativa y reglamentación técnica mandatoria. De esta forma, se busca promover la libre competencia, con lo que se permite que cualquier empresa construya e interconecte al sistema eléctrico las plantas de generación que considere convenientes para participar en los mercados mayoristas de electricidad.

Esta condición de los mercados eléctricos liberalizados no permite establecer *a priori* la composición exacta de la matriz eléctrica a ser desarrollada en el horizonte de planificación. Por esta razón, se utiliza un esquema de planificación indicativa, que procura el alineamiento de las decisiones de inversión de las empresas e instituciones con las necesidades del mercado para atender la demanda futura.

La imposibilidad de planificar una composición determinada de la matriz eléctrica en los mercados liberalizados no permite optimizar el aporte complementario de las diferentes fuentes energéticas al sistema. Adicionalmente, esta condición provoca situaciones que dificultan la integración de energías renovables al sistema eléctrico, según se explicará en las siguientes secciones.

### 3.5. BALANCE ENTRE ENERGÍA FIRME Y ENERGÍA VARIABLE

Un aspecto crítico del proceso de planificación de los sistemas eléctricos es el balance requerido entre fuentes energéticas firmes vs. variables. En el caso de las fuentes de energía firme, pueden ser despachadas en cualquier momento que sean requeridas, como es el caso de las plantas que operan a partir de combustibles fósiles, de biomasa y de geotermia, así como las plantas hidroeléctricas que utilizan el agua de embalses de gran escala. Por otro lado, están las plantas cuya generación eléctrica es variable, es decir, la generación puede ser aprovechada solo cuando se tiene disponible el recurso energético, como las plantas eólicas, solares o las hidroeléctricas sin embalse estacional, también llamadas plantas a filo de agua.

Esta diferencia entre energía firme y variable se presenta por las características inherentes de cada fuente energética. En el caso de los combustibles fósiles o la geotermia, el almacenamiento de la fuente energética se puede implementar de manera rentable. Por su parte, las energías eólica y solar no se pueden almacenar, además de presentar variaciones de corto plazo. Por esta razón, se han denominado como fuentes variables de energía.

La incorporación de cantidades excesivas de fuentes variables de energía en un sistema eléctrico se considera una práctica inconveniente, ya que puede provocar fluctuaciones de potencia a gran escala que impliquen una desestabilización del sistema eléctrico, con lo que se aumenta la probabilidad de sufrir apagones.

Este riesgo está controlado en los sistemas eléctricos regulados, ya que el esquema de planificación directiva permite establecer de manera clara el balance esperado entre fuentes de energía firme y variable. Por el contrario, en mercados liberalizados, no es posible asegurar un balance determinado entre las plantas de energía firme y energía variable que serán incorporadas al sistema, pues no se incorporan mecanismos para

limitar la interconexión de nuevas plantas de generación en función de la fuente energética utilizada.

### 3.6. EXPANSIÓN DE LA TRANSMISIÓN

De forma adicional a la planificación de la infraestructura de generación de electricidad, los sistemas eléctricos requieren la planificación de la expansión de la infraestructura del subsistema de transmisión de electricidad. Este subsistema se conforma por las subestaciones y las líneas de alta tensión que permiten trasegar grandes cantidades de energía, desde los lugares donde se ubican las plantas de generación hacia las ciudades y centros de consumo de electricidad. Las líneas de alta tensión finalizan en subestaciones, donde el voltaje se reduce a los niveles utilizados para distribuir la electricidad a los clientes finales de los sectores residencial, comercial e industrial.

La planificación de la expansión del subsistema de transmisión se diseña para brindar seguridad operativa al sistema eléctrico y para permitir la extracción de energía en sitios de alto potencial. En este punto, es importante resaltar que la construcción de una subestación eléctrica y una línea de alta tensión tiene un costo relativamente elevado. Por lo anterior, es importante priorizar el desarrollo de esta infraestructura en sitios donde existan potenciales energéticos significativos.

El elevado costo de la infraestructura de transmisión eléctrica tiene implicaciones directas en el desarrollo de la infraestructura de generación. En ocasiones, no resulta rentable construir plantas de generación en emplazamientos con muy buenos potenciales energéticos (caudales de ríos, radiación solar, velocidad de viento) pero que están muy alejados de un punto de interconexión a la red de alta tensión.

En el caso de la planificación directiva, se puede establecer los puntos geográficos donde se pretende extraer electricidad producida con fuentes renovables de energía. Para esto, se puede cuantificar el potencial energético disponible en una región y, luego, diseñar infraestructura de transmisión que habilite en el largo plazo la extracción de dicha zona.

En contraste, en el caso de la planificación indicativa, no siempre es posible conocer *a priori* las ubicaciones que tendrán las futuras plantas de generación. Esto debido a que existe total libertad para el crecimiento del subsector en función de los intereses privados de los inversionistas involucrados. Esta situación dificulta la realización de una planificación integrada de los subsectores de generación y transmisión de electricidad, la cual aportaría eficiencia a las inversiones realizadas en un país o región para expandir su sistema eléctrico.

### 3.7. ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

La principal función del proceso descrito anteriormente es asegurar que la infraestructura de generación y transmisión de electricidad sea adecuada para brindar seguridad energética al país o región. Esta adecuación debe tomar en cuenta la complementariedad de las fuentes energéticas disponibles, según las variaciones meteorológicas a nivel estacional y de corto pla-



zo. En el caso de los países con generación hidroeléctrica, debe considerarse además el uso óptimo de los embalses estacionales para trasladar suficiente energía desde las estaciones con elevados caudales en los ríos hacia las estaciones que se caracterizan por bajos caudales y precipitaciones.

Otro aspecto que considerar son las restricciones existentes en la infraestructura de transmisión, que impone límites a la cantidad de energía que se puede transportar hacia los centros de consumo.

### 3.8. SERVICIOS AUXILIARES

Finalmente, debe resaltarse la importancia de los llamados servicios auxiliares para el proceso de planificación de la expansión y operación de los sistemas eléctricos. Estos servicios no aportan

energía o potencia eléctrica a los clientes finales, pero son fundamentales para la operación del sistema. Un ejemplo de servicio auxiliar es la reserva para regulación de frecuencia, que es aportada por las plantas de generación. Estas pueden aumentar rápidamente la potencia entregada para manejar eventos tales como la salida por emergencia de una planta de generación.

Otro ejemplo es la regulación de voltaje, requerida para mejorar la calidad de la tensión eléctrica trasgada por líneas de transmisión o distribución con longitudes significativas. Estos servicios auxiliares resultan críticos para la integración de las llamadas fuentes energéticas renovables variables, como la energía solar y eólica. Estas fuentes energéticas presentan grandes variaciones de potencia en períodos cortos, por lo que es necesario asegurar la suficiente capacidad de generación de respaldo para habilitar una integración segura de este tipo de plantas.

## 4

# INCOMPATIBILIDADES ENTRE MERCADOS ELÉCTRICOS LIBERALIZADOS Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA

## PROBLEMA 1: LIMITACIONES PARA DESARROLLO DE ELECTRICIDAD RENOVABLE

### 4.1. CANIBALIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

Uno de los problemas de los mercados eléctricos liberalizados es la incapacidad de limitar el desarrollo excesivo de fuentes energéticas que puedan inestabilizar el sistema eléctrico. Esto se da porque, según se mencionó anteriormente, una de las premisas establecidas para la implementación de este tipo de mercados es la eliminación de las barreras y las restricciones para que cualquier entidad o inversionista pueda interconectar una nueva planta de generación al sistema eléctrico.

Si los inversionistas deciden invertir masivamente en plantas solares fotovoltaicas, por ejemplo, los mercados eléctricos liberalizados no establecen mecanismos para limitarlos. Esto puede provocar fluctuaciones masivas de electricidad, que podrían no ser manejadas adecuadamente por el sistema eléctrico y aumentar el riesgo de apagones<sup>3</sup>.

Este fenómeno se ha presentado en la mayoría de los mercados eléctricos liberalizados, principalmente, con la energía solar y ha sido denominado canibalización de la energía solar (López Prol et al. 2020). Este fenómeno ocurre por las pocas barreras de entrada existentes para que nuevos inversionistas

construyan plantas solares; además, debido a su bajo costo, a la rapidez con que pueden desarrollarse y la simplicidad de la tecnología, con respecto a otras alternativas para la generación eléctrica.

En este caso, la canibalización se da porque la energía fotovoltaica no solo es la tecnología de menor costo para la producción de electricidad, sino que tiene costos variables prácticamente nulos en su operación, al utilizar una fuente energética gratuita. Esto ha promovido que los propietarios de plantas solares participen en el mercado *spot* ofreciendo bloques de electricidad a precios muy reducidos o, inclusive, de manera gratuita (precio=cero). Tal situación ha provocado que, en muchas ocasiones, el precio de equilibrio en el mercado *spot* sea también cero, con lo que los generadores que participen en la venta de electricidad deben aportar generación sin recibir ningún pago, a excepción de los subsidios que reciben en muchos de los mercados eléctricos.

El efecto de este fenómeno ha sido una desaceleración de la instalación de plantas de generación renovable en mercados liberalizados, debido a la baja tasa de ganancia obtenida por los inversionistas. Este fenómeno se denominó como la cani-

<sup>3</sup> La incorporación de grandes cantidades de energía solar en un sistema eléctrico provoca fluctuaciones diarias de potencia al amanecer y al atardecer, cuando todas las plantas arrancan o paran de manera simultánea. Estas variaciones pueden generar cambios en la frecuencia del sistema (50 o 60 hercios (Hz), dependiendo del país) que puede a su vez provocar desconexiones de otras plantas de generación por disparo de protecciones. En casos extremos esto puede generar apagones.

balización de la energía solar, debido a que la acelerada instalación de este tipo de plantas en una etapa inicial provocó la reducción de ganancias de todas las empresas desarrolladoras de plantas de generación renovable.

#### 4.2. RECORTES DE GENERACIÓN RENOVABLE

Asociado al desarrollo excesivo de plantas eólicas y solares, se presenta cada vez con más frecuencia el recorte de este tipo de generación (*renewable energy curtailment*). Este recorte significa que el operador del sistema eléctrico debe desconectar plantas de generación eólicas o solares debido a restricciones técnicas para su integración a la red. Estas restricciones pueden darse por falta de capacidad de trasiego en las redes de transmisión, o por la falta de disponibilidad de reservas para regulación de frecuencia, por ejemplo. En este segundo caso los recortes se implementan para evitar que la excesiva cantidad de generación renovable variable pueda provocar apagones que terminen afectando a todos los usuarios.

Actualmente hay países que experimentan altas tasas de recorte de generación renovable. Se tienen los casos de Chile con 6,1 % de recorte anual promedio de energías renovables, e Irlanda con 7,8 % de recorte anual (datos del 2022). Estos casos se han presentado producto de la elevada instalación de energía solar y eólica y por retrasos en el desarrollo de refuerzos en la infraestructura de transmisión eléctrica (International Energy Agency 2023b).

#### 4.3. ALINEAMIENTO DE LOS MERCADOS LIBERALIZADOS CON LA ENERGÍA FÓSIL

Una de las causas que se ha planteado para los problemas de recorte de generación renovable y canibalización de la energía solar, es la inadecuación de los mercados liberalizados para el desarrollo de las fuentes energéticas renovables. Debe tomarse en cuenta que la liberalización de mercados eléctricos se dio cuando la mayor parte de la electricidad se producía a partir de combustibles fósiles. Este tipo de plantas de generación se caracterizan por tener un costo variable elevado (costo de operación), relacionado con el precio del combustible (carbón, gas

natural, búnker, diésel). Adicionalmente, son plantas que presentan un elevado costo de oportunidad por ser despachables. Esto implica que pueden reservar su capacidad de generación para momentos de precios elevados en los mercados eléctricos, o para eventos donde se requiera el aporte de servicios auxiliares.

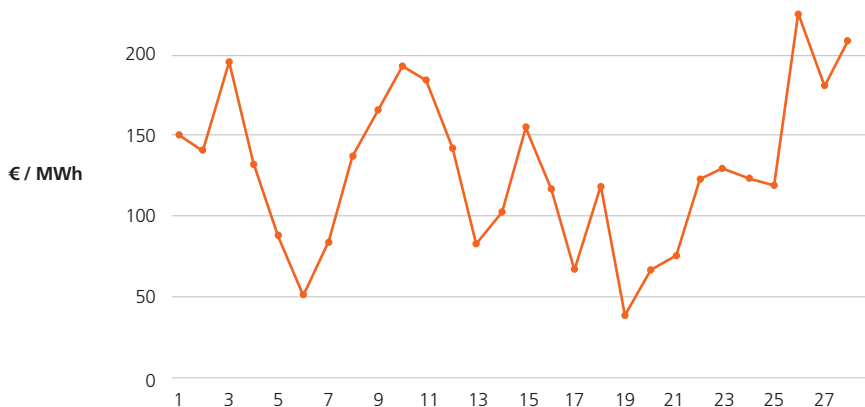
Por su parte, las tecnologías renovables de mayor desarrollo actual (eólica y solar) presentan características opuestas a la generación fósil. El costo de oportunidad de estas plantas es nulo, al no contar con mecanismos competitivos de almacenamiento energético que les permita reservar su capacidad para momentos en que los precios de mercado estén elevados. Adicionalmente, el costo variable de estas plantas es muy reducido, por lo que pueden participar en el mercado *spot* ofreciendo precios bajos o inclusive precios nulos.

#### 4.4. ELEVADA VOLATILIDAD DE PRECIOS

Otra barrera existente para el desarrollo de energías renovables mediante mercados eléctricos liberalizados es la excesiva volatilidad de precios en los mercados mayoristas. Las características mencionadas para las tecnologías de generación a partir de fuentes energéticas renovables han provocado que se presenten variaciones drásticas en el precio de la electricidad en los mercados liberalizados. En algunos casos, la variación de precios se da por la disponibilidad de fuentes energéticas. Por ejemplo, en algunas ocasiones donde toda la demanda eléctrica de un país o región puede ser atendida a partir de energía barata, como la eólica y solar, se presenta una caída de los precios mayoristas, los cuales bajan a su nivel mínimo.

Por el contrario, en momentos de alta demanda y poca disponibilidad de recursos renovables, los precios llegan a su nivel máximo, al tener que incorporarse plantas térmicas. En la figura 1, se muestra un gráfico de los precios diarios de electricidad en el mercado de los países nórdicos en Europa, llamado Nord Pool, para el mes de febrero de 2022. Se puede apreciar que los precios experimentan una gran variación diaria, desde los €40/MWh el 19 de febrero hasta llegar a €225/MWh una semana después, con un aumento del 562 % en el precio diario (Christophers 2024).

Figura 1  
Precios diarios de electricidad en el Nord Pool para el mes de febrero 2022



Fuente: Christophers 2024.

#### 4.5. PRECIOS NEGATIVOS

Debe resaltarse también la aparición cada vez más frecuente de precios negativos en los mercados *spot*. Este fenómeno se presenta principalmente por las estrategias de precios de las plantas de generación que operan con turbinas de vapor, como es el caso de las plantas de carbón, plantas nucleares o geotérmicas. Estas plantas deben incurrir en costos significativos cada vez que realizan un ciclo de arranque y paro. Por lo anterior, la estrategia de precios para participar en los mercados mayoristas por parte de estos generadores implica la presentación de precios negativos, para evitar quedar fuera de la subasta.

Esto ha provocado que se presenten precios negativos de electricidad de manera creciente en algunos mercados eléctricos. Por ejemplo, para el año 2023, durante el 13 por ciento de las horas diurnas se tuvieron precios negativos en el mercado eléctrico mayorista de Francia. En el caso de Alemania, esta situación se presentó en el 18 por ciento de las horas diurnas y, en Países Bajos, llegaron a un nivel del 20 por ciento de las horas diurnas (S&P Global 2023).

Sobra decir que la aparición de precios negativos en los mercados eléctricos es un síntoma de la existencia de problemas estructurales en su conformación. En la práctica, esto implica que las empresas productoras deben pagar a los clientes para que “compren” sus productos. El crecimiento de este fenómeno debería servir de incentivo para el análisis de alternativas a la estructura de organización de los mercados eléctricos, para procurar un mejor alineamiento con las características inherentes a las fuentes renovables de energía.

#### 4.6. ELEVADO COSTO DE CAPITAL PARA ENERGÍAS RENOVABLES

Los fenómenos indicados anteriormente, canibalización de energía solar, crecientes recortes de generación renovable, volatilidad de precios y aparición de precios negativos, han contribuido a que las entidades financieras establezcan altas tasas de interés para el financiamiento de nuevos proyectos de generación. Esta es una medida razonable ante la elevada incertidumbre en la recuperación de la inversión para las plantas de generación que participan en mercados liberalizados.

Esta situación tiene un efecto significativo en el desarrollo de la generación renovable, debido a la estructura de financiamiento de este tipo de plantas. En el caso de la energía solar fotovoltaica, la inversión inicial representa alrededor del 90 por ciento del costo total incluyendo la operación durante 20 años. En el caso de la energía eólica, ese costo inicial representa alrededor del 80 por ciento del costo total, considerando todo el período de operación (Christophers 2024).

Esta estructura financiera provoca que los inversionistas interesados en desarrollar plantas de generación a partir de fuentes renovables de energía busquen apalancar su inversión en préstamos con entidades financieras. Así, la decisión de desarrollar el proyecto finalmente es tomada por los bancos, quienes buscarán medidas para reducir el elevado riesgo de invertir en una planta que debe recuperar la inversión inicial con una operación de largo plazo.

#### 4.7. ALTA DEPENDENCIA DE SUBSIDIOS PARA EL DESARROLLO DE ENERGÍA RENOVABLE

Producto de las situaciones descritas en el presente capítulo, en casi la totalidad de los mercados liberalizados, se han tenido que establecer subsidios para la energía renovable. Se ha comprobado que, sin la existencia de estos subsidios, se desacelera drásticamente el desarrollo de nuevas centrales de generación renovable (Christophers 2024).

Como ejemplo de estos subsidios, se puede citar la ley para la reducción de la inflación de EE.UU. (*Inflation Reduction Act*), aprobada en 2022. Con esta ley, se estableció un subsidio masivo para desarrolladores de energías renovables en ese país, mediante la exoneración de impuestos. Los recursos aportados por esta ley ascienden a un total de USD \$210 000 millones para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica con bajas emisiones. Otros países con gastos significativos para la promoción de inversiones en generación renovable son Australia, con \$29 400 millones, China con \$27 100 millones, España con \$6 000 millones y Colombia con \$2 700 millones (International Energy Agency 2023a).

Otro tipo de subsidios son los destinados para la construcción de plantas que operen a partir de fuentes de energía firme. Estos subsidios se otorgan mediante subastas en los llamados mercados de capacidad o mercados de confiabilidad. Las condiciones específicas de estos mercados serán descritas más adelante en el presente documento.

#### 4.8. CRÍTICA A MERCADOS LIBERALIZADOS PARA DESARROLLO RENOVABLE

Por los aspectos mencionados anteriormente, algunas organizaciones internacionales y personas expertas en el tema han planteado la necesidad de valorar el abandono de los mercados liberalizados para el desarrollo de la energía renovable. Por ejemplo, un reporte de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico evidencia la existencia de un debate sobre la conveniencia de gestionar la participación del sector privado en la generación eléctrica mediante subastas y contratos de compra de electricidad (*power purchase agreements, PPA*) en contraste con la opción de continuar con la habilitación de mercados eléctricos liberalizados (International Energy Agency & Organization for Economic Cooperation and Development 2016).

Por su parte, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) ha resaltado los beneficios de modelos eléctricos regulados, como el caso de Costa Rica. Este país mantiene un modelo de comprador único en la figura de una institución estatal, encargada de la planificación directiva de los subsistemas de generación, transmisión y distribución. La IRENA resaltó además que Costa Rica cuenta con una participación limitada y dirigida del sector privado y con capacidades centralizadas de planificación en una institución estatal robusta con un rol claro establecido mediante ley, lo que le da ventajas para realizar las transformaciones a gran escala requeridas por la transición energética (IRENA 2022).

## 5

## PROBLEMA 2 – SERVICIOS AUXILIARES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS LIBERALIZADOS

### 5.1. DIFICULTAD DE DETERMINAR SERVICIOS AUXILIARES A PRIORI EN MERCADOS LIBERALIZADOS

Un aspecto crítico en la operación de los sistemas eléctricos son los servicios auxiliares. En los sistemas eléctricos regulados, la planificación directiva utilizada para su desarrollo permite determinar de antemano las características requeridas para los servicios auxiliares que serán necesarios en la operación del sistema eléctrico. Por ejemplo, la cantidad de energías renovables variables que serán integradas al sistema es una decisión que se establece en el proceso de planificación, en función de las capacidades de integración existentes en el sistema eléctrico.

Por el contrario, en mercados eléctricos liberalizados desarrollados mediante planificación indicativa, estos servicios no se pueden determinar con antelación, de manera que la matriz eléctrica resultante y la cantidad de energías renovables variables que serán integradas depende totalmente de las decisiones de los inversionistas.

### 5.2. COSTOS EXCESIVOS DE SERVICIOS AUXILIARES

Un ejemplo de problemas asociados a los servicios auxiliares es el eventual desarrollo acelerado de plantas solares y eólicas. Estas plantas pueden generar grandes fluctuaciones de potencia, que requerirán la adición de plantas de respaldo para proveer reservas de regulación de frecuencia y gestión de rampas de generación. En caso de no contar con reservas suficientes, se pueden provocar apagones generalizados.

Por lo anterior, un desarrollo desmedido de estas fuentes de generación puede provocar sobrecostos en el sistema eléctrico, al requerirse la integración de nuevas líneas de transmisión y plantas de generación para aportar las reservas requeridas y para dar seguridad operativa al sistema.

En la práctica, según se mencionó en el capítulo anterior, lo que ha ocurrido en mercados liberalizados es que, ante la imposibilidad de integrar grandes cantidades de energía renovable variable, se han acrecentado los recortes de este tipo de

generación, con la consiguiente pérdida de ingresos para los propietarios.

### 5.3. MERCADOS DE SERVICIOS AUXILIARES

El aprovisionamiento de servicios auxiliares en mercados eléctricos liberalizados se ha desarrollado mediante la implementación de mercados específicos para este tipo de servicios. Sin embargo, este mecanismo no ha representado una solución a los problemas mencionados. Adicionalmente, se han mantenido los sobrecostos producto de la necesidad de pagar tarifas atractivas para los inversionistas interesados en participar en este tipo de mercados.

### 5.4. SERVICIOS AUXILIARES PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Finalmente, debe resaltarse la evolución requerida en los servicios auxiliares para la habilitación de la transición energética. Un ejemplo de esta evolución es la inercia del sistema. Se refiere a la velocidad con que baja la frecuencia de 50 o 60 hertzios del voltaje del sistema eléctrico, ante la pérdida de una unidad de generación. Esta velocidad depende del momento de inercia de las turbinas y los generadores rotatorios conectados al sistema.

Con el desarrollo creciente de plantas de generación que no utilizan generadores rotatorios, como las plantas fotovoltaicas o las baterías, la inercia del sistema puede reducirse a niveles críticos, que no permitan gestionar adecuadamente salidas de emergencia de plantas de generación. Por lo anterior, es necesario integrar plantas que puedan brindar inercia sintética al sistema.

También, se requerirá implementar otros servicios auxiliares que cobran fuerza con la transición energética, tales como la gestión de rampas de generación renovable, el almacenamiento energético estacional, entre otros. Conforme avance la transición, será necesario diseñar nuevos servicios auxiliares que permitan asegurar la total descarbonización de los sistemas energéticos nacionales.

## 6

## PROBLEMA 3 – CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS Y SEGURIDAD ENERGÉTICA NACIONAL

### 6.1. VALOR DE LA ENERGÍA FIRME EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Según se mencionó anteriormente, existen diferencias significativas entre las fuentes de energía firme y las de energía variable. Las plantas de generación eléctrica a partir del primer tipo de energía pueden ser despachadas en cualquier momento. Esto es gracias a que estas fuentes de energía pueden ser almacenadas de manera técnica y económicamente factible. Ejemplos de este tipo de almacenamiento son los tanques de combustible de las plantas térmicas, los embalses con capacidad de almacenamiento multianual asociados a centrales hidroeléctricas o los campos geotérmicos explotados para la producción de electricidad.

Este tipo de plantas de generación tienen un costo nivelado<sup>4</sup> de electricidad mayor a las plantas eólicas y solares. Sin embargo, las plantas de energía firme aportan mayor valor al sistema eléctrico, porque pueden participar en todos los servicios auxiliares. Además, brindan confiabilidad y seguridad energética al sistema ante salidas de emergencia de otras plantas de generación o en períodos de sequía o de escasez de recursos energéticos. Por lo anterior, resulta fundamental asegurar una cantidad adecuada de energía firme disponible en todo momento para la operación confiable de un sistema eléctrico. Este aspecto cobra mayor relevancia ante el acelerado desarrollo de la energía eólica y solar, que depende de la existencia de suficiente energía firme en el sistema para manejar las fluctuaciones de estas fuentes energéticas.

### 6.2. DESVENTAJAS DE ENERGÍAS FIRMES EN MERCADOS LIBERALIZADOS

Este mayor costo de las energías firmes implica que tienen una desventaja a la hora de participar en el mercado mayorista, donde las energías renovables variables pueden ofrecer precios menores por la electricidad a ser transada. También, es importante resaltar que los proyectos hidroeléctricos con gran embalse y los proyectos geotérmicos requieren financiamiento significativo y un período extenso para el desarrollo de los estudios en la etapa de preinversión. Luego, en la etapa de construcción, también se enfrentan períodos extensos, en comparación con el tiempo requerido para construir una planta eólica o solar.

### 6.3. REQUERIMIENTO DE MERCADOS DE CAPACIDAD

Por las razones mencionadas anteriormente, los mercados liberalizados requieren un mecanismo que permita asegurar las condiciones adecuadas para la construcción de plantas de generación a partir de energía firme. Esto se ha implementado alrededor del mundo con los llamados mercados de capacidad o mercados de confiabilidad, según el país de referencia. Estos mercados funcionan mediante subsidios o tarifas reguladas que son asignadas a los desarrolladores mediante subastas. El propietario de la red promueve las mencionadas subastas de capacidad. Con estas, se establecen contratos con empresas desarrolladoras de nuevas plantas de generación con energía firme o con empresas propietarias de plantas ya construidas.

En dichos contratos, se asumen compromisos de entrega de energía para los diferentes meses del año. Los plazos pueden ir desde varios meses hasta 20 años, dependiendo de las condiciones particulares de cada mercado. A cambio, los contratistas reciben un subsidio o pago fijo por la capacidad aportada por su planta de generación al sistema eléctrico. De esta forma, se asegura la construcción de plantas de energía firme, a pesar de no resultar rentables con las condiciones predominantes en los mercados eléctricos liberalizados.

Estos contratos de capacidad buscan asegurar que el operador del sistema cuente con reservas suficientes para atender la demanda en casos de escasez de energía. También, se utilizan para contar con reservas para gestionar variaciones de corto plazo en la energía entregada por las fuentes variables. Este mecanismo requiere que la entidad encargada de la planificación del crecimiento y operación del sistema pronostique las cantidades de energía firme que serán requeridas en el futuro. Luego, debe asegurar la implementación de suficientes contratos de capacidad para evitar situaciones de baja confiabilidad en la operación del sistema eléctrico.

Es importante resaltar también que la liberalización de los mercados de generación eléctrica implica convertir la electricidad en un bien producido bajo una lógica comercial. De esta forma, las diferentes plantas de generación participan en los mercados eléctricos procurando maximizar el beneficio

<sup>4</sup> Costo nivelado de energía: Usualmente se indica en centavos de dólar estadounidense por kilovatio por hora (c\$/kWh). Se calcula mediante la suma de todos los costos de inversión y de operación de una planta de generación, divididos entre toda la energía eléctrica producida a lo largo de su vida útil. Permite comparar costos de la energía producida a partir de diferentes tecnologías y fuentes energéticas, pero no hace diferencia entre fuentes de energía variable o firme (IRENA 2024).

económico obtenido. Por esta razón, se debe brindar un pago por confiabilidad a las plantas de energía firme que deben ser reservadas para brindar seguridad operativa al sistema eléctrico ante contingencias, ante paradas inesperadas en otras plantas de generación o para el manejo de casos de desabastecimiento por sequía.

Si estos pagos no resultan atractivos para las empresas de generación eléctrica, podrían tomar la decisión de utilizar la energía firme para obtener beneficios económicos mediante transacciones en el mercado *spot* o contratos directos con consumidores de gran escala.

Debe resaltarse también que, en muchas ocasiones, los mercados de confiabilidad son captados en su mayoría por plantas de generación a partir de combustibles fósiles. Esto se debe a que, alrededor del mundo, son muy pocos los países que cuentan con más del 90 por ciento de la electricidad producida con fuentes renovables. Solo casos como Costa Rica, Paraguay, Islandia o Dinamarca están en ese avanzado nivel de descarbonización. En contraste, países como EE.UU., Alemania, Reino Unido, México, Chile, entre otros, producen la mayor parte de la electricidad a partir de combustibles fósiles.

Por lo anterior, en este último grupo de países, se ha impulsado el desarrollo de plantas de generación a partir de gas na-

tural. Estas buscan aportar energía firme al sistema y, con eso, habilitar la instalación de nuevas plantas eólicas y solares. Sin embargo, es claro que el uso de fuentes energéticas fósiles para aportar energía firme a los sistemas eléctricos no permite consolidar su descarbonización. Esta situación también refleja la dificultad de ofrecer incentivos suficientes para que inversionistas privados construyan centrales hidroeléctricas con embalses estacionales o plantas geotérmicas. El elevado costo y tiempo requerido para los estudios de preinversión y la incertidumbre asociada a este tipo de construcciones por riesgos geológicos y constructivos no siempre son compensados por los incentivos.

Finalmente, cabe resaltar que los pagos regulados por capacidad o confiabilidad otorgados a plantas de generación con energías firmes representan un subsidio adicional requerido para la implementación de mercados eléctricos liberalizados. De esta forma, este tipo de mercados requiere subsidios para la instalación de energías renovables (para evitar los problemas de la canibalización de la energía solar). Además, son necesarios subsidios para las plantas de energía firme requeridas para asegurar la confiabilidad del sistema. El resultado es que una gran cantidad de plantas de generación reciben subsidios por su participación en los llamados mercados liberalizados.

## 7

### PROBLEMA 4 – PÉRDIDA DE ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los problemas comentados hasta el momento, provocados por la liberalización de los mercados de generación eléctrica, reducen el nivel de adecuación de la infraestructura que conforma los sistemas eléctricos. La adecuación de un sistema eléctrico se refiere a su capacidad de suplir la energía y la potencia requeridas por los consumidores en todo momento, considerando cortes de energía programados y no programados dentro de lo razonable. Esta adecuación depende de la composición de la matriz de fuentes energéticas utilizadas para satisfacer la demanda, de la disponibilidad de servicios auxiliares y de la infraestructura de transmisión eléctrica existente para transportar la energía hacia los sitios donde se ubican los principales centros de consumo (International Energy Agency & Organization for Economic Cooperation and Development 2016).

La apertura sin restricciones al desarrollo e interconexión de nuevas plantas de generación a los sistemas eléctricos provoca una instalación excesiva de energía eólica y solar, lo que gene-

ra la llamada canibalización de la energía solar. Esta situación ocurre porque estas son las tecnologías de menor costo y tiempo de construcción. La sobre instalación de fuentes de energía variable podría poner en riesgo la estabilidad del sistema por la introducción de fluctuaciones de energía eléctrica a gran escala. Para manejar la integración de estas fuentes de energía variable de manera segura, se requiere la construcción de nueva infraestructura de transmisión y nuevas plantas de generación para brindar servicios auxiliares en forma de reservas de respaldo y para gestión de las fluctuaciones de potencia, lo que encarece el costo del sistema eléctrico y, por ende, las facturas hacia la población.

Adicionalmente, la canibalización de la energía solar provoca que se reduzca la rentabilidad de los propietarios de centrales de generación eléctrica, por causa de la reducción de precios en el mercado eléctrico mayorista.

### 7.1. PLANIFICACIÓN INDICATIVA VS. ADECUACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Adicionalmente, los esquemas de planificación indicativa provocan la pérdida de mecanismos para planificar de manera precisa la composición de la matriz eléctrica y el dimensionamiento de los servicios auxiliares que serán requeridos para la integración de mayores niveles de energías renovables variables (eólica y solar).

Según el recuento anterior, se puede afirmar que los mercados eléctricos liberalizados no facilitan la adecuación de los sistemas eléctricos descarbonizados.

### 7.2. SISTEMAS ELÉCTRICOS: MÁQUINA COMPLEJA QUE FUNCIONA COMO UN SISTEMA UNITARIO

En este punto, cabe resaltar una característica técnica relevante de los sistemas eléctricos. Por el elevado nivel de complejidad que incorporan en su conformación y por el impacto que produjeron en la vida humana, fueron declarados el mejor desarrollo de ingeniería del siglo XX por la Academia Nacional de Ingeniería de EE.UU. (Wulf 2000).

Consisten en sistemas que debe funcionar como una sola máquina, ya que todos los equipos conectados tienen exactamente la misma señal de tensión a una frecuencia equivalente de 50 o 60 hercios (Hz). Esto quiere decir que cualquier planta de generación que se interconecte a la red debe estar sincronizada a nivel de microsegundos, para entregar energía a la red con la misma señal que tiene el sistema. Cualquier perturbación que provoque un cambio significativo en la señal del sistema puede causar un fallo generalizado o apagón.

En referencia a las consideraciones específicas de cada país o región, debe reiterarse que cada sistema eléctrico es un traje a

la medida. Se conforma en función de las fuentes energéticas disponibles en una región. También, se toman en cuenta las condiciones geográficas, actividades económicas, dispersión de la población, interconexiones con otros sistemas, entre otras características específicas a cada región.

Por ejemplo, los países mencionados anteriormente con sistemas eléctricos con más del 90 por ciento de descarbonización. En el caso de Dinamarca, tiene grandes cantidades de energía eólica, respaldada mediante interconexiones muy robustas con Noruega, Holanda y Alemania mediante las cuales puede trasegar más del 110 por ciento de la demanda máxima de electricidad del país. Por su parte, Islandia tiene abundante energía hidroeléctrica y geotérmica, con la particularidad de que su población total es poco numerosa (382 000 habitantes en 2022). En el caso de Paraguay, cuenta con participación en el Proyecto Binacional Itaipú, desarrollado en conjunto con Brasil, con una potencia de 14 GW. Este, sumado al aporte de otras centrales hidroeléctricas y eólicas, le permite contar con un 100 por ciento de generación eléctrica renovable en el país.

### 7.3. ADECUACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS COMO TRAJE A LA MEDIDA DE CADA PAÍS

Lo mencionado anteriormente reafirma la importancia de considerar los aspectos particulares de cada país o región para asegurar la adecuación de su sistema eléctrico. También, sirve para resaltar la conveniencia de diseñar de manera específica el desarrollo de la infraestructura de generación y transmisión, así como la composición de la matriz eléctrica, que asegura la calidad y confiabilidad del servicio eléctrico. Esto resulta incompatible con la premisa de desarrollo libre de la matriz eléctrica, según las reglas de interconexión de nuevas plantas de generación establecidas en los mercados eléctricos liberalizados.

## 8

## PROBLEMA 5 – AUMENTO EN FACTURAS DE CLIENTES

### 8.1. AUMENTO DE FACTURACIÓN PRODUCTO DE SUBSIDIOS EN LOS MERCADOS LIBERALIZADOS

Los mercados eléctricos liberalizados dependen de subsidios para asegurar la integración de fuentes renovables de energía y para la incorporación de fuentes de energía firmes. Según se comentó anteriormente, los mercados liberalizados presentan limitaciones para la integración de energías renovables, producto de la canibalización de la energía solar. Por lo anterior, la mayoría de los países con este tipo de mercados han tenido que establecer subsidios adjudicados mediante subastas, con los cuales promover la construcción de nuevas plantas de generación a partir de fuentes energéticas renovables.

Otro subsidio necesario para afianzar la seguridad operativa y energética de los sistemas eléctricos es el pago por capacidad o confiabilidad realizado a empresas propietarias de centrales de generación de energía firme. Estos subsidios se asignan mediante subastas y buscan asegurar la disponibilidad de reservas energéticas para períodos de escasez y para el manejo de contingencias en la red. Se utilizan para comprometer la capacidad de generación firme de plantas existentes, o bien para reducir el riesgo de inversión para empresas que pretenden iniciar la construcción de una nueva central de generación.

Lo citado en los párrafos anteriores evidencia que las empresas de generación participantes en los mercados eléctricos liberalizados reciben subsidios, ya sea por aporte de energía renovable o por reserva de generación para asegurar capacidad y confiabilidad. Esto representa una incoherencia con la denominación de los mercados eléctricos liberalizados, ya que en teoría la competencia comercial debería establecerse sin existir ventajas ni subsidios para ninguno de los participantes. Debe mencionarse que los subsidios indicados deben ser pagados por los clientes del sistema eléctrico, con la consiguiente afectación en sus tarifas asociadas al servicio eléctrico.

### 8.2. AUMENTO DE FACTURACIÓN POR SERVICIOS AUXILIARES PARA INTEGRACIÓN DE RENOVABLES VARIABLES

Otra consecuencia de la liberalización de los mercados de generación de electricidad es el aumento en los costos de servicios auxiliares requeridos para integrar grandes cantidades de energía eólica y solar. Según se comentó anteriormente, estas fuentes de energía son de naturaleza variable, por lo que pueden generar fluctuaciones de potencia eléctrica, inestabilizar el sistema y provocar apagones. Para evitar esto, se debe desarrollar nueva infraestructura de transmisión eléctrica y con-

tratar nuevos servicios auxiliares que permitan integrar estas cantidades crecientes de energía variable de manera segura. Estos costos adicionales deben ser financiados mediante la facturación de los usuarios del sistema eléctrico, con la consecuente presión al alza de dichas facturas.

En el caso de los sistemas eléctricos regulados, la integración de fuentes renovables variables de energía se puede diseñar para mantener niveles limitados de incorporación de nuevas plantas de generación. De esta forma, se pueden evitar sobrecostos asociados al desarrollo excesivo de nueva infraestructura de transmisión o a la contratación de volúmenes crecientes de reservas mediante servicios auxiliares. De esta forma, se pueden evitar sobrecostos significativos para los clientes finales.

### 8.3. AUMENTO DE FACTURACIÓN POR PÉRDIDA DE ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Otra situación que provoca un aumento en la facturación de los clientes es la pérdida de adecuación de los sistemas eléctricos. El desarrollo no controlado de la matriz eléctrica en los mercados liberalizados puede provocar costos excesivos en el desarrollo de infraestructura de transmisión eléctrica o en la contratación de servicios auxiliares requeridos para darle estabilidad al sistema. Estos costos deben ser recuperados mediante la facturación de los clientes del sistema eléctrico.

En el caso de los sistemas eléctricos regulados, los costos asociados a la integración de fuentes energéticas variables, al desarrollo de infraestructura de transmisión y a los servicios auxiliares puede limitarse. Lo anterior, mediante el diseño de la conformación de una matriz eléctrica óptima para la reducción de costos de inversión.

### 8.4. FACTURAS ELÉCTRICAS EN SITUACIONES DE CRISIS ENERGÉTICA

Uno de los aspectos más críticos de los mercados liberalizados es el enorme sobrecosto que se genera en situaciones de escasez de energía, con consecuencias muy duras para los bolsillos de la población usuaria. Según se mencionó, en el caso de los sistemas eléctricos regulados se tienen medidas para proteger a la clientela ante subidas desmedidas de la factura eléctrica producidas por la escasez de fuentes energéticas. Adicionalmente, los eventuales sobrecostos implicados en el uso de la generación térmica o generación de elevado costo en épocas de escasez o de sequía se diluyen en un período relativamente extenso, reduciendo el impacto hacia los clientes finales.



Por el contrario, en mercados liberalizados, las situaciones de escasez de energía provocan sobrecostos de muy gran escala, los cuales deben ser cubiertos por los usuarios y por las empresas comercializadoras de electricidad. Los eventos de escasez energética han provocado gigantescas transferencias de riqueza desde la población hacia las empresas productoras de electricidad y, en muchos casos, ha generado la quiebra de entidades comerciales o la consolidación de deudas gigantescas que deberán ser honradas en los años subsiguientes.

#### **8.4.1. Caso de sobrecostos en período de crisis: Texas 2021**

Un ejemplo de estos sobrecostos fue el ocurrido en la crisis energética de Texas en 2021. En febrero de ese año, la tormenta de nieve Uri provocó temperaturas de hasta  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , provocando la salida de una gran cantidad de plantas de generación eléctrica a partir de gas natural. Esto ocasionó una situación de escasez energética, pues no se contaba con suficiente generación para abastecer la demanda del estado.

Además, existía el agravante de que la mayoría de los hogares contaba con sistemas de calefacción operados con electricidad, por lo que la demanda experimentó un aumento pronunciado y muchas familias no pudieron calentarse de manera adecuada, con lo que se produjeron 29 muertes por falta de acceso al servicio eléctrico (Texas Department of State Health Services 2021).

Los precios de la electricidad en el mercado *spot* subieron a un máximo de 9 000 dólares estadounidenses por megavatio hora (\$/MWh) (unas 40 veces más cara que la electricidad residencial promedio), debido a la tarifa de escasez de electricidad establecida en el mercado de Texas. Para evitar problemas financieros a los clientes, el operador del sistema eléctrico de Texas, la ERCOT (*Electric Reliability Council of Texas*) implementó una serie de apagones controlados rotativos, para dar algunas horas de electricidad a las diferentes regiones del estado, con lo que se logró bajar ligeramente el precio de la electricidad.

Al día siguiente de haber tomado esta medida, la Comisión de Servicios Públicos de Texas (PUCT, por sus siglas en inglés) indicó que era incorrecto utilizarla y volvió a establecer de manera retroactiva el precio de 9 000 \$/MWh. La PUCT justificó esta medida indicando que era importante mantener el precio de escasez elevado, para que el mercado enviara señales correctas a los propietarios de plantas de generación y a los usuarios para incorporar más generación, en el caso de los primeros, y reducir el consumo, en el caso de los segundos. Cabe aclarar que las muertes por congelamiento no fueron una variable considerada por las instituciones involucradas en este evento.

El resultado de la operación del mercado eléctrico de Texas ante esta emergencia fue una deuda acumulada de 2 900 millones de dólares estadounidenses por parte de los clientes del mercado eléctrico y la quiebra de numerosas empresas distribuidoras y comercializadoras de electricidad (The University of Texas at Austin Energy Institute 2021).

#### **8.4.2. Caso de sobre costos en período de crisis: Europa 2022**

Otro ejemplo de sobrecostos en período de crisis sucedió en Europa en 2022. Luego de la invasión de Ucrania por parte de Rusia y de la eliminación de los gasoductos Nord Stream, se presentó una subida de precios del gas natural, que provocó una crisis energética en el continente. El gas natural representaba el 21 por ciento de la generación de electricidad de Europa en 2022, por lo que su escasez derivó en precios elevados en los mercados eléctricos de los países del bloque (International Energy Agency 2022).

En este caso, el Consejo de la Unión Europea intervino y estableció un tope al precio de la electricidad generada por fuentes energéticas renovables (Consejo de la Unión Europea 2022). Esta medida fue necesaria porque la escasez de generación hidroeléctrica en ese momento y el mecanismo de asignación de precios de los mercados eléctricos europeos provocó que las plantas eólicas, solares y nucleares recibieran pagos excesivos, equivalentes al precio de generación eléctrica a partir de gas natural. Esto suscitó una gran transferencia de riqueza desde la sociedad hacia las empresas de generación.

#### **8.4.3. Períodos de crisis en sistemas eléctricos regulados**

En el caso de los sistemas eléctricos regulados, se cuenta con mecanismos que protegen a las personas usuarias ante subidas desmedidas de la factura eléctrica producidas por la escasez de fuentes energéticas. Adicionalmente, los eventuales sobrecostos implicados en el uso de la generación térmica en épocas de sequía o de escasez energética se diluyen en un período relativamente extenso, lo que reduce el impacto hacia los clientes finales. Es por esta razón que, en situaciones de crisis energéticas, no se presentan variaciones de gran escala en el cobro hacia la población usuaria.

Por todas las razones enumeradas en el presente apartado, los mercados eléctricos liberalizados provocan un aumento de los costos para la clientela. Esto se da principalmente por las inconsistencias mencionadas entre los mercados liberalizados y las características inherentes a las fuentes renovables de energía utilizadas para la generación de electricidad.

## 9

## PROBLEMA 6 – TRANSICIÓN ENERGÉTICA VS. OBJETIVOS COMERCIALES DE INVERSIONISTAS

Uno de los problemas de los mercados liberalizados de generación y comercialización de electricidad es el cambio en el enfoque con que se desarrollan y operan los sistemas eléctricos. En el caso de los sistemas eléctricos regulados, se desarrollan con un enfoque institucional, buscando minimizar los costos para ofrecer a la población un servicio accesible, pero con elevado nivel de calidad.

Por su parte, los mercados liberalizados promueven un enfoque comercial en el sector eléctrico. Esto resulta inconveniente sobre todo en el segmento de comercialización de la electricidad. Si se desarrolla este segmento con un enfoque de negocios, el objetivo de las empresas del sector será vender cantidades crecientes de energía eléctrica, para así aumentar sus ganancias. Este objetivo de venta creciente de electricidad no es sostenible desde el punto de vista ambiental y social. Desde el punto de vista ambiental, debe recordarse que los recursos naturales son limitados, por lo que no puede pretenderse un crecimiento infinito en su explotación.

En el tema social, el interés por desarrollar proyectos de generación eléctrica renovable puede presionar a comunidades vulnerables, como es el caso de comunidades campesinas y grupos indígenas. La transición energética justa promueve que los desarrollos de infraestructura energética se realicen integrando a las comunidades afectadas como participantes de los proyectos, para que se consideren sus puntos de vista con respecto a la conveniencia del desarrollo de estos y para que obtengan beneficios, en caso de procederse con su construcción.

Estas premisas son parte de las medidas establecidas en el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, conocido como Acuerdo de Escazú. Este acuerdo fue establecido a nivel latinoamericano como una herramienta para promover la participación de las comunidades en los proyectos de infraestructura que los afectan directamente, además de establecer mecanismos de protección de la vida de las personas representantes de movimientos ambientalistas, comunidades indígenas y comunidades afectadas en general.

## 10

## PROBLEMA 7 – EL VERDADERO ALCANCE DE LA PLANIFICACIÓN DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La transición energética representa el mayor reto que ha enfrentado la humanidad. Desarrollamos una sociedad basada en la disponibilidad de una fuente energética de muy alta densidad y bajo costo: los combustibles fósiles. La mayoría de los ámbitos de la vida humana son habilitados actualmente por los combustibles, incluyendo la gran mayoría de las actividades productivas.

Esta dependencia de los combustibles fósiles provocó la crisis climática en curso, por las emisiones de gases de efecto invernadero que trae asociadas. El reto actual consiste en una transformación profunda de la sociedad, de manera que se abandonen los combustibles fósiles, se adopte un modelo económico que sea sostenible y que respete los límites al crecimiento impuestos por el planeta.

### 10.1. SOSTENIBILIDAD CONSIDERANDO LOS LÍMITES DE CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA

Cabe resaltar este último punto, referido a los límites de crecimiento. En el modelo económico actual, la economía debe crecer constantemente para generar empleo y mejorar la calidad de vida de una población en aumento. Este crecimiento económico siempre ha estado asociado a mayores niveles de consumo de energía, materiales y a una mayor generación de residuos.

Se han tenido avances en algunos países, desacoplando el crecimiento económico del consumo energético, pero sin lograr revertir del todo la tendencia a un consumo creciente. Desde el punto de vista de la transición energética, es imperativo establecer una transformación de la sociedad y su mode-

lo económico, que asegure la no dependencia de un crecimiento sostenido hasta el infinito, sino que incorpore los conceptos de límites naturales o planetarios, para construir una sociedad sostenible en el entorno que tenemos, sin depredarlo.

## 10.2. PLANIFICACIÓN DE MUY LARGO PLAZO: UNA NECESIDAD

Por lo anterior, resulta necesario adoptar las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energías Renovables. Esta propone realizar ejercicios de planificación para el muy largo plazo, con una visión holística de la transformación requerida en los sistemas energéticos, incluyendo los ajustes requeridos en el marco normativo e institucional (IRENA 2022). De esta manera, se pueden visualizar las etapas e hitos que permitirán construir una sociedad sostenible en el transcurso del siglo XXI. Temas como la eliminación de la generación eléctrica con combustibles fósiles, la descarbonización del transporte marítimo o la modificación o eliminación de actividades productivas insostenibles requieren un proceso de transformación de muy largo plazo.

Este ejercicio de planificación permitirá visualizar escenarios futuros viables con una economía nacional sostenible, definiendo las rutas para llegar a esos destinos. De particular importancia es el análisis de los efectos que tienen las acciones

de corto plazo en esos escenarios futuros. Por ejemplo, la construcción de una planta de generación a partir de gas natural puede provocar una fijación de largo plazo de ese tipo de activos, desacelerando la descarbonización de la economía del país.

## 10.3. VENTAJAS DEL MODELO ELÉCTRICO DE COSTA RICA

En este punto es importante resaltar las conclusiones de la IRENA en su análisis de los esquemas de organización de los sistemas eléctricos alrededor del mundo. Luego de valorar el espectro de modelos de organización que han sido implementados en los países del globo, la IRENA concluyó que el modelo de Costa Rica es de los más ventajosos a la hora de planificar las transformaciones requeridas para la transición energética.

Dichas transformaciones son menos difíciles de implementar en un esquema de planificación directiva centralizada, como la existente en Costa Rica. La IRENA resalta la conveniencia de contar con una institución estatal verticalmente integrada, con un mandato claro de desarrollo con enfoque sostenible, además de una participación efectiva y dirigida del sector privado para poder concretar la compleja transformación requerida en los sistemas eléctricos nacionales y regionales para implementar la transición energética (IRENA 2022).

# 11

## EVOLUCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Según se indicó en el presente artículo, los mercados eléctricos liberalizados presentan una serie de barreras que dificultan el avance en la transición energética justa. Ante esto, se propone una solución alternativa que permite mantener las ventajas de los sistemas eléctricos regulados para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, pero mejorando las condiciones en que los inversionistas privados pueden contribuir al desarrollo de dichos sistemas.

Se trata de manejar la incorporación de empresas privadas en el segmento de generación de electricidad mediante concursos o subastas de contratos de compra de electricidad a largo plazo. De esta manera, se puede contar con el aporte del capital privado para el crecimiento de los sistemas eléctricos, sin provocar problemas tales como la pérdida de adecuación o la canibalización de la energía solar. Adicionalmente, se puede mantener esquemas competitivos para el acceso a los contratos de compra de electricidad, como una medida de mantener la eficiencia en los precios finales.

### 11.1. DEMOCRATIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN Y VISIÓN DE LARGO PLAZO

También, es importante aprovechar los eventuales esfuerzos de reforma de los modelos eléctricos para promover una mayor democratización del sector. Esto se puede lograr mediante la incorporación de la figura del agregador de recursos distribuidos. Este se encargaría de integrar recursos distribuidos para ofrecer energía, potencia y servicios auxiliares al sistema eléctrico, aprovechando los equipos de los clientes, tales como plantas de generación distribuida, sistemas de almacenamiento energético o cargas gestionables.

También, conviene profundizar en la democratización de los procesos de planificación y operación de los sistemas eléctricos. Esto puede lograrse mediante la ampliación de los mecanismos de comunicación y mediante la apertura de espacios vinculantes de participación en los procesos de planificación y operación de los sistemas eléctricos. En este caso, conviene

promover el involucramiento de la sociedad civil, con especial énfasis de las comunidades indígenas y campesinas amenazadas por el eventual desarrollo de proyectos extractivos asociados a la transición energética (centrales hidroeléctricas, minas de materias primas para la transición, etc.).

## 11.2. PLANIFICACIÓN DE MUY LARGO PLAZO

Finalmente, es importante asignar la responsabilidad a las instituciones del sector energético de organizar procesos partici-

pativos y transparentes de planificación de muy largo plazo, que permitan identificar los frentes de trabajo requeridos para construir una sociedad sostenible a partir del año 2050. Dicha planificación debe trascender los modelos tradicionales de crecimiento del sistema eléctrico y el sistema nacional de combustibles, para implementar una planificación transformadora que permita evolucionar hacia un sistema productivo descarbonizado, digitalizado, democrático y sostenible.

# 12

## CONCLUSIONES

Los datos y evidencia que se discuten en este análisis permiten concluir que los mercados liberalizados de generación y comercialización de electricidad, presentan una serie de incompatibilidades con el desarrollo de las fuentes renovables de energía requeridas para la transición energética justa y sostenible.

Entre los problemas identificados se tiene el fenómeno denominado canibalización de la energía solar, que se refiere a la saturación de plantas de esta fuente energética en los sistemas eléctricos, y que se presenta por tres razones. La primera es que la energía solar tiene pocas barreras de entrada para nuevos actores, por ser una de las tecnologías más simples y rápidas para su desarrollo, y más barata en la actualidad para la producción de electricidad. La segunda razón es que los mercados eléctricos liberalizados no establecen barreras para que diferentes inversionistas interconecten nuevas plantas de generación, lo que facilita la instalación de una gran cantidad de plantas solares en los sistemas eléctricos alrededor del mundo, que han provocado una caída de los precios en los mercados diarios de generación. La tercera razón por la que surge la canibalización de la energía solar es por ser una fuente energética variable, en que su costo de oportunidad es nulo al no poderse almacenar de manera rentable, lo cual provoca que la estrategia de participación en mercados eléctricos liberalizados de corto plazo (mercados spot) consista en ofrecer precios muy bajos, o precios nulos en caso de contar con subsidios. De esta manera, las empresas de plantas solares se aseguran de que su producción eléctrica será seleccionada en las subastas de los mercados spot y el resultado final de este fenómeno es una reducción generalizada de los precios de la electricidad para todos los participantes de los mercados liberalizados.

Por otra parte, la saturación de energía eólica y solar en sistemas eléctricos provoca crecientes recortes de energía renovable (renewable energy curtailment). Lo anterior significa que en determinados momentos del día la operación de los sistemas eléctricos debe desconectar plantas que operan a partir

de fuentes energéticas variables para evitar afectaciones al servicio eléctrico, porque la variabilidad asociada a la energía eólica y solar puede provocar grandes fluctuaciones en la cantidad de potencia entregada, lo que a su vez puede causar salidas de otras plantas por cambios en la frecuencia del sistema eléctrico llevando en casos extremos a apagones.

Adicionalmente, los mercados eléctricos liberalizados han comenzado a presentar precios negativos de manera creciente debido a la estrategia de precios desarrollada por las empresas de plantas de generación que funcionan a partir de vapor, como es el caso de las plantas de carbón, las centrales nucleares y las geotérmicas; este tipo de plantas tienen ciclos de arranque y paro muy lentos y costosos. La estrategia de presentar precios negativos asegura a estas plantas ser seleccionadas en las subastas de los mercados eléctricos de corto plazo, permitiéndoles operar y mejorar los precios una vez que se reduce la energía aportada por las fuentes renovables variables.

Otro aspecto que se evidenció en el presente análisis es la alta volatilidad de precios de los mercados eléctricos liberalizados, según el ejemplo aportado del mercado de los países nórdicos (Nord Pool), los precios promedio de electricidad pueden variar hasta en un 562% en menos de una semana.

Los aspectos mencionados implican que el desarrollo de centrales de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía para participar en mercados eléctricos liberalizados consista en un negocio de muy alto riesgo. Por lo anterior, las entidades financieras establecen tasas de interés elevadas para financiar nueva infraestructura de generación renovable y el efecto de este fenómeno es un aumento del costo de la electricidad para las empresas y las personas usuarias finales, asimismo, considerando el negocio de producción de electricidad renovable, se determinó que los problemas indicados han provocado una reducción en la tasa de ganancia y una reducción en la cantidad de nuevas plantas de generación

eléctrica renovable, que se integran anualmente en sistemas eléctricos que cuentan con mercados liberalizados. Para contrarrestar esta situación, en la mayoría de estos sistemas eléctricos se han tenido que establecer diferentes tipos de subsidios para la instalación de centrales eléctricas operadas a partir de fuentes renovables de energía.

Otro tipo de subsidio que se ha tenido que implantar en los mercados eléctricos liberalizados consiste en los pagos por concepto de capacidad o confiabilidad. Estos pagos se realizan a centrales de generación eléctrica firme como un mecanismo de la operación del sistema eléctrico para contar con suficientes reservas energéticas y hacer frente a períodos de escasez, así como, manejar eventos como salidas por averías de plantas de generación o para manejar fluctuaciones de potencia producidas por las fuentes variables de energía. Estos subsidios sirven también para promover la construcción de nuevas centrales de generación de energía firme, a pesar de la incertidumbre de los ingresos a obtener mediante la participación en mercados eléctricos liberalizados.

Con respecto a la adecuación de los sistemas eléctricos para atender la demanda energética de un país o una región, se determinó que los mercados liberalizados provocan una serie de problemas. Al no existir restricciones para incorporar fuentes renovables variables al sistema eléctrico, se generan sobrecostos en la infraestructura requerida para proveer los llamados servicios auxiliares que son servicios necesarios para la operación fiable de los sistemas eléctricos, y cumplen funciones específicas, como regular la frecuencia de la red eléctrica o bien, brindar capacidades de integración de mayores cantidades de fuentes renovables variables.

La metodología de planificación indicativa utilizada para atender el crecimiento de los sistemas eléctricos basados en mercados liberalizados no permite determinar la cantidad prevista de fuentes renovables variables a ser integradas, ni de los servicios auxiliares que serán requeridos para su gestión. Por lo tanto, la adecuación de este tipo de sistemas es menos robusta que la establecida mediante la metodología de planificación directiva utilizada en los llamados mercados eléctricos regulados, porque esta permite diseñar de manera precisa el balance de fuentes energéticas a ser integradas en un sistema eléctrico, y el diseño de la infraestructura requerida para brindar los servicios auxiliares que aseguren su operación.

Un aspecto de particular importancia por destacar es la aparición de precios excesivos hacia los clientes finales en situaciones de escasez energética. Estos precios elevados son producto del mecanismo de determinación de precios en mercados spot, situaciones donde la oferta de electricidad no alcanza para satisfacer la demanda diaria y empujan los pre-

cios hasta 40 veces mayores a los usuales. Al contrario de los mercados regulados, los mercados eléctricos liberalizados, por principio de diseño, no incluyen mecanismos para reducir el impacto financiero sobre las empresas y las personas usuarias del servicio de electricidad en períodos de escasez.

Ante este panorama, se propone valorar una solución alternativa, que permita conservar las ventajas de los modelos eléctricos regulados para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, y aumentando los espacios existentes para la contribución por parte del sector privado. Esta alternativa implica el abandono de los mercados eléctricos liberalizados, para evitar todos los problemas asociados, según se detalló en el presente análisis. La contribución del sector privado en el segmento de generación eléctrica se realizaría mediante subastas de contratos que permitan reducir el riesgo para las empresas inversionistas, a la vez que aseguran una composición determinada de la matriz energética y de la infraestructura de transmisión eléctrica y de los servicios auxiliares requeridos, este mecanismo puede asegurar la adecuación de los sistemas eléctricos, además de limitar los costos de cara a la prestación del servicio.

Este modelo alternativo debe incorporar aspectos adicionales que le permitan consolidar una transición energética justa y sostenible. Para esto, se debe procurar una democratización de los procesos de planificación, además de incorporar mecanismos de participación de las partes interesadas en las decisiones que pueden afectarlas, con especial énfasis en comunidades que enfrenten riesgos de desplazamiento o de destrucción de su patrimonio cultural y natural por el desarrollo de nuevas centrales de generación o infraestructura eléctrica en general.

El desarrollo de un modelo alternativo para los sistemas eléctricos responde a la necesidad de planificar una evolución de sus estructuras organizacionales tradicionales. En el caso de los mercados eléctricos liberalizados, cuentan con estructuras organizacionales que fueron establecidas en el período de predominio de las fuentes energéticas fósiles, que principalmente son fuentes de energía firme. La creciente incorporación de fuentes renovables variables de energía requiere una readecuación de las estructuras organizacionales para evitar los problemas mencionados en la presente publicación.

Finalmente, se determinó la conveniencia de asignar responsabilidades para realizar una planificación participativa y transparente de muy largo plazo, que permita visualizar las rutas a seguir para consolidar una sociedad sostenible al año 2050, apalancada en un sistema eléctrico descarbonizado.

## REFERENCIAS

- Christophers, Brett** (2024): The price is wrong: why capitalism won't save the planet. Verso.
- Consejo de la Unión Europea** (2022): El Consejo adopta formalmente medidas de emergencia para reducir los precios de la energía, en: *Comunicado de Prensa* (6.10.2022); disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2022/10/06/council-formally-adopts-emergency-measures-to-reduce-energy-prices/>
- Instituto Costarricense de Electricidad** (2023): Plan de Expansión de la Generación 2022-2024. ICE.
- International Energy Agency** (2022): Europe-Sources of electricity generation; disponible en: <https://www.iea.org/regions/europe/electricity>
- International Energy Agency** (2023a): Government Energy Spending Tracker: Policy Database. Government Energy Spending Tracker; disponible en: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/government-energy-spending-tracker-policy-database>
- International Energy Agency** (2023b): Renewable Energy Market Update-Outlook for 2023 and 2024; disponible en: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)
- International Energy Agency, & Organization for Economic Cooperation and Development** (2016): Re-powering Markets: Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems; disponible en: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)
- IRENA** (2022): RE-organising power systems for the transition; disponible en: [www.irena.org](http://www.irena.org)
- IRENA** (2024): Renewable Power Generation Costs in 2023; disponible en: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA\\_Renewable\\_power\\_generation\\_costs\\_in\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Sep/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2023.pdf)
- López Prol, Javier; Steininger, Karl & Zilberman, David** (2020): The cannibalization effect of wind and solar in the California wholesale electricity market, en: *Energy Economics*, 85; disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104552>
- Nielsen, Klaus** (2008). Indicative Planning, en: *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan; disponible en: [https://doi.org/https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5\\_982-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5_982-2)
- Shukla, Priyadarshi; Skea, Jim; Reisinger, Andy; Slade, Raphael; Fradera, Roger; Pathak, Minal; Al, Alaa; Malek, Khourdajie; Renée Van Diemen, Belkacemi; Hasija, Apoorva; Lisboa, Géninha; Luz, Sigourney; Malley, Juliette; Mccollum, David & Some, Shreya** (2022): Mitigation of Climate Change - Summary for Policymakers; disponible en: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- S&P Global** (2023): "Eaten Alive": Solar cannibalization in Europe, en: Blog; disponible en: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/research-analysis/eaten-alive-solar-cannibalization-in-europe.html>
- Texas Department of State Health Services** (2021): February 2021 Winter Storm-Related Deaths-Texas.
- The University of Texas at Austin Energy Institute** (2021): The Timeline and Events of the February 2021 Texas Electric Grid Blackouts.
- Wulf, W.** (2000). Great Achievements and Grand Challenges, en: *Engineering Achievements* (1.9.2000); disponible en: <https://www.nae.edu/7461/GreatAchievementsandGrandChallenges>

## SOBRE EL AUTOR

**Fernando Lizana Moreno.** Ingeniero en Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Máster en Energías Renovables, Universidad de Zaragoza, España. Postgrado en Gestión de Proyectos de Investigación y Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia, España. Actualmente, trabaja en el Área de Planificación de la Distribución, Instituto Costarricense de Electricidad.

## IMPRESIÓN

Friedrich-Ebert-Stiftung (FES)  
Costa Rica  
[costarica@fes.de](mailto:costarica@fes.de)  
<https://americacentral.fes.de/>

Responsable:  
Daniel Mann  
Representante Fundación Friedrich Ebert para Costa Rica,  
Guatemala y Honduras

Coordinador:  
Marco Zamora  
[marco.zamora@fes.de](mailto:marco.zamora@fes.de)

San José, noviembre, 2024

## SOBRE ESTE PROYECTO

En 1965 la Friedrich-Ebert-Stiftung (FES, Fundación Friedrich Ebert) abre en Costa Rica su primera oficina en la región centroamericana. El 23 de julio de 1965 se firma el Convenio de Cooperación entre el Gobierno de Alemania y el Gobierno de Costa Rica. El 1° de setiembre de 1980 se aprueba la Ley No.6454 que lo ratifica. Por más de 55 años la Fundación en Costa Rica ha desarrollado sus actividades como plataforma de diálogo, análisis político y de asesoría política. La participación de múltiples actores y el fortalecimiento de la democracia social son bases de la cooperación realizada con instituciones sociales y políticas costarricenses.

En la actualidad, la Fundación Friedrich Ebert, a través de su oficina en Costa Rica, desarrolla los dos proyectos de trabajo regional de la FES en América Central. Por un lado, El Proyecto Transformación Social Ecológica, que busca contribuir al fortalecimiento de las capacidades de gobierno democrático y social, aportar contenidos y apoyar diálogos hacia una eco-

nomía social y ecológicamente sostenible, elaborar propuestas de modelos de desarrollo alternativo, y una política fiscal como instrumento de justicia social y de igualdad de género. Por otro lado, el Proyecto Juventudes Progresistas, que ofrece espacios de formación y fortalecimiento de liderazgos en las juventudes, e impulsar estos liderazgos para participar de manera más efectiva en proceso de defensa de la democracia y los Derechos Humanos.

El concepto de planificación y las actividades de la FES en red de las seis oficinas centroamericanas consiste en la coordinación, el intercambio y la articulación regional con implementación nacional.

Para más información, consulte  
<https://americacentral.fes.de/>

## MERCADOS ELÉCTRICOS VS. LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA Y SOSTENIBLE



La presente publicación presenta un análisis de las barreras que los mercados eléctricos liberalizados provocan para el avance hacia una transición energética justa. Los problemas destacados son la canibalización de la energía solar, los recortes de generación renovable, la aparición de precios negativos de electricidad y la pérdida de adecuación de los sistemas eléctricos, estos problemas surgen producto de las estructuras de organización basada en mercados competitivos de corto plazo.



Se propone un modelo alternativo, basado en un sistema eléctrico regulado, que permita incorporar de manera dirigida y acotada el aporte de inversionistas privados en el segmento de generación de electricidad. De esta manera, se puede diseñar una evolución de los sistemas eléctricos, estableciendo la composición de la matriz energética que llegará a ser consolidada, y la infraestructura de servicios auxiliares para asegurar la adecuación y la confiabilidad del sistema eléctrico a la vez que se cumplen los objetivos de descarbonización asociados a la transición energética.



Finalmente, se resalta la necesidad de impulsar mecanismos de participación en los procesos de planificación de los sistemas eléctricos para considerar los aportes de las partes interesadas, a la vez que se protegen los derechos de las comunidades vulnerables amenazadas por la expansión minera e industrial. Asimismo, se enfatiza la importancia de desarrollar procesos de planificación de largo plazo, que permitan determinar las rutas para descarbonizar los sistemas eléctricos y consolidar una sociedad humana sostenible basada en el equilibrio ambiental al operar dentro de los límites naturales del planeta, y asegura la justicia social para todos los grupos humanos.

Más información sobre el tema aquí:  
<https://americacentral.fes.de/>