



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Mercados Minoristas Alternativos en el Mercado Eléctrico Colombiano

Daniela Gómez Areiza

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión
Medellín, Colombia
2020

Mercados Minoristas Alternativos en el Mercado Eléctrico Colombiano

Daniela Gómez Areiza

Trabajo final de Maestría presentado como requisito final para optar al título de:
Magíster en Ingeniería – Sistemas Energéticos

Director (a):

Doctor en Ingeniería – Sistemas Energéticos. Carlos Jaime Franco Cardona

Universidad Nacional de Colombia – sede Medellín
Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y la Decisión
Medellín, Colombia

2020

Resumen

Se están dando grandes cambios en la forma de producir y administrar la electricidad con nuevos modelos como la energía eléctrica distribuida a partir de energías renovables y almacenamiento de ésta en baterías, con esto se busca que los consumidores tengan un papel más activo en el mercado como productores de su propia electricidad, siendo más ecológicos y procurando la mitigación del cambio climático. Esto, teniendo en cuenta la regulación asociada a mercados minoristas y otros tipos de mercados como el intradiario, de tiempo real, P2P, entre otros, que ayuden a la incorporación de nuevas tecnologías y formas de producir la energía eléctrica.

Debido al reto que tiene el sistema eléctrico colombiano con los ajustes que se debe realizar en el marco regulatorio para responder a la incorporación de las fuentes de energía renovable no convencionales (FERNC), autogeneración, participación de la demanda, entre otros, que permitan dar señales y medidas de eficiencia en las actividades de la cadena de producción y suministro de la energía eléctrica, de modo que el sistema eléctrico colombiano continúe confiable y eficiente.

En este trabajo se presentan alternativas que permitan diseñar un mercado eléctrico más competitivo, completo e inclusivo, basado en el uso de herramientas que en otros mercados mundiales ya funcionan. Con esto en mente se analiza el impacto de la inclusión de éstas en el mercado eléctrico colombiano. Para esto se hizo una revisión de los antecedentes y cambios en el sector eléctrico, desde el punto de vista normativo, económico y tecnológico, identificando sus características técnicas y de operación a ser consideradas a la hora de diseñar e implementar los mercados minoristas. Además, se presentan y evalúan casos de éxito que permitan su implementación sin mayores afectaciones para los actores del mercado. Es así como, el conjunto de metodologías establecidas permite identificar los aspectos normativos, técnicos y tecnológicos para dar las señales adecuadas a los entes reguladores para el diseño eficiente de los mercados minoristas en el mercado eléctrico colombiano.

Palabras clave: Mercado minorista, energías renovables, nuevos servicios, mercados completos.

Abstract

With the great changes that are taking place in the way of producing and managing electricity with new models such as, the electrical energy distribution from renewable energies and its storage in batteries. Consumers are expected to have a more active role in the market as producers of their own electricity, being greener and seeking to mitigate climate change. All the above must consider the regulation associated with retail markets and other types of markets such as intraday, real-time, P2P, among others, that help to incorporate new technologies and ways of producing electrical energy.

Due to the challenge that the Colombian electricity system has with the adjustments that must be made in the regulatory framework to respond to the incorporation of non-conventional renewable energy sources (FERNC), self-generation, demand participation, among others, that allow give signals and efficiency measures in the activities of the chain of production and supply of electrical energy, so that the Colombian electrical system continues to be reliable and efficient. This work presents alternatives that allow designing a more competitive, complete and inclusive electricity market, based on the use of tools that already work in other world markets. The impact of their inclusion in the Colombian electricity market is analyzed.

For this, a review of the background and changes in the electricity sector was made, from a regulatory, economic and technological point of view, identifying its technical and operating characteristics that were considered when designing and implementing retail markets. In addition, success cases are presented and evaluated that allow their implementation without major affectations for market actors. Thus, the set of established methodologies allows identifying the regulatory, technical and technological aspects to give the appropriate signals to regulatory entities for the efficient design of retail markets in the Colombian electricity market.

Keywords: Retail market, renewable energies, new services, complete markets.

Alternative Retail Markets in the Colombian Electricity Market

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XVIII
Lista de Abreviaturas	XVIII
Introducción	1
1. Capítulo 1 –Antecedentes	5
1.1 Contextualización	5
1.2 Experiencias internacionales	7
1.2.1 Caso de California.....	8
1.2.2 Caso de España.....	8
1.2.3 Caso de Texas.....	9
2. Capítulo 2 – Aspectos teóricos de los mercados eléctricos	11
2.1 Características de la electricidad	11
2.1.1 Generación	11
2.1.2 Transmisión	12
2.1.3 Distribución	12
2.1.4 Comercialización.....	12
2.2 Mercado Mayorista	13
2.3 Mercado Minorista	15
2.3.1 Prosumidor.....	16
3. Capítulo 3 – Revisión de literatura sobre mercados minoristas eléctricos	19
3.1 Objetivos.....	21
2.3.1 Objetivo general.....	21
2.3.1 Objetivo específico 1	21
2.3.1 Objetivo específico 2.....	21
4. Capítulo 4 – Desarrollo del marco metodológico para los mercados minoristas eléctricos en Colombia	23
4.1 Normatividad vigente para los mercados eléctricos	24
4.2 Análisis de alternativas de Mercados Minoristas.....	26

5. Capítulo 5 – Planteamiento de un diseño para el desarrollo de un mercado minorista alternativo.....	29
6. Conclusiones y trabajos futuros.....	37
6.1 Conclusiones generales	37
6.2 Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos	38
6.2.1 Objetivo específico 1.....	38
6.2.2 Objetivo específico 2.....	38
6.2.3 Objetivo general.....	39
6.3 Trabajos futuros	39
Referencias	41

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Estructura del mercado eléctrico colombiano.....	14
Figura 2-2: Sistemas de electricidad y sus características	18
Figura 5-1: Mercados de energía para Colombia	30
Figura 5-2: Algunos mecanismos de interacción para los mercados minoristas	32
Figura 5-3: Modelo energético centrado en el consumidor final.....	33
Figura 5-4: Roles de modelo energético basado en el consumidor final	34

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 4-2: Normatividad vigente aplicada a los mercados eléctricos con miras a los mercados minoristas alternativos.....	25
Tabla 5-1: Características de los mercados de energía para Colombia	31

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>AGPE</i>	Autogeneradores a Pequeña Escala
<i>AMI</i>	Infraestructura de Medición Avanzada
<i>ASIC</i>	Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales
<i>CAISO</i>	Operador de sistema independiente de California
<i>CND</i>	Centro Nacional de Despacho
<i>CREG</i>	Comisión de Regulación de Energía y Gas
<i>CU</i>	Costa Unitario
<i>FERNC</i>	Fuentes de energías renovables no convencionales
<i>LAC</i>	Liquidador y Administrador de Cuentas
<i>MEM</i>	Mercado de Energía Mayorista
<i>MinMinas</i>	Ministerio de Minas y Energía
<i>MW</i>	Megavatios
<i>MWh</i>	Megavatios hora
<i>NYISO</i>	Operador de sistema independiente de Nueva York
<i>OR</i>	Operadores de Red
<i>OTC</i>	<i>Over The Counter</i>
<i>P2P</i>	Peer to Peer
<i>PJM</i>	Organización de transmisión regional (RTO)
<i>SDL</i>	Sistema de Distribución Local
<i>SIN</i>	Sistema Interconectado Nacional
<i>STN</i>	Sistema de Transmisión Nacional
<i>STR</i>	Sistema de Transmisión Regional

Introducción

En los últimos años se han venido presentando ciertas transformaciones en el sector eléctrico por la forma en como se ha estado desarrollando el mercado, en cuanto a nuevas economías, políticas, regulaciones, formas de producir, de entregar este tipo de energía, entre otras. Con ello se tiende a una universalización en la generación, distribución y almacenamiento del servicio de energía eléctrica, además brindar los elementos para una sana competencia entre los actores que intervienen en el mercado eléctrico.

Aunado a lo anterior, la CREG ha ido desarrollando un marco normativo con diferentes esquemas de comercialización de la electricidad que permitan una mejor prestación del servicio con calidad y economía, así como llegar a zonas donde no se presta este servicio. Esto hace que gracias a la dinámica de la competencia pueda darse una alternativa para el desarrollo de mercados minoristas de energía eléctrica (Miembros de la Comisión de Regulación de Energía Y Gas, 2007).

Por lo anterior, para llegar al beneficio de todos en la cadena de suministro de energía eléctrica y de los actores del mercado, el usuario final va tomando fuerza, en cuanto a que permite la incorporación de competencia en el mercado. Esta competencia tiene como objetivo mejorar la calidad del servicio, disminuir los precios de la energía y potencializar la entrada de nuevas tecnologías y servicios, que busquen la eficiencia en el funcionamiento del mercado. Adicionalmente, en el análisis de estos mercados, hay que tener en cuenta que se busca lograr una cobertura total del servicio en el territorio nacional, cuantificar los costos derivados de los cambios de tecnologías y equipos de medición, controlar las pérdidas de energía eléctrica, la aplicación de subsidios, entre otros factores que influyen en el desarrollo de los mercados minoristas (Cruz et al., 2013).

Actualmente, el mercado de electricidad y la matriz energética que lo soporta, son a menudo el foco de políticas públicas y tendencias propias del mercado, que buscan promover su desarrollo y aumentan su resiliencia y beneficio del consumidor final. Esto velando siempre por la sostenibilidad financiera y ambiental del sistema. Sin duda alguna,

la formación de la matriz energética, que incluye las diferentes fuentes de energía primaria utilizada en el país y la diversidad de tecnologías de capacidad instalada de la misma, son producto de diversas variables y acontecimientos históricos, que finalmente representan un cúmulo de decisiones que toma el mercado basado en los condicionantes que definen en qué tecnología será mejor invertir (Alfonso, 2016).

De igual manera, se debe considerar que aspectos como: la generación distribuida, respuesta a la demanda, innovación disruptiva, avances tecnológicos, entre otros, presentan riesgos y retos en la incorporación de fuentes renovables no convencionales, formas de producir y entregar la energía y otras transformaciones. A esto debe dársele manejo desde la gestión de la operación y administración de los mercados de energía, incluyendo nuevos actores, generando así nuevos modelos de negocios, donde los consumidores estén en condiciones de consumir, producir, almacenar y vender. Permitiendo a éstos conectarse a la red y realizar transacciones *peer to peer* debido a las automatizaciones, desarrollos tecnológicos y analítica de la información para tomar decisiones de cómo manejar su energía (Gil & Arbeláez, 2019).

Así este Trabajo Final se encamina a buscar diferentes metodologías y aplicaciones para comenzar a desarrollar los mercados minoristas en Colombia, teniendo en cuenta los avances tecnológicos del país y el enfoque que se tiene del mercado eléctrico y su evolución. Igualmente, se busca plantear diferentes herramientas o plataformas que permitan el intercambio de la electricidad entre los diferentes actores que intervienen en el mercado. Esto ayudará a transar la energía de otras formas, así como realizar movimientos en el mercado de una manera óptima y segura.

Este enfoque se basa en el usuario final, quien podría actuar tanto como comprador o vendedor de la energía eléctrica en el mercado. Esto lo haría sin necesidad de intermediarios, es decir, un prosumidor, quien toma la decisión de comprar y vender, dependiendo de sus necesidades en el momento de realizar las transacciones o del desarrollo de sus sistemas. Por lo anterior, se debe tener en cuenta el desarrollo tecnológico tanto del mercado como de los prosumidores, esto por medio de plataformas donde la oferta y la demanda variarían con el tiempo, al igual que los precios; la implementación de las *smart grid* y contadores inteligentes, que ayudarán a la gestión de la demanda y a cambios en los hábitos de consumo, entre otros mecanismos (Cano, 2017).

Igualmente, se busca contribuir al desarrollo de otras metodologías o herramientas para el desarrollo del mercado con la utilización de otras fuentes de energía, que generen energía eléctrica, como las renovables, además, del uso de sistemas de almacenamiento de la energía eléctrica. Estos deben tener en cuenta los costos de inversión y el precio de la energía, por medio de la generación distribuida, específicamente, al convertirlas en fuentes despachables y gestionables en el mercado eléctrico, así como otras que contribuyan a la evolución del sector y del mercado.

El documento se divide así; en el Capítulo 1, se presentan la contextualización del mercado eléctrico y los antecedentes, en el Capítulo 2 se desarrolla el marco teórico, en el Capítulo 3 revisión de la literatura, en el Capítulo 4 metodologías y en el Capítulo 5 planteamientos para realizar un análisis de los mercados minoristas y se exploran propuestas de creación e incorporación al mercado eléctrico actual y en el Capítulo final se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

1. Capítulo 1 – Antecedentes

En las sociedades modernas, la electricidad es fundamental para su desarrollo social y económico, por lo cual su suministro debe realizarse de un modo seguro, confiable, económico y eficiente (Cruz *et al.*, 2013). Con lo cual, desde hace décadas se viene trabajando en el desarrollo del mercado minorista a través, modelos, marco regulatorio y evolución, que lleven a una mejor prestación del servicio al usuario final. Lo anterior ocurre al eliminar las barreras de entrada a la competencia de este mercado, los comercializadores existentes y nuevos, que pueden prestar el servicio de energía eléctrica a cualquier usuario regulado y no regulado (Ferreira, 2006).

1.1 Contextualización

El principal objetivo de los mercados de energía es generar las condiciones necesarias para que la generación y el consumo de energía sean en beneficio de la sociedad. Los mercados de energía eléctrica son sistemas donde se realiza la compra, venta y comercialización de la electricidad por medio de ofertas, contratos o transacciones de corto, mediano y largo plazo.

Estas transformaciones se han venido presentando en Colombia, desde que se dieron dos grandes reformas, la primera, con el decreto 700 de 1992 (Decreto 700, 1992), que permitió la participación del sector privado en la generación de electricidad, por medio de una figura que se denominó generadores independientes, y la segunda, con las leyes 142 (Ley 142, 1994) y 143 de 1994 (Ley 143, 1994), donde se reestructuró el sector eléctrico y se impulsó la creación de un mercado en éste.

En 1995, con la creación del mercado mayorista se buscó que el desarrollo de las actividades dentro de éste tuvieran competencia y se realizaran de manera eficiente, lo que conllevó a segmentar esta industria y a separar los actores del mercado en:

generadores, transmisores, distribuidores y comercializadores, estableciendo una similitud con la aplicación del modelo IV de Hunt y Shuttleworth de 1996 (Cruz *et al.*, 2013), donde los consumidores tienen acceso a los generadores en forma directa o a través de los comercializadores minoristas.

Además, se dio la separación de las actividades de generación y comercialización del transporte por redes, en especial la transmisión a grandes voltajes, lo que permitió que la comercialización se pudiese producir separada o en conjunto con la generación o la distribución para las empresas que ingresan al mercado eléctrico (Cruz *et al.*, 2013).

Con la introducción reciente de la competencia en la comercialización de energía eléctrica en Colombia, los grandes consumidores de energía han obtenido mayores beneficios, pero estos beneficios no se han distribuido en su totalidad para todos los usuarios del sistema. Esta característica no es propia de Colombia, sino que se ha dado en otros países, donde se ha tenido que revisar este esquema (Ferreira, 2006).

Esto lleva a pensar, que se deban revisar y ajustar el esquema con el que se cuenta actualmente, debido a que pueden existir diferentes problemáticas en las metodologías y políticas actuales. Además, éstas últimas también se pueden analizar para encontrar diferentes alternativas que permitan la solución de las dificultades que se presenten en el sector asociadas al desarrollo de los mercados minoristas. Así, la idea es beneficiar a todos los actores del sistema (Bragulat *et al.*, 2016).

Igualmente, el futuro más próximo al que se enfrentan los mercados de energía eléctrica es contar con un sistema eléctrico más inteligente, descentralizado y al mismo tiempo conectado. Lo primordial es que estos mercados permitan contribuir con la confiabilidad y seguridad de los sistemas.

Además, esto impacta a otros negocios como vehículos eléctricos, medidores inteligentes, infraestructura de telecomunicaciones, entre otros, que junto con la analítica influirán en las decisiones de consumo. Así mismo, en nuevos sistemas de negociación y considerando la forma en que se transa la energía eléctrica, a través de plataformas se quiere permitir a los microgeneradores vender su electricidad de forma directa al usuario residencial.

En contraposición, el uso de estas tecnologías permite a los usuarios tener información más cercana a la operación en tiempo real y facilitan la realización de intercambios de productos y servicios entre otros sectores y el sector eléctrico (Gil & Arbeláez, 2019).

Con lo anterior, puede verse que es fundamental para el desarrollo de este tipo de mercados las tecnologías, *software*, plataformas, entre otras herramientas que permitan la interacción de todos los actores que participan en el mercado minorista de energía eléctrica. Por ejemplo, en el caso de los medidores inteligentes, estos actuarían en el mercado como compradores y vendedores, configurando los precios de compra y venta de la energía con otros proveedores de energía distribuida, por medio de plataformas *online* y crear sistemas de intercambio entre los consumidores y productores.

Con esto, en el presente Trabajo Final se busca la revisión del mercado de energía mayorista actual y cómo a partir de la utilización de fuentes renovables, sistemas de almacenamiento, desarrollo de otros mercados anteriores a los mercados minoristas o *Peer to Peer*, como los mercados del día anterior, intradiarios o de balance, formular posibles alternativas de desarrollo de los mercados minoristas en el mercado eléctrico colombiano.

Esto considerando afectaciones mínimas para todos los actores del sistema, teniendo en cuenta las aplicaciones realizadas en otros mercados, donde ya se tiene una implementación exitosa y, por medio de una base teórica, proponer una metodología para la implementación escalonada de estos mercados, que conduzca a establecer y mejorar la búsqueda de la eficiencia energética del mercado que lo haga más competitivo e inclusivo.

A continuación, se plantean la evolución o desarrollo de algunos mercados energéticos, desde esos puntos de vista:

1.2 Experiencias internacionales

Los cambios por los que está atravesando el sector eléctrico colombiano ya lo han vivido otros mercados mayoristas y minoristas de muchos países como son el caso de España, California y Texas, entre otros.

El desarrollo que han sufrido estos mercados ha creado beneficios en cuanto a la reducción de costos con la posibilidad que los usuarios puedan elegir quien les presta el servicio de electricidad y tarifas más competitivas. Sin embargo, también presentaron retos e inconvenientes que vale la pena referenciar. A continuación, se realiza una breve descripción de estos mercados.

1.2.1 Caso de California

California en los años 90 tenía integración vertical en su sistema de electricidad, esto generó grandes utilidades a las empresas públicas y privadas, que dedicaban sus ganancias a aumentar la capacidad instalada a altos costos. Una característica de este modelo fue los incentivos económicos y regulatorios dados a las empresas, las cuales favorecían a sus propios generadores y evitaban la entrada de competencia (Bragulat *et al.*, 2016).

Este estado fue pionero en la adopción de un nuevo esquema regulatorio para implementar una mayor competencia en el sector eléctrico, con lo cual se comenzó el proceso de desregulación de los precios y de entregar las actividades de distribución y comercialización a empresas independientes y casi el 40% de la capacidad instalada a productores independientes (Bragulat *et al.*, 2016).

En el año 2001 se desencadenó una crisis dado por el acelerado proceso de desregulación, complejidad en el diseño del mercado que originaron prácticas encaminadas a manipular el mercado. El análisis de esta crisis arrojó que el proceso de desregulación se realizó de forma inadecuada, porque los distribuidores siguieron regulados y forzados a cobrar precios fijos, mientras que las demás actividades estaban en competencia, lo cual hizo que el precio de la energía subiera significativamente (Bragulat *et al.*, 2016).

1.2.2 Caso de España

En 1998 inició su proceso de liberalización para el mercado mayorista con la entrada gradual de la competencia en el mercado minorista. En 2003 ya se encontraba completamente liberalizado, y permitía que los consumidores eligieran quien les suministra el servicio de energía. Este se basó en el modelo implementado por California, donde se

tenía como objetivo ofrecer precios más estables y tener eficiencia energética (Bragulat *et al.*, 2016).

Los consumidores podían elegir entre diferentes esquemas como, el mercado a tarifa, donde se contrata la electricidad con empresas distribuidoras que cuentan con un precio máximo fijado por el gobierno y no se puede negociar el precio del servicio; o el mercado liberalizado, en el cual la electricidad se contrata con el comercializador y el precio se negocia libremente entre las partes (Bragulat *et al.*, 2016).

En contraste, algunos inconvenientes que se presentaron en este mercado fueron las distorsiones en los precios regulados que en ocasiones no permiten el desarrollo del mercado minorista ya que pueden darse variaciones significativas cuando las cantidades de energía no son respaldadas por contratos bilaterales y se basan en precios de bolsa o mercado *spot* (Bragulat *et al.*, 2016).

1.2.3 Caso de Texas

Este estado ha sido ejemplo en cómo realizar un buen proceso de desregulación. La liberación del mercado se llevó a cabo en 1995 y cuatro años después se introdujo la competencia al mercado minorista. Nuevos generadores pudieron ingresar al mercado mayorista lo que causó reducciones en el precio e incentivo la construcción de más redes de transmisión (Cruz *et al.*, 2013).

Algunas de las claves del éxito fueron, la centralización del mercado por medio de un operador independiente del sistema, que administra la producción y consumo de la electricidad; así como el establecimiento de contratos bilaterales para la compra de energía. También, la capacitación que se dio a los usuarios de cómo funciona el mercado, donde hicieron un programa piloto para conocer el nuevo esquema y su funcionamiento, y como deberían actuar los consumidores al poder elegir un comercializador que les prestará el servicio (Bragulat *et al.*, 2016).

La regulación, así como otros factores económicos, sociales y políticos deben tenerse en cuenta a la hora de evaluar el diseño e implementación de mercados minoristas, dado que cada país tiene sus particularidades de mercado para ser más eficientes. De igual manera, realizar referenciamientos de otros casos internacionales que pueda permitir tomar las mejores decisiones frente al diseño e implementación de estos mercados, evidenciando

en que fallaron y prever un resultado más positivo. En el próximo capítulo, se desarrolla el marco teórico con las características de los mercados de energía y cómo funciona el mercado de energía mayorista en Colombia, así como los aspectos más relevantes de los mercados minoristas para su desarrollo y futura incorporación al mercado eléctrico colombiano.

2. Capítulo 2 – Aspectos teóricos de los mercados eléctricos

El análisis del mercado eléctrico resulta complejo el hecho de ser un sistema económico que debido a sus características particulares y complejidad técnica implica conocer su operación en un sistema interconectado para el suministro de la energía. Así mismo, conocer que otros mercados se pueden integrar para llevar el desarrollo a mercados más completos e inclusivos sin mayores distorsiones para los actores involucrados. A continuación, se presentan algunos temas a tener en cuenta para el desarrollo de los mercados minoristas (Cano, 2017).

2.1 Características de la electricidad

La electricidad se entiende como una energía secundaria, debido a que proviene de la transformación de energías primarias como el gas natural, carbón, hidráulica, petróleo, solar, eólica, entre otras. Tiene propiedades como la producción instantánea y la obligación de consumo por no poderse almacenar en grandes cantidades. Adicionalmente, es un producto o servicio necesario en la economía y los hogares por la importancia para la producción de bienes y servicios en las empresas y la industria (Tamayo & Cuervo, 2019). Es por esto que se cuentan con sistemas de potencia que permitan mantener el balance entre lo que se produce y se consume, para lo cual utilizan diferentes sistemas de información que permiten monitorear y controlar el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y garantizan la seguridad y confiabilidad del sistema (Ferreira, 2006).

2.1.1 Generación

Comprende la producción de energía a través de diferentes medios como centrales hidráulicas, térmicas, solar, biomasa y eólicas (XM, 2020). Según la reglamentación, se tienen diferentes tipos de generadores: los que poseen plantas o unidades de generación conectadas al SIN con capacidad mayor o igual a 10 MW; los auto-generadores, personas

naturales o jurídicas, que producen energía eléctrica solamente para atender sus propias necesidades y no usan la red pública para otros fines que no sea el de obtener respaldo del SIN; y los cogeneradores, personas naturales o jurídicas que producen energía por medio de un proceso de cogeneración, el cual es un proceso de producción combinada de energía eléctrica y térmica, que hacen parte integral de una actividad productiva para consumo propio o de terceros y destinada a procesos industriales o comerciales. Estos últimos pueden vender los excedentes o atender sus necesidades en el Mercado de Energía Mayorista (MEM) (Cruz *et al.*, 2013).

2.1.2 Transmisión

Los transmisores son los encargados de llevar la energía desde las centrales eléctricas hasta las subestaciones de transformación por medio de redes que operan a tensiones de 220 kV o más (XM, 2020). Además, desarrollan las actividades del transporte de energía eléctrica en el sistema de transmisión nacional (STN), donde se presenta competencia en cuanto a la construcción, administración, operación y mantenimiento de los proyectos de expansión del STN (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2013).

2.1.3 Distribución

Los distribuidores transportan la energía hasta el usuario final por medio de redes que operan a tensiones menores a 220 kV (XM, 2020). Aunado a esto, la parte de la distribución está dada por el área donde se presta el servicio dentro de un territorio, donde las empresas de distribución. La regulación y diferentes mecanismos permiten ayudar a que se puedan controlar los “monopolios geográficos” que se pueden presentar.

Los diferentes servicios que pueden prestar las empresas distribuidoras son los de mantenimiento, operación y administración de las redes, medición y facturación del consumo, además de comercialización de energía eléctrica para clientes que cuenten con la capacidad de elección (XM, 2020).

2.1.4 Comercialización

Los comercializadores compran la electricidad en el mercado mayorista y la venden a los usuarios finales (XM, 2020). También los comercializadores dentro de los mercados minoristas permiten que la sociedad se vea beneficiada por una mejora en los precios.

Igualmente, permite que los consumidores hagan parte más activamente del mercado ya que pueden vender y comprar energía al sistema y gestionar sus riesgos. Las ventajas que pueden obtener los comercializadores es brindar un valor agregado a los servicios que ofrecen o suplir otras necesidades que soliciten los consumidores (Bragulat *et al.*, 2016).

2.2 Mercado de energía mayorista

Estos son grandes bloques en los que generadores y comercializadores pueden comprar y vender la energía eléctrica a través de contratos bilaterales, en los cuales acuerdan, a precios fijos generalmente, la compra y venta futura de la electricidad, o en la bolsa de energía, donde negocian los excedentes tanto de exceso como faltantes de electricidad para el cumplimiento de sus obligaciones dentro del mercado (Cardona *et al.*, 2019).

En Colombia, el mercado eléctrico se creó en los años 90s con una reforma basada en las leyes 142 (Ley 142, 1994) de 1994 y 143 de 1994 (Ley 143, 1994). En esta reforma el Estado pasó de ser el proveedor del servicio a ser quien diseña las reglas del mercado con la creación de entidades para la regulación, vigilancia y control del sector eléctrico. El mercado eléctrico colombiano tuvo influencia de las reformas que se dieron en el sector eléctrico en Inglaterra en los 80s y no ha tenido cambios significativos desde su creación. La Comisión de Energía y Gas (CREG) como ente regulador, es quien establece las reglas aplicadas a este mercado (Castro & Pérez, 2019).

En el mercado eléctrico mayorista participan agentes generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores y usuarios no regulados (grandes consumidores de electricidad, cuya demanda sea 100 kW o 55 MWh/mes).

En la bolsa de energía diariamente los generadores realizan ofertas para entregar su energía al sistema. El precio de bolsa se determina a través de un despacho ideal, en el cual no se tiene en cuenta las restricciones de la red y se realiza un día después de la operación (XM, 2020).

Adicionalmente, la generación, en el caso de Latinoamérica, procede principalmente de fuentes hidroeléctricas, por lo que los precios en el mercado tienen una gran dependencia de las temporadas de verano e invierno o fenómenos climáticos como La Niña o El Niño, adicionalmente, los costos de combustibles también afectan en gran medida los precios de la energía eléctrica (Tamayo & Cuervo, 2019).

Como se veía anteriormente, el mercado de energía mayorista se divide en dos: mercado de corto plazo, la bolsa de energía, en la cual para las veinticuatro horas del día siguiente se tiene obligación de participación de los agentes generadores registrados en el mercado de acuerdo con reglas explícitas de cotización y en la que, la energía por contratos es independiente del precio de corto plazo; y el mercado de largo plazo, contratos bilaterales.

En cualquiera de los dos mercados, las transacciones de energía pueden darse entre los generadores, comercializadores o directamente con usuarios no regulados. Los usuarios regulados (residenciales) están relacionados con el mercado mayorista por medio del comportamiento de los precios del mercado y los precios a los cuales el comercializador realice las transacciones para atenderlo (XM, 2020).

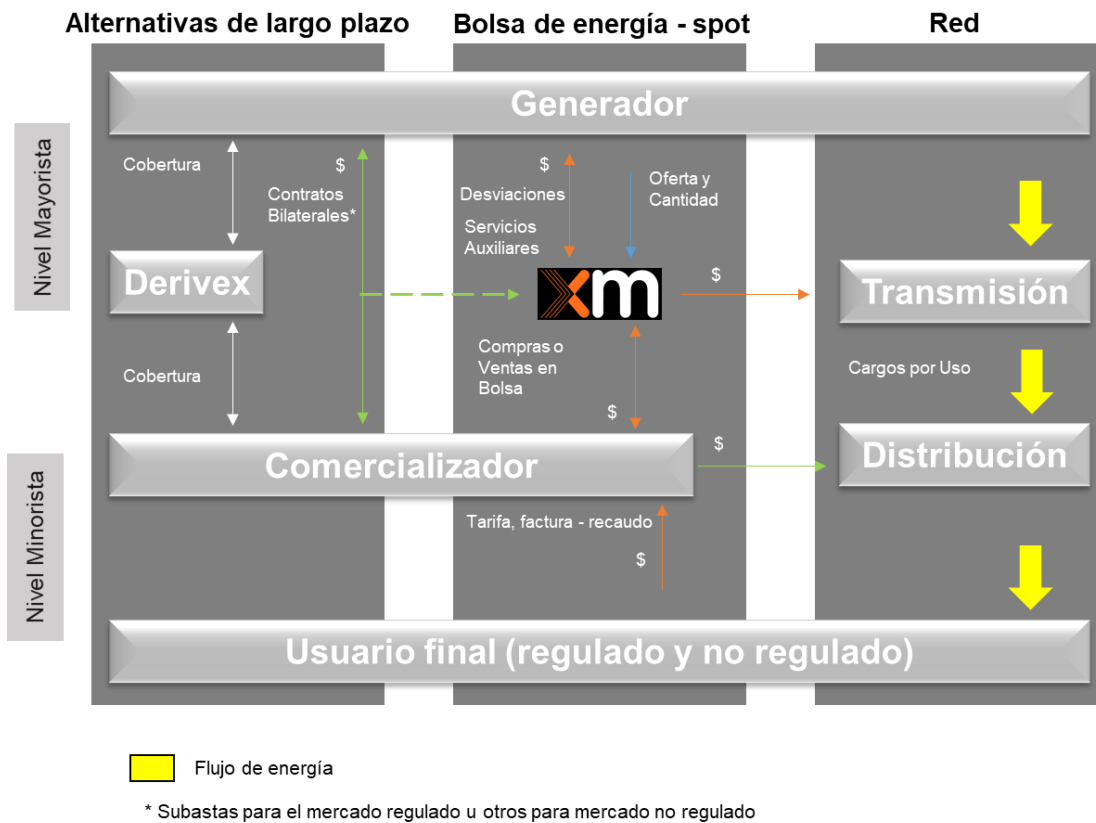


Figura 2-1 Estructura del mercado eléctrico colombiano. Tomado de (Castro & Pérez, 2019).

En la **Figura 2-1**, se muestra a XM, que para el caso de Colombia tiene el rol integrado de operador y administrador del SIN, a través de las figuras del Centro Nacional de Despacho (CND), del Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) y del Liquidador

y Administrador de Cuentas (LAC). Así como los agentes que intervienen en el mercado, generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores y usuarios finales, anteriormente descritos.

2.3 Mercado de energía minorista

En este tipo de mercado la competencia se determina de acuerdo con la elección que realicen los usuarios de a quien le compran la energía, puede ser, directamente a generadores, comercializadores o minoristas. Esto conlleva a que se tenga un mercado mayorista competitivo y desregulado, y que se lleve la competencia a los minoristas.

En este caso, los comercializadores atienden los usuarios finales con precios regulados y les prestan el servicio de facturación; con los usuarios no regulados la venta de energía es a precio libre, es decir, acordados entre las dos partes. Los comercializadores y usuarios no regulados pueden celebran contratos de energía estableciendo el precio a pagar por la electricidad sin la intervención del Estado (XM, 2020).

Lo anterior, permite mejorar la eficiencia y los beneficios de los mercados minoristas que se pueden evaluar otros mercados o industrias que permitan identificar ventajas, posibles fallas en la implementación, entre otras, que ayuden a generar beneficios a todos los actores del sistema como nuevos productos, elementos, plataformas o sistemas de intercambio. Esto debido a que los mercados eléctricos competitivos se caracterizan por la interacción de una gran cantidad de actores, con la cual se crean nuevas necesidades de información, comunicación y coordinación (Microgrid Knowledge, 2018).

Igualmente, se debe tener en cuenta la estructura de los mercados eléctricos, la regulación, la economía, la operación de otros mercados como, el de derivados, el de día después, el intradiario, así como los temas manejados en cada uno, contratos bilaterales-OTC y de largo plazo, la oferta de disponibilidad y precios, generación distribuida, entre otras, que permitan el desarrollo o ajustes en el mercado de energía eléctrica para contar con un mercado completo e inclusivo en Colombia (Microgrid Knowledge, 2018).

Para esto, deben considerarse herramientas, plataformas o mecanismos que permitan el intercambio de información y que las acciones y transacciones que se dan en el mercado contribuyan a su desarrollo, algunas de ellas son:

- **Registro y medición:** uno de los requisitos para el desarrollo de los mercados minoristas, son las mediciones “horarias o en minutos”, que permitan cobrar precios “instantáneos”, es decir, de acuerdo con los contratos, precios y tarifas de corto plazo.
- **Perfiles de consumo:** estos son estimaciones de consumo diarios, es decir, tipifican a los consumidores de acuerdo con la forma de su consumo diario. Estos son útiles cuando no se cuenta con medidores horarios, y permite a los comercializadores conocer la curva de carga a costos razonables de su grupo de clientes. Igualmente, se puede tipificar por tipo de energía que se genera.

También, estas iniciativas están utilizando *Blockchain* (que se define como una “base de datos compartida que funciona como un libro para el registro de operaciones de compra-venta de cualquier transacción” (*Technology*, 2016)) como tecnología en el uso de contratos inteligentes para los cuales pueden realizar intercambios de productos y servicios entre diferentes sectores a través de sistemas de valores digitales, en los cuales no son necesarios los intermediarios o centralizadores (Gil & Arbeláez, 2019).

En algunos países, de igual manera, se vienen desarrollando mercados de productos energéticos, en los cuales se negocian derivados sobre energía eléctrica, para lo cual utilizan los futuros de cobertura o especulación sobre energía eléctrica, es decir, para que los comercializadores, generadores, inversionistas o usuarios finales, puedan comprar (posiciones largas) o vender (posiciones cortas) en futuros para cubrirse de la variación de los precios o especular frente a la tendencia de estos (Tamayo & Cuervo, 2019).

Con estas nuevas tecnologías aparecen nuevos actores en el mercado, que pueden tener una participación más activa dentro de este, como es el caso de los prosumidores que explican a continuación.

2.3.1 Prosumidor

Estos son los actores que consumen y producen la energía renovable (solar, eólica, biomasa, entre otras) y modifican sus consumos o demanda de energía. Debido a esto, la transformación energética está tendiendo a ser más sostenible, al contar con formas de producción de energía y autoconsumo más descentralizados. De esta forma los consumidores se vuelven productores activos dentro del sistema (Brown *et al.*, 2020).

Este tipo de actores está surgiendo como respuesta a desafíos presentados en los sistemas energéticos, en cuanto a la atención del servicio de energía eléctrica en zonas no interconectadas o de difícil acceso, igualmente, brindan soluciones a comunidades o grupos que quieren autoabastecerse con energías verdes, creando así otros modelos de negocio que impactan al mercado de energía actual.

En la **Figura 2-2**, se muestran los sistemas de electricidad centralizados, distribuidos además de los prosumidores y su descripción de acuerdo con las características físicas de cada uno. En esta hay tres sistemas principales de energía: centralizada, distribuida y prosumidor.

El sistema de energía centralizada es un modelo tradicional de grandes centrales eléctricas conectadas a la red de transmisión de alta tensión. Este se caracteriza porque el consumo se encuentra lejos del punto de generación. Esto permite desarrollar economías de escala en el diseño de sistemas de energía.

De otro lado, el sistema de energía distribuida es un modelo emergente con plantas de energía de menor escala conectadas a una red de distribución de bajo voltaje, aunque se conectan directamente a la red. Respecto al consumo se caracteriza por ser cercano al punto de generación, o al menos la energía eléctrica debe generarse dentro del punto de suministro de la red. Como ventaja este sistema reduce el uso de la red de transmisión y promueve el consumo a nivel local.

Finalmente, el sistema de energía prosumidor, es también un modelo emergente con plantas de energía a microescala, las cuales están conectadas directamente a edificios o al sitio de demanda. Aquí, el consumo en el punto de generación a menudo se encuentra “detrás del medidor”. Esto promueve la flexibilidad en el lado de la demanda al involucrar activamente a los usuarios en la respuesta a la demanda y al cambio temporal del consumo.

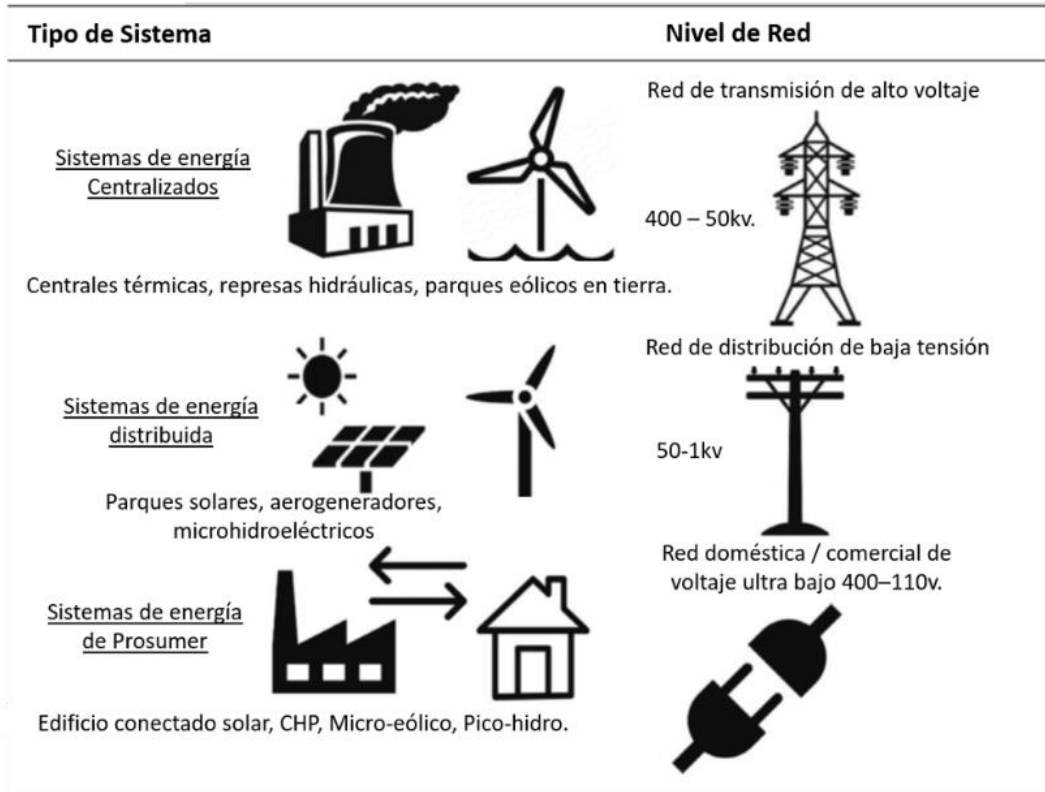


Figura 2-2 Sistema de electricidad y sus características. Tomada de (Brown *et al.*, 2020).

Es importante notar de la **Figura 2-2**, que se evidencian cambios en el comportamiento de la demanda, la oferta de servicios de almacenamiento y la flexibilidad, entre otros, que permiten equilibrar la intermitencia de energías renovables y mitigar los riesgos en su utilización dentro del mercado de energía.

Como se ha evidenciado en este capítulo que, para el planteamiento de los mercados minoristas en Colombia, se deben tener en cuenta aspectos técnicos, normativos y experiencias de otros mercados internacionales donde este tipo de sistemas han funcionado para mejorar la calidad del servicio y responder a las necesidades de los usuarios. En el siguiente capítulo se presentan la revisión de la literatura que permita identificar soluciones para el diseño de un mercado minorista alternativo en Colombia con la revisión de metodologías implementadas en otros mercados más avanzados en este tema.

3. Capítulo 3 – Revisión de literatura sobre mercados minoristas eléctricos

Los cambios por los que está atravesando el sector eléctrico colombiano ya lo han vivido otros mercados del mundo, con lo cual se busca la definición de un marco normativo que garantice la sostenibilidad económica, que las empresas sean eficientes y estén bien gestionadas, se introduzcan medidas que lleven a la eficiencia energética y que aumenten las capacidades de los consumidores para que cuenten con una participación más activa en el ciclo productivo de la electricidad, así como en la compra y venta de esta. Por lo anterior, en este capítulo se realizará la revisión de la literatura que permita identificar investigaciones que ya hayan propuesto posibles soluciones para el diseño de un mercado minorista alternativo para Colombia.

La evolución que debe darse en diferentes mercados eléctricos para llegar a mercados minoristas es amplia, por lo que se busca tener una mirada general de estos mercados que permita identificar los aspectos técnicos y no técnicos para el desarrollo de estos en el país.

En los mercados eléctricos, los generadores establecen contratos bilaterales de compra y venta de energía, el cual se denomina mercado de largo plazo; el mercado *spot* como se le conoce al mercado de la bolsa de energía, es donde se ajustan los excedentes de oferta y demanda, en la cual la oferta de energía eléctrica es horaria y el precio se establece diariamente. El administrador del mercado realiza las reconciliaciones de las ofertas horarias de cada generador con la demanda del mercado y establece las plantas cuyo precio y cantidad entran en mérito y deben despachar la energía; el precio de bolsa se transfiere al usuario final (Pulido & Campo, 2014)

Puede encontrarse en la literatura diversos trabajos relacionados con los aspectos que deben tenerse en cuenta para la inclusión de los mercados minoristas y contar con una participación más activa de los consumidores. Como se muestra en el trabajo de (Silva et

al., 2016), donde las redes eléctricas inteligentes permiten mejorar la eficiencia energética y la respuesta a la demanda, en el cual la integración de los medidores inteligentes, la infraestructura de telecomunicaciones y sistemas centrales permiten contar con información y energía de forma bidireccional permitiendo optimizar el funcionamiento de la red, ya que permite entre otras, la auto-reparación del servicio ante perturbaciones como fallas de equipos, fenómenos climáticos; ajustes autónomos de las condiciones de operación del sistema y es esquemas de predicción más sofisticados, así como una participación más activa de los consumidores como agentes del mercado de energía con flujos bidireccionales de electricidad y ajuste de los consumos como respuesta a las señales del sistema.

De acuerdo con (Vázquez, 2015), la agregación de la demanda permite un control dinámico de cargas para gestionar y optimizar la autogeneración y la demanda de una microrred, con el fin de disminuir los consumos durante los periodos de máxima demanda del sistema, minimizar la cantidad de carga conectada a la instalación y maximizar su trabajo útil sin afectar procesos productivos o el confort de los consumidores.

El almacenamiento de la energía también es un factor para tener en cuenta en la incorporación de mercados minoristas, donde se permita a los prosumidores comprar y vender la energía de acuerdo con sus necesidades y factores de consumo. Aunado a lo anterior, los precios de la electricidad están relacionados con este aspecto ya que se ve afectada la demanda directamente (Silva et al., 2016).

En cuanto a los temas relacionados con la optimización de consumo energético, se están utilizando sistemas de medidores inteligentes, como mencionan Weiss et al (Weiss et al., 2012), donde se cuenta con una arquitectura para concentrar la información de acuerdo con las lecturas de los medidores inteligentes y agruparlas en una base de datos que es utilizada en la infraestructura de medición avanzada - AMI (Weiss et al., 2012). Igualmente, Aranda et al (Aranda et al., 2016) y Arroyo et al (Arroyo et al., 2017), establecen que para un sistema de gestión de energía, los protocolos de comunicación de información puede darse por medio de las líneas de energía convencionales tanto en los hogares como en exteriores.

De igual forma, un sistema de monitoreo de energía, en el cual los consumidores pueden llevar un control energético de sus consumos, están siendo manejados por interfaces web y dispositivos móviles, con el fin de contar con señales tempranas para la toma de

decisiones energéticas de sus consumos en cualquier parte y a cualquier hora, como lo muestran Barnes, Collins & Mills en su trabajo “*Design and implementation of home energy and power management and control system*” (Barnes et al., 2017).

La calidad de la energía también resulta relevante en los sistemas de medición inteligentes, como se muestra en trabajos como el de Palacios-García et al (Palacios et al., 2017), en el cual a través de procesamiento de señales y la infraestructura adecuada se puede determinar si la señal eléctrica cumple con las especificaciones de calidad establecidas. Esto es importante ya que con la generación distribuida en la cual se utiliza mayormente energías renovables, pueden llegar a no cumplir todo el tiempo con una señal eléctrica de calidad.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Proponer un diseño para el desarrollo de un mercado minorista alternativo en Colombia.

3.1.2 Objetivo específico 1

Identificar barreras en el marco legal y regulatorio vigente del mercado que impidan la adecuada implementación de otros mercados minoristas en el mercado eléctrico colombiano.

3.1.3 Objetivo específico 2

Identificar alternativas de mercados minoristas a las existentes en Colombia.

En el siguiente capítulo se presentan el desarrollo de las metodologías para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo para la incorporación de mercados minoristas al mercado eléctrico colombiano.

4. Capítulo 4 – Desarrollo del marco metodológico para los mercados minoristas eléctricos en Colombia

Aquí se plantea y desarrolla la metodología base o eje principal de este estudio de la siguiente manera:

1. En el numeral 4.1 se desarrolla el primer objetivo específico “identificar barreras en el marco legal y regulatorio vigente del mercado que impidan la adecuada implementación de otros mercados minoristas en el mercado eléctrico colombiano”.
2. En el numeral 4.2, el segundo objetivo específico “identificar alternativas de mercados minoristas a las existentes en Colombia”.

De igual manera, se hace notar la importancia de las experiencias y metodologías aplicadas en otros países como España y Estados Unidos, incluso algunos trabajos en Colombia, donde se puede identificar los aspectos que la revisión de la literatura, los antecedentes y funcionamiento del mercado actual con miras a los mercados minoristas le pueden aportar a la investigación para el desarrollo del presente trabajo.

Esto permite obtener información en cuanto a cómo funcionan los mercados minoristas en los países mencionados, donde ya se han implementado, además de su marco legal y regulatorio, y demás información que ayude a obtener una correcta implementación en el mercado energético minorista, sin mayores distorsiones para los actores involucrados.

Inicialmente, la consideración de los requisitos y funcionamientos de los mercados minoristas es importante para evaluar su implementación en el mercado eléctrico colombiano. Para su análisis, la regulación juega un papel importante para identificar beneficios de la conveniencia de liberalizar el mercado y las ventajas de contar con una mayor competencia, con relación al aumento de nuevas tecnologías, desarrollo de otros

mercados como el intradiario, el de día después y por *peer to peer*, u otros factores como la generación distribuida o la respuesta a la demanda, entre otros.

Para la liberación del mercado eléctrico, hay aspectos importantes como, la competencia en el mercado mayorista, donde los comercializadores compran y suministran energía a sus clientes de acuerdo a tarifas reguladas, y la competencia en el mercado minorista, donde hay factores para establecer puntos de partida, como son el buen funcionamiento del mercado mayorista en cuanto a eficiencia y que debe ser completo, es decir, bien desarrollados, las tarifas deben ser eficientes y contar con buena competencia de los posibles entrantes.

Otro aspecto importante para el funcionamiento de los mercados minoristas son las tarifas de acceso, porque deben generar expectativas para que los entrantes recuperen sus inversiones y sus ingresos superen los costos asociados a operación, mantenimientos y demás que puedan surgir en la prestación del servicio. Estas tarifas deben ser aplicables y claras, para que los clientes las entiendan y puedan tomar las mejores decisiones respecto al consumo. Igualmente deben ser predecibles para tener una visión de su comportamiento futuro y no discriminatorias (García, 2006).

Aunado a lo anterior, se requiere que el consumidor cuente con un conocimiento adecuado del mercado, que le permita decidir entre las opciones que tiene, los servicios que le ofrecen los comercializadores u otros consumidores, según el caso.

4.1 Normatividad vigente para los mercados eléctricos

Como se pudo evidenciar en el Capítulo 1, los mercados de energía han sufrido diferentes transformaciones que han llevado a que la normatividad vigente cambie para dar respuesta a las necesidades de los diferentes actores que participan en éste y que permita evidenciar alternativas para la implementación de mercados minoristas en el mercado eléctrico colombiano, que sean más completos e inclusivos y que lleven a la eficiencia y sostenibilidad energética del país. Por ejemplo, la **Tabla 4-1**, se presenta la normatividad vigente asociada a los mercados eléctricos en Colombia, donde se desarrollan temas sobre generación distribuida, medición avanzada, mercado anónimo estandarizado de contrato, sistemas de almacenamiento, autogeneración, entre otras disposiciones a tenerse en cuenta para el diseño de mercados minoristas alternativos, donde se puede evidenciar los

aspectos técnicos en los que está trabajando el ente regulador para permitir la transformación del sector y la inclusión de estos mercados en el desarrollo de los mercados como los minoristas o P2P.

De igual manera, de la mano del análisis de la regulación debe ir la revisión de los aspectos técnicos que también se deben modificar para la inclusión de mercados que contribuyan al desarrollo de los minoristas, como se verá en el numeral 4.2 de este capítulo.

Tabla 4-1. Normatividad vigente aplicada a los mercados eléctricos con miras a los mercados minoristas alternativos (CREG, 2020).

Documento	Objeto y puntos relevantes
Resolución CREG 098 de 2019	Se definen los procesos para que las personas interesadas instalen sistemas de almacenamiento de energía eléctrica con baterías (SAEB), con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema de Transmisión Nacional, STN, o en un Sistema de Transmisión Regional, STR (CREG, 2020).
Resolución CREG 019 de 2019	Relación con los derechos de los usuarios Autogeneradores a Pequeña Escala - AGPE". El usuario del servicio público domiciliario de energía eléctrica mantiene su condición de usuario beneficiándose con la prestación de un servicio público y además con la posibilidad de entregar excedentes de energía a la red. Esta nueva condición del usuario requiere de disposiciones que lo protejan en su relación con la empresa. Los excedentes de energía que son entregados a la red por usuarios autogeneradores a pequeña escala hacen parte de las actividades complementarias de la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica (CREG, 2020).
Resolución CREG 127 de 2018	"Por la cual se definen los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento en el Sistema Interconectado Nacional". Se definen los procesos para que las personas interesadas instalen sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías, SAEB, con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema Interconectado Nacional, SIN (CREG, 2020).
Circular CREG 030 de 2018	Se establecen los mecanismos de remuneración de las actividades de autogeneración y generación distribuida en el SIN. Esta contempla la monetización de los excedentes de energía inyectados a la red de parte del generador distribuido (CREG, 2020).
Resolución CREG 015 2018	Se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (CREG, 2020).
Resolución MinMinas 400072 de 2018	Por el cual se establecen los mecanismos para implementar la infraestructura de medición avanzada en el servicio público de energía eléctrica. - Los operadores de red (OR) serán encargados de la implementación de AMI. - La CREG lo debe regular en un plazo menor a 1 año. - Los OR deben presentar planes de implementación de AMI a 2030 cubriendo el 95% de la población urbana y el 50% de la población rural (CREG, 2020).
Decreto MinMinas 348 de 2017	Al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala (CREG, 2020).
Resolución CREG 167 de 2017	Se define la metodología para determinar la energía firme de plantas eólicas (CREG, 2020).
Resolución CREG 121 de 2017	Se regulan aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional (CREG, 2020).
Circular CREG 079 de 2017	Propuesta de alternativas para traslado de precios de un mercado anónimo estandarizado de contratos a la tarifa buscando ofrecer un tercer mercado de compra

Documento	Objeto y puntos relevantes
	de energía a los comercializadores. Favoreciendo el anonimato y minimizando el riesgo de crédito (CREG, 2020).
Resolución CREG 240B de 2015	Bajo consulta: Por el cual se aprueba la formula tarifaria general que permite a los comercializadores minoristas de electricidad establecer los costos de prestación del servicio a usuarios regulados en el SIN. Ante el desarrollo de tecnologías de medición horaria y autogeneración a pequeña escala se plantea una formulación horaria a nivel horario de la aplicación del CU (CREG, 2020).
Ley 1715 de 2014	Promueve el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda (CREG, 2020).
Ley 142 y 143 de 1994	Marco legislativo que regula el sector eléctrico en Colombia. Establece la separación de actividades, define el tipo de usuarios por mercados y busca la competitividad del sector (CREG, 2020).

4.2 Análisis de alternativas de mercados minoristas

Los mercados minoristas presentan grandes beneficios para los consumidores dado que tendrían mejores tarifas y sistemas más eficientes que permitirían mejorar la calidad de vida. Para llegar a esto se hace necesario revisar los diseños e implementaciones que permitan identificar las transacciones que se llevarán a cabo en cada uno de estos, permitiendo así contar con mercados más completos e inclusivos. Con la revisión de casos de éxito de otros mercados que se han implementado en otros países, se evalúan herramientas que permitan la adecuada implementación en Colombia de acuerdo con el desarrollo de este tipo de mercados.

Dado lo anterior, la mayor evolución de los mercados de energía eléctrica en la actualidad se está dando en el mercado de corto plazo (bolsa de energía), donde se incluyen instancias adicionales para que se puedan negociar los excedentes o faltantes de energía cercanas al momento de atención de la demanda. Por ejemplo, en mercados de Estados Unidos, se tienen mercados en tiempo real y para el caso de los mercados europeos se tienen mercados intradiarios. Esto busca que los precios se formen eficientemente bajo el diseño de un mercado que facilite la incorporación de fuentes de energías renovables no convencionales (FERNC), que por sus características de operación generan incertidumbre en la cantidad de energía que los agentes pueden comprometerse a entregar y la que realmente pueden aportar en tiempo real (Castro & Pérez, 2019).

También, se evalúan diferentes implementaciones de herramientas, plataformas, sistemas de intercambios, entre otros, que ayuden a las interacciones de las nuevas actividades que se incorporan al mercado eléctrico con la implementación de los mercados minoristas y que hacer para que los consumidores puedan tener un papel más inclusivo en el mercado que les ayude a tomar decisiones frente a sus consumos.

Igualmente, la propuesta plantea alternativas para la interacción de los actores del mercado con la inclusión de nuevos roles, asociados a la incorporación de nuevas tecnologías, fuentes renovables en la generación, entre otras que minimicen los riesgos de operación y administración del mercado. Así mismo, identificar las interacciones que tendrán los participantes en el mercado, funciones y transacciones para la compra y venta de energía, entre otras.

Como se evidencia en otros lugares, en el sur de Alemania en un pueblo llamado *Wildpoldsried de Braviera*, donde la participación ciudadana y el interés por no depender de los hidrocarburos y la energía nuclear, los llevo a migrar a las energías limpias para adaptarse y ser más eficientes con su entorno. Al ser un pueblo ganadero y tener vientos fuertes y constantes, identificaron el potencial de obtener energía eléctrica de generadores de biogás, paneles fotovoltaicos y turbinas de viento. En la actualidad el sistema consta de 11 turbinas eólicas con capacidad de 12 MW, cinco plantas de biogás, 2.100 m² de paneles solares fotovoltaicos que producen casi 5 MW, una red de calefacción distrital por biomasa con desperdicios orgánicos y tres pequeñas plantas hidroeléctricas. En general, producen seis veces más energía de la que necesitan y los excedentes los venden al mercado (Mundo, 2016) (Palou, 2017).

Esto evidencia otras formas de producir energía y de la interacción de nuevos actores en el mercado eléctrico, que permita identificar riesgos, formas de incorporarse y transformar el mercado eléctrico actual para responder a las necesidades actuales y futuras de los usuarios o comunidades.

Así mismo, los entes gubernamentales como el Ministerio de Minas y Energía, la Comisión de Energía y Gas, el Administrador y Operador del Mercado de Energía, ente otros, han comenzado a trabajar para que la normatividad este más orientada a brindar las condiciones y adecuar la infraestructura necesarias desarrollo de estos mercados. Es así como diferentes agentes que actualmente componen el mercado cuentan con la

responsabilidad de ir adecuando las tecnologías para que nuevos agentes participen más activamente del mercado, como los autogeneradores o prosumidores; por ejemplo, la Resolución MinMinas 400072 de 2018, establece que los operadores de red serán los encargados de la implementación de la infraestructura de medición avanzada en el servicio público de energía eléctrica, donde se contará con contadores bidireccionales que permiten tener información en tiempo real del consumo de energía, la Resolución CREG 127 de 2018, establece los mecanismos para que las personas interesadas puedan contar con sistemas de almacenamiento de energía en baterías y fácilmente poder entregarla al sistema cuando se tengan excedentes.

En el próximo capítulo, se desarrolla en mayor medida el objetivo general de este trabajo “proponer un diseño para el desarrollo de un mercado minorista alternativo en Colombia”, en el cual se identifican los aspectos técnicos y demás elementos que deben tener estos mercados minoristas para su inclusión en el actual mercado eléctrico de Colombia.

5. Capítulo 5 – Planteamiento de un diseño para el desarrollo de un mercado minorista alternativo

Como se ha visto en los capítulos anteriores, la rápida evolución que están teniendo los sectores eléctricos y las transformaciones que deben afrontar, tienden a modificarlos de tal forma que se pueda contar con mercados más completos que permitan la gestión de los riesgos que tiene la operación y administración de los mercados eléctricos y que los diferentes actores cuenten con información más detallada y precisa en cuanto a sus consumos y formas de transar en el mercado.

Es con ello que, debe existir una evolución de las oportunidades de negociación en diferentes espacios del tiempo. En el largo plazo con mercados de capacidad, así como en el mediano plazo con mercados OTC y mercados de derivados. De otro lado, en el corto plazo con mercados del día anterior y mercados intradiarios. Finalmente, en tiempo real con mercados de balance o servicios complementarios, mercados minorista y plataformas *peer to peer*.

En Colombia, el desarrollo de este tipo de mercados requiere que se hagan ajustes al diseño que se tiene actualmente para contribuir a afrontar los nuevos retos que se están dando en el sector. En la **Figura 5-1** se muestra los mercados de energía existentes o en desarrollo en Colombia. Los mercados en negro son los más desarrollados (carga por confiabilidad), los que aparecen sombreados existen, pero requieren de mayor desarrollo (mercados a plazo OTC y derivados, mercado del día anterior, balance y servicios complementarios) y los que están en blanco están todavía en propuesta y se requieren implementar en los próximos años (mercados intradiario/tiempo real, minorista, P2P). El desarrollo de estos mercados favorecería un mercado más completo en Colombia.



Figura 5-1 Mercados de energía para Colombia. Modificado de (Gil & Arbeláez, 2019).

En la **Tabla 5-1** se muestran las características de los mercados que requieren un mayor desarrollo en Colombia y cómo ha sido su funcionamiento en otros mercados internacionales como el norteamericano y el europeo.

Por citar algunos ejemplos, los modelos de los mercados del día anterior, intradiario y tiempo real están en los mercados de PJM, CAISO, NYISO e ISO *New England*, entre otros. Aunado a lo anterior, para que este tipo de mercados pueda desarrollarse en Colombia, por ejemplo, como lo proponen Castro & Pérez en su artículo “Diseño de un Despacho Vinculante y un Mercado Intradiario en Colombia” (Castro & Pérez, 2019), se pueden desarrollar esquemas de un despacho vinculante unido al despacho económico con que se opera hoy en día para determinar el precio de corto plazo. Los compromisos determinados en este despacho en cuanto a cantidades y precios son en firme para los agentes del mercado.

Así mismo, para el caso del intradiario, se pueden realizar subastas para negociaciones de las horas restantes del día de operación, en las cuales los agentes pueden cambiar su programa de generación del día anterior de acuerdo con la información que van obteniendo de la operación en tiempo real, pero no toda la energía sino inicialmente como un mercado de ajustes; a medida que se adquiere madurez en estas sesiones se podrán proponer más sesiones durante el día de operación. Y en el caso del mercado de balance, incentivar a los participantes del mercado para que mantengan en firme las cantidades fijadas en los

despachos vinculantes y que cuando lo requieran acudan a sesiones del mercado intradiario para ajustar posiciones (Castro & Pérez, 2019).

Tabla 5-1 Características de los mercados de energía para Colombia. Modificado de (Castro & Pérez, 2019)

Mercados	Características mercados internacionales	Características del mercado colombiano
<p align="center">Mercado del día anterior “day-ahead”</p>	<p>Los participantes para el caso de la oferta declaran precios y cantidades de su energía, es decir, el precio al que están dispuestos a vender</p>	<p>Para el despacho económico, es decir, las cantidades que se fijan en el mercado del día anterior no fijan el precio de la energía y las cantidades no quedan en firme para responder a los compromisos adquiridos en los contratos bilaterales. En el caso de Colombia las cantidades asignadas en el día anterior, se denominan generación programada, “la cual sirve como cantidad de referencia para liquidar desviaciones con respecto a la generación realmente aportada”. Cuando se cuenta con la señal de precio spot, el cual se fije desde el día previo a la operación permitirá contar con mayor firmeza de los compromisos que se adquieran, siempre y cuando se “establezcan incentivos para que el generador cumpla con su programa de energía asignado”.</p>
	<p>Los participantes para el caso de la demanda declaran el precio que están dispuesto a pagar</p>	
	<p>Para cada hora del día siguiente, la casación entre las curvas de oferta y demanda, conforman los precios y cantidades del mercado del día anterior</p>	
	<p>Las cantidades son vinculantes, es decir, los compromisos adquiridos serán liquidados en el mercado intradiario o mercado en tiempo real</p>	<p>La generación programada son las cantidades asignadas el día anterior, que se utilizan como referencia para liquidar las desviaciones con respecto a la generación real aportada.</p>
<p align="center">Conclusión</p>	<p>Contar con una señal del precio de mercado de corto plazo que se establezca el día anterior a la operación, conferirá firmeza de los compromisos adquiridos y servirá para la operación del sistema, en la medida que se den incentivos al generador para que cumpla con el programa de energía asignado</p>	
<p align="center">Mercado intradiario / tiempo real</p>	<p>Los participantes del mercado al inicio de la operación cuentan con la alternativa adicional de volver a presentar ofertas o compras de energía, incluso durante el mismo día de la operación.</p> <p>El mismo día de operación, los participantes pueden volver a negociar la totalidad de la demanda de energía para algunos periodos de carga, o transar algunos deltas establecidos por el administrador del mercado</p>	<p>Este tipo de mercado funciona para las transacciones internacionales de electricidad, donde en el despacho económico coordinado se fijan los excedentes de energía que no son requeridas para atender la demanda interna o mantener la seguridad interna de cada país. Las cantidades se establecen de acuerdo con el periodo del despacho, ya sea diario, semanal o mensual y las curvas de oferta y demanda; estas cantidades no quedan en firme y no fijan el precio de la energía.</p>

Mercados	Características mercados internacionales	Características del mercado colombiano
Conclusión	Adaptar el programa de generación de los agentes, de acuerdo con las necesidades que se esperan en el sistema en tiempo real.	
Balance y servicios complementarios	<p>Las cantidades de generación y demanda del despacho vinculante del mercado del día anterior y las sesiones dadas en el mercado intradiario se requieren para llevar a la operación cercana al tiempo real, donde se incentiven a los participantes del mercado para que cumplan los compromisos asignados.</p> <p>Los precios que resulten de este mecanismo deben ser tales, que quienes elijan esta opción, conozcan que los valores a pagar deben ser significativamente mayores a las transacciones del despacho vinculante y las sesiones de intradiario</p>	Se activan cuando se da la prestación del servicio de reserva, desviaciones de energía autorizadas o voluntarias, costos de arranque y parada.
Conclusión	<p>Captar las diferencias entre las cantidades comprometidas y realizar su valoración</p> <p>Cabe señalar que, en su mayoría el operador tiene reglas necesarias para atender la demanda, con esquemas donde autorice a algunos generadores a desviarse de acuerdo con los criterios de seguridad, confiabilidad y economía.</p>	

La innovación disruptiva con los cambios tecnológicos y nuevas plataformas de interacción están llevando al sector energético a transformaciones similares a los que han tenido áreas como las telecomunicaciones y la tecnología digital, permitiendo asociaciones entre estos para brindar soluciones más cercanas a las necesidades actuales. Con esto, la transición tecnológica se produce de acuerdo con las estructuras de mercado existentes y las relaciones entre los consumidores, el mercado de energía y la normatividad vigente (Brown *et al.*, 2020). A continuación, se presenta la **Figura 5-2**, donde se muestran herramientas, plataformas o tecnologías digitales que permiten la interacción de los nuevos actores en el mercado.

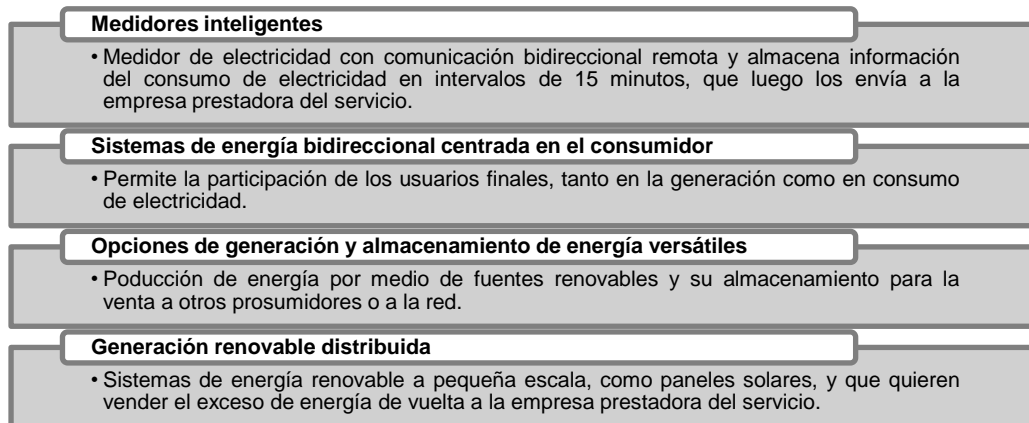


Figura 5-2 Algunos mecanismos de interacción para los mercados minoristas (Holdings, 2020).

En la **Figura 5-2**, se puede evidenciar mecanismos para la participación e interacción de otros actores en el mercado, permitiendo así su inclusión más activamente dentro de este al ir desarrollando los otros mercados previamente descritos.

Estos mecanismos permiten la integración de nuevos productos y servicios, así como el desarrollo de otros mercados al fomentar la innovación para que los consumidores tengan un mayor control de su consumo de electricidad, así como mayor variedad de oferta de planes y precios de la electricidad; mayor cantidad de información diaria en tiempo real y en ciertos intervalos de tiempo, con lo cual podrán comparar los hábitos de consumo por periodos de tiempo como diarios o semanales para tomar decisiones frente a este antes de la próxima factura.

Adicionalmente, pueden hacer optimización de los activos y su funcionalidad, permitiendo prever problemas al contar con modelos de servicios más proactivos que reactivos; tecnologías intuitivas que pueden detectar y solucionar problemas automáticamente, es decir, auto-repararse para minimizar los impactos en los consumidores.

A continuación, se presenta un esquema de mercados minoristas y P2P, que incluye los mercados anteriormente descritos y la utilización de los mecanismos, herramientas o plataformas de interacción, en los que nuevos actores podrán integrarse al mercado eléctrico colombiano actual.

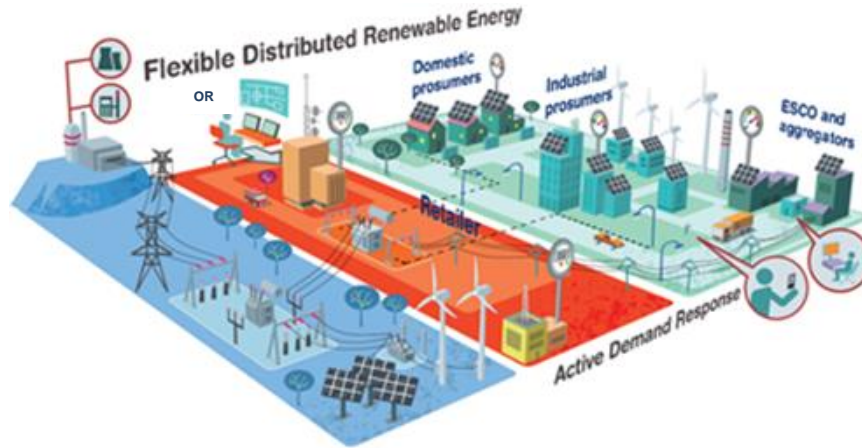


Figura 5-3 Modelo energético centrado en el consumidor final. Tomado de (Alacreu & Arias, 2017).

Como se evidencia en la **Figura 5-3**, se genera un gran desafío para el mercado eléctrico actual, en el cual se pueden realizar muchos escenarios como posibles soluciones para llegar a ellos. Uno de esos escenarios es combinar las *smart grids* con la tecnología *Blockchain* de manera que se permita descentralizar las transacciones asociadas en cada parte de la cadena de suministro de la electricidad, generando así microrredes que pueden estar separadas de la red o unirse a ella para funcionar como parte de un todo bajo demanda.

Las inversiones que se está dando a nivel mundial se enfocan en automatizaciones de la distribución, modernizar la transmisión, desarrollo de software para los operadores de red y análisis de la red. Así mismo, la tecnología *Blockchain* permitirá: contar con contratos inteligentes para realizar transacciones predefinidas que aseguren los flujos de energía y almacenamiento con el fin de equilibrar oferta y demanda; almacenamientos descentralizados para tener registros distribuidos y seguros de los flujos de la energía y las actividades comerciales (PwC, 2017).

Para contar con una visión holística del mercado que permita la participación integrada y sistemática de todos los participantes del sistema, permitiendo sinergias entre ellos, se muestra a continuación los beneficios que tendrían los actores del mercado (PwC, 2017).

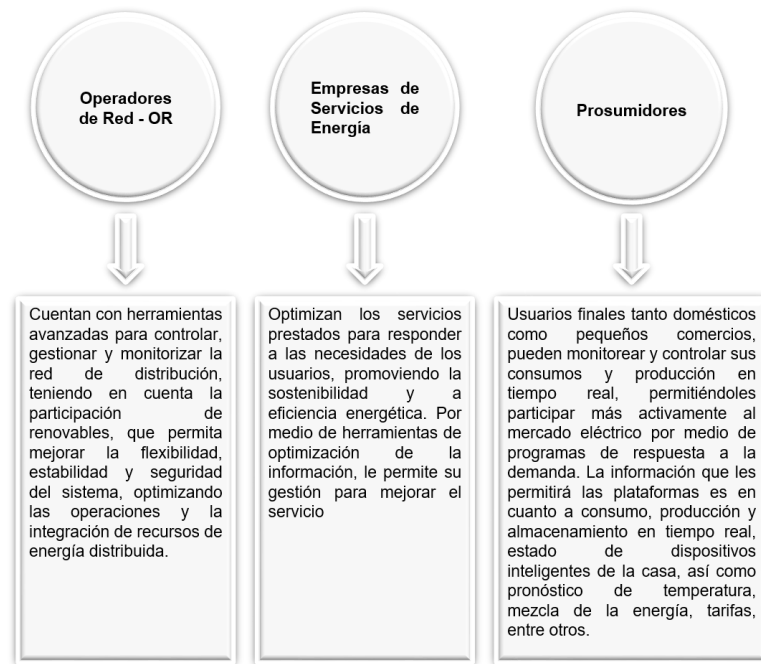


Figura 5-4 Roles de modelo energético basados en el consumidor final. Basado en (Alacreu & Arias, 2017).

En el desarrollo de este Trabajo Final de Maestría se han podido evidenciar los avances que se han tenido para poder desarrollar el mercado minorista de Colombia. Para lo cual se hace necesario una mayor evolución de los mercados eléctricos antecesores a este mercado, teniendo como ejemplos diversos casos que han aplicado los mercados internacionales y que en Colombia se han venido desarrollando mecanismos o estrategias para el desarrollo de mercados como del día anterior, intradiarios, tiempo real, de balance y servicios complementarios que ayuden a un mejor desarrollo de los mercados minoristas y plataformas P2P. Para esto se hace necesario, igualmente, la intervención del ente regulador con normatividad que permita la inclusión de este tipo de mercados.

6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1 Conclusiones generales

Los mercados de energía están cambiando el contexto en el cual se desarrollan y se deben afrontar los nuevos retos que presenta la incorporación de fuentes renovables no convencionales, generación distribuida, avances tecnológicos e innovación disruptiva, entre otras, por lo que otros mercados alternativos están buscando la sostenibilidad ambiental y flexibilizar la atención de la demanda de energía en tiempo real.

Así mismo, gestionar los riesgos como son, dependencia mayoritaria en las condiciones climáticas, sistemas complejos para la planeación y operación, aumento de las volatilidades de precios, vulnerabilidad ante ataques cibernéticos a los sistemas transacciones y de operación, entre otros.

El diseño de mercados minoristas y otros que hagan que cada vez estos mercados sean más completos, permite que se afronten los nuevos retos y transformaciones que se están viviendo en el sector eléctrico para que se ofrezcan herramientas, plataformas o sistemas de información para que los actores del mercado tengan mayor certeza de la información y tomen mejores decisiones de consumo, compra y venta; así como de transacciones en tiempo real más seguras, analítica para modelos de pronósticos, entre otros.

Las tecnologías habilitadoras o mecanismos de interacción, como sistemas de energía bidireccional, medidores inteligentes, baterías para almacenamiento, entre otras, le permiten a los participantes del mercado y nuevos actores mejorar sus hábitos de consumo, tener en cuenta los costos asociados a la electricidad, entre otros, ya que pueden contar con mayor información del mercado en tiempo real y tomar mejores decisiones de consumo, generación de energía verdes, compra y venta de la energía eléctrica. De igual manera, la tecnología puede contribuir a respaldar la participación de

los clientes por medio de mecanismos que brinden comentarios y guías de participación en el mercado.

La CREG como ente regulador por medio de la regulación del sector eléctrico, ha venido estableciendo los lineamientos y requisitos que permiten la incorporación de las FERNC, así como la implementación de nuevas tecnologías en el sistema, los cuales deben revisarse de forma articulada para que se mantenga la confiabilidad del sistema, la calidad del servicio, pérdidas en los niveles eficientes, entre otros que viabilicen el desarrollo del sector eléctrico colombiano.

Con los incentivos de las políticas para el uso de las energías renovables, el aumento de los precios de la electricidad, nuevas formas de interacción, generación distribuida, entre otras, ha promovido que los usuarios quieran generar y consumir su propia energía, y tener la posibilidad de vender sus excedentes a otros prosumidores o a la red.

6.2 Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos

6.2.1 Objetivo específico 1

“Identificar barreras en el marco legal y regulatorio vigente del mercado que impidan la adecuada implementación de otros mercados minoristas en el mercado eléctrico colombiano”.

En el capítulo 4, numeral 4.1, se puede evidenciar el desarrollo de este objetivo específico, donde se muestra cómo se vienen adelantando el desarrollo de los temas que permiten el desarrollo de mercados como del día anterior, intradiario, tiempo real, que permita avanzar en la incorporación del mercado minorista o P2P y los aspectos técnicos que se deben modificar en el ciclo de producción de la electricidad para estos mercados.

6.2.2 Objetivo específico 2

“Identificar alternativas de mercados minoristas a las existentes en Colombia”

En el capítulo 4, numeral 4.2, se identifican diferentes alternativas para el desarrollo de los mercados minoristas para Colombia, que aspectos, herramientas o plataformas pueden tenerse en cuenta para el planteamiento de un diseño de mercado minorista en Colombia.

Igualmente, en el capítulo 2 se evidencian casos de éxito que permiten identificar los aspectos o “cosas que se han hecho bien” para su adecuada implementación en el mercado eléctrico colombiano.

6.2.3 Objetivo general

“Proponer un diseño para el desarrollo de un mercado minorista alternativo en Colombia”.

En el capítulo 5, se evidencia el planteamiento desarrollado para dar cumplimiento al objetivo general de este trabajo, que complementado con los trabajos futuros se puede llegar a contar con una propuesta más consolidada para su incorporación al mercado eléctrico actual. La regulación y los referenciamiento realizados para el desarrollo de mercados inexistentes o poco desarrollados en Colombia, permitirán ir acoplando las transformaciones del sector para dar respuesta a las necesidades de todos los interesados.

6.3 Trabajos futuros

Alternativas que pueden irse evaluando de cara a las transformaciones que está teniendo el sector eléctrico, que se han implementado en otros países como Reino Unido donde este tipo de mercados minoristas están más desarrollados, como brindar plataformas de interacción que lleven a modelos de negocio en función de la agregación de demanda flexible y activos de generación como paneles solares o fotovoltaicas, baterías de almacenamiento o planta de energía virtual que ayuda al equilibrio y flexibilidad del sistema en tiempo real.

El desarrollo de otros mercados en Colombia, como los mercados del día anterior, intradiario, tiempo real, de balance, entre otros, para los cuales la regulación debe modificarse en ciertos mecanismos actuales para su desarrollo, como por ejemplo, la determinación del precio de bolsa para el mercado intradiario, la incorporación de fuentes de energías renovables no convencionales al sistema, el uso de baterías para el almacenamiento de la energía que permitiría a los pequeños productores o auto-generadores vender sus excedentes al sistema. El desarrollo de estos mercados permitirá contar con una curva de aprendizaje entre los participantes del mercado para mejorar los inconvenientes que se puedan presentar para asegurar una operación segura, confiable y económica.

Desarrollar proyectos de I+D+i que apoyen el diseño y desarrollo de nuevos modelos de redes de distribución para la generación de un mercado eléctrico más competitivo y eficiente que fomente el uso de las energías renovables, el acceso a nuevos servicios energéticos y que apoyen a resolver problemáticas como el cambio climático, la dependencia de los combustibles fósiles y el acceso a energía en zonas no interconectadas.

Referencias

- Alacreu, L., & Arias, A. (2017). Hacia un nuevo modelo energético basado en energías renovables, eficiencia energética y redes eléctricas inteligentes centradas en el consumidor final. In G. T. R. S. L (Ed.), *III Congreso Ciudades Inteligentes* (Vol. 53, Issue 9, pp. 224–229). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Alfonso, R. (2016). *Economía colaborativa un nuevo mercado para la economía social* (pp. 1–29). CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa.
- Aranda, M., Olivares, J., Reyes, E., Valdes, G., & Correa, J. (2016). Análisis de Algoritmos y Protocolos de Comunicación en Dispositivos Smart Meters (Medidores Inteligentes). *JOURNAL CIM*, 4, 472–479. https://www.researchgate.net/publication/309415510_Analisis_de_Algoritmos_y_Protocolos_de_Comunicacion_en_Dispositivos_Smart_Meters_Medidores_Inteligentes
- Arroyo, X., Patiño, A., Reyes, E., Olivares, J., & Gutierrez, J. (2017). Estudio comparativo de protocolos de comunicación de banda estrecha en líneas de potencia. *Compendio Investigativo de Academia Journals Celaya*, 394–402. https://www.researchgate.net/publication/321134670_Estudio_comparativo_de_protocolos_de_comunicacion_de_banda_estrecha_en_lineas_de_potencia
- Barnes, V., Collins, T., & Mills, G. (2017). Design and implementation of home energy and power management and control system. *IEEE 60th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 241–244. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8052905/authors#authors>
- Bragulat, P. E., Sánchez, J. L., & García, R. (2016). *El mercado minorista y los cambios de comercializador en el sector eléctrico* (First). Garrigues.
- Brown, D., Hall, S., & Davis, M. E. (2020). What is prosumerism for? Exploring the normative dimensions of decentralised energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 66(September 2019), 101475. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101475>
- Cano, J. (2017). Blockchain: “Cadena de bloques”. Reflexiones sobre seguridad y control. *Revistas Sistemas*, December, 45–51. www.acis.org.co
- Cardona, J., Gil, M., & Arbelaéz, J. (2019). Administración de Riesgos Financieros en los Mercados de Energía Eléctrica. *X VIII ERIAC Décimo Oitavo Encontro Regional Ibero-Americano Do CIGRE*, 8.
- Castro, A., & Pérez, D. (2019). Diseño de un despacho vinculante y un mercado intradiario en Colombia. *XVIII Eriac Décimo Oitavo Encontro Regional Ibero-Americano Do*

Cigre, 1, 8.

Decreto 700, Pub. L. No. Decreto 700, Diario Oficial (1992).

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_0700_1992.html

Ley 142, Pub. L. No. Ley 142 (1994).

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html

Ley 143, Pub. L. No. Ley 143, Diario Oficial 34 (1994).

http://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2013). *Informe de supervisión del mercado minorista de electricidad*.

CREG. (2020). CREG. <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Documentos-Resoluciones?openview=>

Cruz, R., Torres, H., Montoya, M., Barrientos, J., Pineda, L., Niebles, L., Bedoya, O., Duque, B., Gómez, J., Uribe, J., & Franco, C. (2013). *Caracterización del sector Eléctrico Colombiano* (p. 366). Servicio Nacional de Aprendizaje. <https://doi.org/2215-762X>

Ferreira, A. (2006). *Comercialización minorista de energía eléctrica*.

García, M. (2006). *Sistemas de seguimiento a mercados eléctricos internacionales. Aplicación a los países de la región andina* (First). Universidad Nacional de Colombia.

Gil, M., & Arbeláez, J. (2019). Retos para la gestión de riesgos en los Mercados de Energía Eléctrica. *XVIII Eriac Décimo Oitavo Encontro Regional Ibero-Americano Do CIGRE, 2017*, 1–8.

Holdings, R. E. R. (2020). *Energía 101*.

<https://www.reliant.com/es/about/community/energy-101.jsp#smart-meters>

Microgrid Knowledge. (2018). *Creating a 21st Century Utility Grid with DERMS and VPPs*.

https://sun-connect-news.org/fileadmin/DATEIEN/Dateien/New/MGK_Report_Utility_Grid_with_DERMS_and_VPPs.pdf

Miembros de la Comisión de Regulación de Energía Y Gas. (2007). *Esquema de Comercialización Minorista para el Sector Eléctrico* (p. 47). CREG Comisión de Regulación de Energía y Gas.

Mundo, B. (2016). *Wildpoldsried, el visionario pueblo que produce 5 veces más energía de la que necesita (y vende el resto)*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-36789562>

Palacios, E., Rodriguez, E., Anvari, A., Savaghebi, M., Vasquez, J., Guerrero, J., & Moreno, A. (2017). Using smart meters data for energy management operations and power quality monitoring in a microgrid. *IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 1725–1731.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8001508/authors#authors>

- Palou, N. (2017). *Wildpoldsried, el pueblo que produce más energía de la necesita*. La Vanguardia.
<https://www.lavanguardia.com/natural/20170928/431608605163/wildpoldsried-energia-renovable-autosuficiencia-ganaderos-iniciativa-ciudadana.html>
- Pulido, J. C., & Campo, J. (2014). Determinantes de precios de energía eléctrica en Colombia : Una aproximación al análisis bayesiano en perspectiva de los análisis VAR tradicionales. In *Contenido Revisión de Literatura Metodología y Datos Estimaciones y Resultados Consideraciones finales* (p. 77).
- PwC. (2017). *El futuro de la energía eléctrica: todos seremos prosumidores*.
<https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/eye-to-eye/future-in-sight/futuro-energia-electrica-prosumidores.html>
- Silva, L., Bermúdez, A., Mojica, P., Cuéllar, S., Medina, C., Cruz, J., Rodríguez, N., Sánchez, D., & Cruz, R. (2016). Medición y gestión inteligente de consumo eléctrico. *Boletín Tecnológico Centro de Información Tecnológica y Apoyo a La Gestión de La Propiedad Industrial (CIGEPI)*, 6, 96.
http://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/medicion_energia.pdf
- Tamayo, L., & Cuervo, J. (2019). Análisis de Riesgo para los agentes participantes de un Mercado de Energía. *XVIII ERIAC Décimo Oitavo Encontro Regional Ibero-Americano Do CIGRE*, 8.
- Tecnology, I. (2016). *¿Qué es Blockchain, la tecnología que viene a revolucionar las finanzas?* <https://www.infotechnology.com/online/Que-es-blockchain-la-tecnologia-que-viene-a-revolucionar-las-finanzas-20160810-0001.html>
- Vázquez, E. (2015). *Diseño, construcción y desarrollo de un sistema de monitoreo eléctrico con interfaz web*.
- Weiss, M., Heifenstein, A., Mattern, F., & Staake, T. (2012). Leveraging smart meter data to recognize home appliances. *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, 190–197.
<https://doi.org/10.1109/PerCom.2012.6199866>
- XM. (2020). *Descripción del Sistema eléctrico Colombiano*. XM.
<http://www.xm.com.co/Paginas/Mercado-de-energia/descripcion-del-sistema-electrico-colombiano.aspx>