



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Impacto del esquema del mercado P2P en el mercado eléctrico colombiano**

**Mario Ricardo Castaño Duque**

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de:  
Magister en Ingeniería – Sistemas Energéticos

Director:

**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

En este trabajo se presenta la información básica para evaluar el impacto de un esquema del mercado de energía en Colombia al desarrollar un mercado P2P, con base en el desarrollo de los avances tecnológicos y en un enfoque de mercados completos en el sector eléctrico colombiano, sumados al administrador del mercado; adicionalmente, se plantean estrategias de verificación de la evolución de los mercados eléctricos del país, teniendo presente el regulador y las resoluciones que permiten el desarrollo de este tipo de mercados.

El documento plantea que para tener orden y evitar un mercado sin regulación o desordenado, por un crecimiento acelerado y por la falta de preparación del regulador, se deben tomar acciones que eviten la pérdida de confiabilidad en el sistema; esto quiere decir que no se pretende dejar el desarrollo de este mercado abierto únicamente a las decisiones de los comercializadores, sino que debe existir una participación de entes que puedan darle peso y garantizar una regulación robusta para tener un control óptimo y adecuado.

**Palabras Clave:** Mercado P2P, smart grids, generación distribuida, “Blockchain”, mercado de energía, mercados eléctricos.

## **Impact of the P2P market scheme in the Colombian electricity market**

### Abstract

This job shows basic information to evaluate the impact of an energy market scheme in Colombia when developing a P2P market. This is based on the development of technological advances and an approach on complete markets of the Colombian electric sector, added to the market manager; besides, some strategies are set up to verify the evolution of the electric markets of the country, taking into account the regulator and the resolutions that allow the development of this kind of markets.

The document poses that to have order and avoid a disordered market or without regulation due to a fast growth and the lack of preparation of the regulator, it is necessary to take actions that avoid the loss of reliability in the system. The idea is not to leave the development of this market opened to traders' decisions only, but there must be participation of entities that can report weight and guarantee a big regulation to have an ideal and suitable control.

**Key words:** P2P market, smart grids, distributed generation, Blockchain, energy market, electric markets.

## Tabla de contenido

Capítulo 1. Antecedentes .....	9
1.1. Cadena de bloques .....	9
1.1.1. Vandebron .....	10
1.1.2. Piclo .....	10
1.1.3. Plataforma de simulación de intercambio de energía en redes distribuidas siguiendo el esquema P2P .....	10
1.1.4. P2P SmarTest .....	11
1.1.5. PeerEnergyCloud .....	11
1.1.6. Smart Watts .....	11
1.1.7. Yeloha Mosaic .....	11
1.1.8. SonnenCommunity .....	12
1.1.9. Lichtlick Swarm Energy .....	12
1.1.10. Community First! Village .....	12
1.1.11. TransActive Grid .....	12
1.1.12. Electron .....	13
1.1.13. Otros proyectos enfocados en “blockchain” .....	13
1.2. Ámbito Nacional .....	17
Capítulo 2. Marco teórico .....	22
2.1. Modelos de Acuerdo a Hunt para la comercialización minorista .....	22
2.1.1. Modelo 1 – Monopolio Verticalmente Integradas .....	22
2.1.2. Modelo 2 – Comprador único o agencias compradoras .....	22
2.1.3. Modelo 3 – Competencia Mayorista .....	23
2.1.4. Modelo 4 – Competencia minorista .....	24
2.2. Marco Legal y Regulatorio .....	26
2.3. Conceptos Básicos .....	29
2.4. Avances recientes de los Mercados P2P .....	34
Capítulo 3. Revisión de la literatura .....	39
Capítulo 4. Metodología .....	44
Capítulo 5. Aspectos Regulatorios del P2P en el Sector Eléctrico de Colombia .....	47
Capítulo 6. Barreras a la entrada de un mercado P2P en el Sector Eléctrico Colombiano .....	55
Capítulo 7. Impacto del mercado P2P en el Mercado Eléctrico Colombiano .....	62
7.1.1. Impacto de las actualizaciones regulatorias, mejoras tecnológicas, sociales y culturales .....	62

7.1.2. Impacto de la administración del mercado y seguridad de la información .....	62
7.1.3. Impacto de la diversificación de la matriz energética.....	63
7.1.4. Impacto de los indicadores financieros.....	63
7.1.5. Impacto que impulsa el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU .....	64
Capítulo 8. Conclusiones y trabajos futuros.....	67
8.1. Conclusiones generales.....	67
8.2. Conclusiones asociadas a la identificación de las resoluciones CREG vigentes relacionadas con el posible ingreso de un mercado tipo P2P en el mercado eléctrico colombiano.....	67
8.3. Conclusiones asociadas a la determinación de posibles barreras a la entrada de un mercado tipo P2P en el mercado eléctrico colombiano. ....	68
8.4. Conclusiones asociadas al objetivo general de Evaluar el impacto de la implementación del esquema de mercado P2P en el mercado eléctrico colombiano.....	69
8.5. Trabajos futuros .....	69
Referencias.....	71

## Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Red centralizada (René Bastián Silva Valdés, 2019).....	17
Ilustración 2. Modelo grafico de contratos bilaterales imagen tomada de (XM S.A E.P.S., 2008) ...	18
Ilustración 3. Modelo gráfico precio de bolsa imagen tomada de (XM S.A E.P.S., 2008) .....	18
Ilustración 4. Modelo 1 gráfica tomada de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007) .....	22
Ilustración 5. Modelo 2 gráfica tomado de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007) .....	23
Ilustración 6. Modelo 3 gráfica tomada de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007) .....	24
Ilustración 7. Modelo 4 gráfica tomada de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007) .....	25
Ilustración 8. Modelo colombiano de comercialización minorista propuesto por (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007) .....	26
Ilustración 9. Arquitectura cliente administrador centralizado.....	29
Ilustración 10. Red descentralizada (Tushar et al., 2020) .....	30
Ilustración 11. Esquema de microrred con conexión a la red principal (Mengelkamp et al., 2018) .....	31
Ilustración 12. Ilustración de la criptografía.(René Bastián Silva Valdés, 2019) .....	32
Ilustración 13 Esquema de la filosofía peer-to-peer adaptada a la energía. ....	36
Ilustración 14. Esquema metodológico.....	46
Ilustración 15. Esquema de mercado completo (Gil, 2018).....	47

## Lista de tablas

Tabla 1. Resumen de antecedentes internacionales de mercado P2P .....	14
Tabla 2. Especificaciones técnicas del proyecto Pylon Network, Fuente: (NETWORK, 2018) .....	37
Tabla 3. Resumen aspectos regulatorios que pueden estar encaminados al mercado P2P.....	52
Tabla 4. Resumen barreras identificadas .....	58

## Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
P2P	Peer to Peer (Entre pares o par a par)
MEM	Mercado de Energía Mayorista
CENER	Centro Nacional de Energías Renovables
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
SIN	Sistema Interconectado Nacional
EPM	Empresas Públicas de Medellín
UCL	University College London
EIA	Escuela de Ingeniería de Antioquia
SAEB	Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica con Baterías
AOM	Administración Operación y Mantenimiento
SDL	Sistema de Distribución Local
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ZNI	Zonas No Interconectadas

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar el impacto de la implementación del esquema de mercado P2P en el mercado eléctrico colombiano, no obstante para cumplir este objetivo se tienen como objetivos específicos identificar las resoluciones que la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG- tiene vigentes y están relacionadas con el posible ingreso de un mercado del tipo P2P en el mercado eléctrico colombiano y también, determinar las posibles barreras a la entrada de un mercado tipo P2P en el mercado eléctrico colombiano.

El fundamento básico del tipo de mercado Peer to Peer -P2P- (Par a Par o entre pares) se basa en el desarrollo de la tecnología “Blockchain” o cadena de bloques. Al tratarse de un término nuevo y sin conocimiento profundo podría considerarse en un estado de desarrollo para el país, no obstante, es importante antes de hablar de mercado P2P, conocer el funcionamiento de este tipo de tecnología como lo es “blockchain” y enfocar la investigación y su desarrollo en un nuevo campo dentro del mercado colombiano y así poder determinar el impacto que este mercado peer to peer podría tener en un mercado eléctrico como el colombiano.

En la etapa actual que se encuentran los mercados P2P a nivel mundial permite, plantear una proyección basada en las necesidades del país; en el desarrollo de este informe se visualizará el estado de arte de cómo se encuentra actualmente el mundo en este tipo de mercados P2P, además visualizar como se evidencia el avance de esta tecnología en mercados eléctricos diferentes al de Colombia.

El mercado P2P a nivel mundial presenta un crecimiento significativo en el mercado eléctrico, reflejado este en el desarrollo de plataformas y modelos que apoyan la profundización y evolución rápida de software, en otras ocasiones visualizaremos como también existen softwares libres para el desarrollo de este mercado puntualmente como se visualizará en el caso de Pylon(ver Capítulo 1), en donde es viable que los usuarios realicen aportes para mejorarlo, con la única condición de que dichas mejoras sirvan también para el resto de los usuarios, aplicando de este modo desarrollos colaborativos.

No obstante, como el interés de este trabajo es identificar el impacto del mercado P2P en el mercado eléctrico colombiano se visualiza posibilidades que presenta este impacto tanto como sus beneficios y sus contras para el desarrollo de un mercado de este estilo en el país, entendiendo este como un mercado de contratos bilaterales en un formato de redes más pequeñas a las existentes actualmente y entre pares en donde se perdería el rol centralizado de las transacciones (ver numeral 1.2).

Para el manejo como se estaba mencionando y del mismo modo como lo define el “blockchain”, se debe realizar un sistema de gestión robusto y muy confiable que permita

a los usuarios que quieren hacer parte de este mercado, la seguridad de la información, y además la tranquilidad de que las transacciones están protegidas de una forma adecuada (Ver numeral 2.3).

Es de suma importancia entender que el sistema de gestión de la información y de los datos es necesario para un mercado como el P2P siendo este sistema de gestión y de precios el alma de este mercado pues deben brindar características de confiabilidad, robustez, seguridad y precisión adecuadas para el manejo de las transacciones realizadas por los usuarios, por eso es usado el “blockchain” pues presenta las características mencionadas.

En este caso el simple hecho de tener una iniciativa en Colombia que fomente el mercado P2P puede ser un desarrollo muy importante para la región Latinoamérica, dado que esto permitiría seguir siendo un referente en los mercados de energía en Latinoamérica, además pues esto apalancaría al país a tener desarrollos más rápidos y con mejores tecnologías de la información, no menos importante, encontrando el retraso regulatorio que el país se encontraría para este tipo de mercado.

Para el desarrollo de este documento, con énfasis en este mercado se presentará un análisis regulatorio el cual es de conocimiento general por la importancia de este tema, pues el hecho de tener generación distribuida y microrredes en un mercado nuevo generará una evolución importante en el manejo de los datos y de la información, situación que actualmente se presenta en el país para este mercado P2P, como se verá en el numeral 2.2 no se encuentra claramente regulada ni la gestión de la información y mucho menos el mercado P2P, aunque es de mucho peso entender que el país está dando sus primeros avances para llegar a una regulación que apalanque este mercado entre pares.

Es de suma importancia entender cómo el mercado actual funciona en Colombia y porque se le llama Mercado de Energía Mayorista, además, entender por qué razón no se ha llegado a un mercado de transacciones constituido y conocido en el país como Mercado Minorista, aunque bien, el usuario final puede comprar energía y se considera como minorista en los casos que el usuario desee cambiar de comercializador, es de entender que esta información y estas negociaciones son administradas y están centralizadas en XM como operador de Mercado de Energía Mayorista, pero es de suma importancia entender que el mercado minorista no está constituido como tal en el modelo de mercado de energía del país y mucho menos está regulado a completitud, por esto es que el numeral 2.4 encontraremos lo que el mercado P2P puede brindar como un tipo de mercado de energía minorista, y en el Capítulo 7 el impacto que este mercado traería a un país como Colombia que posea un Mercado de Energía Mayorista tan regulado y avanzado.

Como se explica en el capítulo 2 de (Kirschen & Strbac, 2002), un mercado es un entorno diseñado para ayudar a los compradores y vendedores a interactuar y acordar las

transacciones, de este modo es que se hace referencia al mercado peer to peer cumpliendo con lo propuesto por los autores, y así brindando un esquema de mercado gestionable en su información y con una interacción adecuada entre los usuarios y comercializadores.

Una vez identificado lo mencionado anteriormente se deja una breve introducción de lo que es el mercado peer to peer (P2P) donde es también un tipo de comercio de energía que resulta de la interacción de pares, personas, o hasta de medidores inteligentes que hagan gestión de la información y además de eso generen transacciones de compra y venta de energía, con énfasis en el usuario final que no participan en el mercado mayorista del país.

De este modo encontraremos un término muy importante como lo es el de prosumidor el cual evidenciaremos en el numeral 2.3, el cual permitirá comprender las ventas y compras de energía y el papel que tienen en este tipo de mercado.

La propuesta formulada es una apuesta por el crecimiento del mercado eléctrico colombiano, con el apoyo del desarrollo tecnológico y de software, con el objetivo de evaluar el impacto de la implementación del esquema de mercado P2P y analizar el impacto de las decisiones que permiten transar energía desde el consumidor minorista. Se debe resaltar que en la medida en que los prosumidores entiendan su papel y estén completamente educados y regulados, tendrán un impacto muy fuerte en el comportamiento y manejo de la demanda.

En este documento se recopilan los principales antecedentes y experiencias investigativas sobre el mercado eléctrico, presentados en el Capítulo 1, en el Capítulo 2 se estructura el énfasis en los aspectos regulatorios y legales, así como en los conceptos básicos asociados al mercado P2P y a los avances más recientes en el contexto colombiano.

En el Capítulo 3 se presenta una revisión de la literatura, que retoma los aportes académicos que permiten ampliar la perspectiva de análisis de la propuesta. El Capítulo 4 permite visualizar el diseño metodológico como está estructurado.

Los capítulos 5, 6 y 7 están enfocados en dar respuesta a cada uno de los objetivos planteados al inicio de esta introducción, dando cuenta de un análisis contextualizado.

El Capítulo 8 presenta las conclusiones que se desprenden del análisis de la información recopilada y los trabajos futuros que resultarían viables en la línea de la actual propuesta. Además, en este capítulo se plantean las conclusiones generales que sintetizan el documento.

## Capítulo 1. Antecedentes

Para tener un entendimiento adecuado del funcionamiento de un mercado peer to peer primero se debe entender términos como “blockchain”, tecnología propuesta para el manejo de la información de este tipo de mercado, el cual definiremos en esta sección.

### 1.1. Cadena de bloques

Para comprender de mejor manera el cómo es el mercado P2P debemos primero conocer el significado de “blockchain” (o cadena de bloques) donde se conoce como una red de software Peer to Peer distribuida que utiliza criptografía para alojar de forma segura aplicaciones, almacenar datos y transferir fácilmente instrumentos digitales de valor que representan dinero del mundo real. En “blockchain”, la información es agrupada en bloques de datos, los cuales contienen datos sobre los datos (metadatos) de su bloque predecesor. El “blockchain” presenta una serie de ventajas en las cuales se visualizan las posibilidades de automatizar transacciones de activos y de almacenar datos de transacciones de forma distribuida, segura e inmutable, de este modo se realiza la gestión de información, que como se mencionó anteriormente es parte fundamental de un esquema peer to peer. Esto es logrado mediante la utilización de redes Peer to Peer, criptografía y algoritmos de consenso. Cada uno de estos conceptos serán profundizados en el numeral 2.3.

El concepto “blockchain” apareció junto con las criptomonedas, entendiendo este término de criptomoneda como un sistema de intercambio digital Peer to Peer en el que se utiliza un modelo de encriptación de datos específico con el fin de generar y distribuir las unidades de esta. Las criptomonedas son un símil de la aplicación del mercado P2P en sistemas de energía dado que surge la necesidad de la gestión adecuada de la información, brindando sistemas eficientes, rentables, confiables y seguros, todo esto motivado con la protección de las transacciones financieras.(René Bastián Silva Valdés, 2019)

Una vez explicado un poco el tema de “blockchain” el cual se terminará de profundizar en el Capítulo 2 en esta sección identificaremos algunos de los proyectos que a nivel internacional se están estudiando de mercado P2P con el fin de comprender un poco más como se están visualizando las aplicaciones de este mercado a nivel internacional y el proyecto piloto a nivel nacional, a continuación se presenta una revisión de los antecedentes internacionales de este tipo de proyectos, con un resumen presentado en la Tabla 1 que permite compilar la información sustentada de los siguientes proyectos a mencionar.

### 1.1.1. Vandebron

Iniciando con el caso de una plataforma del mercado holandés Vandebron (Duurzame Energie van Nederlandse Bodem - Vandebron, 2019). Esta plataforma permite que los consumidores adquieran la energía directamente con los generadores de energías renovables de carácter independiente, transando la energía de forma segura óptima y adecuada para un modelo P2P.

### 1.1.2. Piclo

También está el caso del mercado británico y su plataforma Open Utility (Piclo, 2019), planteada durante un periodo de prueba de seis meses, enfocado netamente en el mercado regulado de la región, con una proyección de utilidades de un 30% para los productores acogidos dentro de este tipo de mercado.

### 1.1.3. Plataforma de simulación de intercambio de energía en redes distribuidas siguiendo el esquema P2P

También el contexto internacional se reconocen algunos proyectos que están a la vanguardia del Mercado de Energía Mayorista – MEM –, tal es el caso del proyecto diseñado por Kalms, Usunáriz, Estévez, Sarobe, Aguado, Martín & Ayuso (2018) denominado Plataforma de simulación de intercambio de energía en redes distribuidas siguiendo el esquema P2P. La propuesta está enmarcada dentro del programa H2020 LCE-2014-3 de la Unión Europea, cuyo consorcio se encuentra conformado por nueve socios de cuatro países y proceden tanto del ámbito de la investigación como del empresarial.

El objetivo principal del proyecto es demostrar el funcionamiento de un sistema eléctrico inteligente compuesto por equipos avanzados de comunicaciones (ICT), mercados regionales y modelos de negocio innovadores. La estructuración se basa en un esquema P2P (Peer to Peer). Según Kalms et al. (2018) de este modo:

“Se asegura la integración de la flexibilidad en la demanda y la operación optimizada de las Fuentes de Energía Distribuida (DER) en la red de distribución, para que se mantengan la calidad, la estabilidad y la seguridad, al tiempo que se consigue un balance en el flujo de potencias” (párr.3).(Kalms et al., 2018)

#### **1.1.4. P2P SmarTest**

El Proyecto P2P SmarTest (2020) presentado por la European Union's Orión, logró con ayuda de Centro Nacional de Energías Renovables – CENER - conectar varias micro redes tanto reales como simuladas, para validar los mecanismos de cálculo de precios y comunicación entre los actores prosumidores, y entender el funcionamiento de los nodos y del algoritmo para el mercado P2P. Este proyecto también analiza la gestión de la demanda y los aspectos importantes para poder alcanzar los logros y los beneficios reales en el mercado minorista.

#### **1.1.5. PeerEnergyCloud**

PeerEnergyCloud fue un proyecto en Alemania. Este desarrolló tecnologías basadas en tener información en la nube para una plataforma de comercio electrónico local para hacer frente a la producción excesiva local. Se estableció para investigar procedimientos innovadores de registro y pronóstico para el consumo de electricidad específico de un dispositivo, para establecer un mercado virtual para el comercio de energía y para desarrollar servicios de valor agregado dentro de una microrred.(Zhang et al., 2017)

#### **1.1.6. Smart Watts**

Smart Watts también fue un proyecto alemán. Proponiendo nuevos enfoques para optimizar el suministro de energía mediante el uso de tecnologías modernas de la tecnología de la información y la comunicación (TIC), y estas TIC se desarrollaron y probaron. Ha aprovechado el potencial de optimización de las TIC para lograr una mayor rentabilidad y seguridad del suministro.(Zhang et al., 2017)

#### **1.1.7. Yeloha Mosaic**

Tanto Yeloha como Mosaic fueron pioneros en los Estados Unidos. Permitiendo a los consumidores interesados, tanto los propietarios de apartamentos y otras personas que no poseen sistemas solares, pagar una parte de la energía solar generada por el sistema solar del anfitrión (dueño del sistema solar). Los suscriptores obtienen una reducción en sus facturas de servicios públicos, de modo que, en total ahorran dinero, incluso si se mueven. Este sistema es similar a Piclo y Vandebon, pero están más interesados en la energía solar que en otras energías renovables. (Zhang et al., 2017)

#### **1.1.8. SonnenCommunity**

SonnenCommunity es desarrollado por sonnenBatterie, que es un fabricante de almacenamiento en Alemania. Es una comunidad de propietarios de sonnenBatterie que pueden compartir la energía autoproducida con otros. Como resultado, ya no es necesario un proveedor de energía convencional. Con una sonnenBatterie y un sistema fotovoltaico, los miembros pueden cubrir completamente sus propias necesidades energéticas en los días soleados, a menudo incluso generando un excedente. Este excedente no se alimenta a la red eléctrica convencional, sino a una reserva de energía virtual que sirve a otros miembros en momentos en que no pueden producir suficiente energía debido al mal tiempo. Un software central conecta y monitorea a todos los miembros de SonnenCommunity, mientras equilibra la oferta y la demanda de energía. Esta idea es muy similar a la de Piclo y Vandebron, pero SonnenCommunity obviamente destaca la importancia del sistema de almacenamiento y es de un manejo centralizado de la información (Zhang et al., 2017)

#### **1.1.9. Lichtlick Swarm Energy**

Swarm Energy es un conjunto de servicios prestados por el proveedor de energía Lichtblick. Swarm Conductor, que forma parte de los servicios de Swarm Energy, es una plataforma de TI única en el mercado energético. En la plataforma, se combinan los procesos de un mundo energético cada vez más complejo con productos y servicios amigables para el cliente para clientes residenciales y comerciales. Las plantas de energía y el almacenamiento locales de los clientes están optimizados. Swarm Energy permite una interacción significativa de fuentes de energía distribuidas y renovables. (Zhang et al., 2017)

#### **1.1.10. Community First! Village**

Este proyecto está pensado en una comunidad planificada que ofrece viviendas asequibles y permanentes y una comunidad de apoyo para las personas discapacitadas y sin hogar en el centro de Texas. Los organizadores del proyecto están tratando de suministrar energía a la aldea mediante donaciones. (Zhang et al., 2017)

#### **1.1.11. TransActive Grid**

TransActive Grid es un mercado energético comunitario y una combinación de software y hardware que permite a los miembros comprar y vender energía entre sí de forma segura y automática, mediante contratos inteligentes y “blockchain”. El prototipo actual utiliza la cadena de bloques Ethereum. Ubicado en Brooklyn (Zhang et al., 2017)

### 1.1.12. Electron

Electron es una nueva plataforma revolucionaria para sistemas de facturación y medición de gas y electricidad, que aún está en desarrollo. Abrirá el camino para servicios de energía para el consumidor interesantes e innovadores. Es una plataforma completamente segura, transparente y descentralizada que se ejecuta en una cadena de bloques y proporciona un servicio de medición, facturación y conmutación demostrablemente honesto mediante contratos inteligentes y el poder del consenso distribuido. La plataforma será de código abierto y operará en beneficio de todos los usuarios. No será propiedad ni estará controlada por proveedores o corredores. (Zhang et al., 2017)

### 1.1.13. Otros proyectos enfocados en “blockchain”

Para el Observatorio Blockchain (2020) afirma que, en el barrio neoyorquino de Brooklyn, una empresa de nombre LO3 Energy ha desarrollado un sistema denominado Brooklyn Microgrid, que permite hacer operaciones transactivas como comprar y vender la energía solar generada localmente dentro de las comunidades, usando la tecnología “Blockchain” para facilitar y registrar las transacciones realizadas, se deja este proyecto mencionado porque es un uso puntal del “Blockchain” para transacciones de energía.

Esta iniciativa claramente busca que los prosumidores, cooperativas de energía, consumidores y cualquiera agente que implique transacciones de energía no tenga que acudir a un tercero, solo basta con pertenecer a una red y de este modo transar la energía. (LO3 Energy, 2020)

Tabla 1. Resumen de antecedentes internacionales de mercado P2P

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>PAÍS</b>	<b>AÑO DE INICIO</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>TAMAÑO DE LA RED</b>	<b>P2P ENFOCADO A</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>DEFECTOS</b>
Piclo	Reino Unido	2014	Plataforma de comercio de energía P2P desde la perspectiva de los proveedores	Nacional	Negocios	Una plataforma de comercio de energía P2P	Sin discusión en los mercados locales
Vandebrom	Holanda	2014	Plataforma de comercio de energía P2P desde la perspectiva de los proveedores	Nacional	Negocios	Una plataforma de comercio de energía P2P	Sin discusión en los mercados locales
Plataforma de simulación de intercambios de energía en redes distribuidas siguiendo el esquema P2P	Unión Europea	2018	Demostrar el funcionamiento de un sistema eléctrico inteligente	Regional	Negocios	Sigue en estado de prueba	Continúa en estado de prueba
P2P SmarTest	Unión Europea	2015	Conectar microrredes reales y simuladas para validar mecanismos de cálculo de precios	Microrred	Microrred	Comunicación entre prosumidores entendiendo el cálculo de los precios y la comunicación entre los usuarios	Sigue en desarrollo y no se evidencian defectos
PeerEnergyCloud	Alemania	2012	Comercio de energía P2P basado en la nube Plataforma, Hogar inteligente	Microrred	Red de energía TIC	Plataforma basada en la nube para hogares inteligentes	Sin discusión en el sistema de control

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>PAÍS</b>	<b>AÑO DE INICIO</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>TAMAÑO DE LA RED</b>	<b>P2P ENFOCADO A</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>DEFECTOS</b>
Smart Watts	Alemania	2011	Optimización del suministro de energía a través de las TIC	Regional	Red de energía TIC	Una Pasarela de contador inteligente como interfaz para internet de la energía	Sin discusión en el sistema de control
Yeloha, Mosaic	Estados Unidos	2015	Red de intercambio solar para facturas de energía más bajas	Regional	Negocios	Terminado debido a problemas de financiación	Sin discusión en los mercados locales
SonnenCommunity	Alemania	2015	Comercio de energía P2P con sistema de almacenamiento	Nacional	Red de energía Negocios	Una plataforma de comercio de energía P2P (en línea)	Sin discusión en los mercados locales
Lichtlick Swarm Energy	Alemania	2010	Plataforma de TI para mercados y clientes energéticos	Nacional	Red de energía TIC	Numerosos servicios prestados por el proveedor de energía	Sin discusión en los mercados locales
Community First! Village	Estados Unidos	2015	Energía compartida de donaciones	Comunidad	Negocios	Ahorrar en facturas de energía para los pobres	Sin discusión sobre TIC y sistema de control
TransActive Grid	Estados Unidos	2015	Comercio de energía P2P dentro de microrredes usando "Blockchain"	Microrred Conectada a la Red	Red de energía TIC Control Negocios	Plataforma automática de comercialización de energía dentro de Microredes	Comunicación antes del intercambio fue ignorada

<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	<b>PAÍS</b>	<b>AÑO DE INICIO</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>TAMAÑO DE LA RED</b>	<b>P2P ENFOCADO A</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>DEFECTOS</b>
Electron	Reino Unido	2016	Plataforma de facturación y medición de energía usando "Blockchain"	Desconocida	Red de energía TIC Negocios	No ha comenzado todavía	No ha comenzado todavía



mercado a corto plazo ver la Ilustración 3 en donde adquieren su energía en la bolsa, en esta última se presentan compras a precio de bolsa (“Sistema resultado de un proceso de subasta a sobre cerrado, en el cual se atiende la demanda de energía del país”) teniendo presente que este precio es demasiado variable dado las condiciones de la matriz energética del país.(XM S.A E.P.S., 2008)



Ilustración 2. Modelo gráfico de contratos bilaterales imagen tomada de (XM S.A E.P.S., 2008)

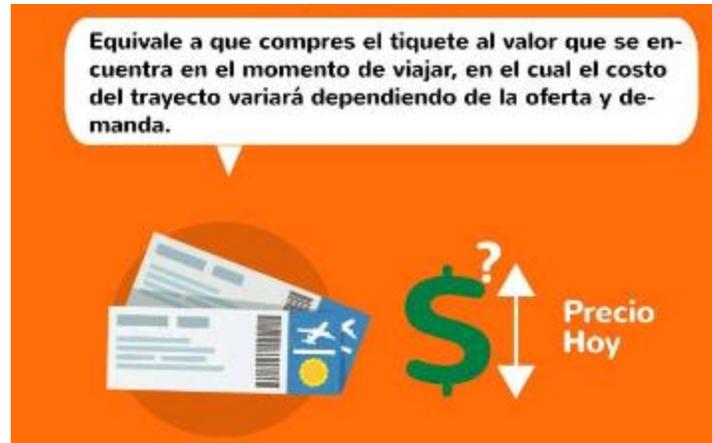


Ilustración 3. Modelo gráfico precio de bolsa imagen tomada de (XM S.A E.P.S., 2008)

El territorio colombiano con su Mercado de Energía Mayorista - MEM – el cual se encuentra regulado por la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) y en el cual se hacen transacciones financieras, ubicando al administrador del mercado en un rol de validación de las transacciones y su posterior liquidación (XM S.A. E.S.P., 2020a). Es de notar que el MEM del país no es un mercado en tiempo real, la operación del sistema y las transacciones financieras se hacen un día antes y se realizan con tiempos regulatorios definidos por la CREG. Pese a que la autogeneración a pequeña escala que está reglamentado en la

Resolución CREG 030 de 2018 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018), no existe una regulación para un mercado como el P2P, y aunque se continúa actualmente con avances regulatorios para llegar a un mercado con completitud de regulación.

Es de este modo que funciona el Mercado de Energía Mayorista en Colombia, y brindando así la evaluación de los impactos del mercado P2P en un esquema de mercado como el colombiano.

De este modo comprendemos que para Colombia el proyecto de Mercado P2P aún están en fase de experimentación, por eso se entiende el atraso del país frente a este tipo de mercado, no obstante, se visualizan dificultades, de nivel técnico como regulatorio para su desarrollo, pues no se puede perder de vista el impacto en el mercado minorista de acuerdo a lo mencionado por (España, 2019).

Actualmente los mercados P2P están en una fase de prueba gracias a los desarrollos realizados por EPM y ERCO, así como a la empresa de comercialización de energía NEU. El objetivo de ellos es realizar durante un año una prueba piloto con la participación de 13 usuarios conectados, que pertenecen a distintos estratos socioeconómicos, a través de una plataforma virtual; adicionalmente, también se conectará un centro comunitario para dimensionar los atributos de la energía (renovable, local, independiente, etc.), son más importantes para los distintos grupos de usuarios. Este es un piloto desarrollado por la Universidad EIA, Empresas Públicas de Medellín, Erco Energía y University College London. (España, 2019)

(Ortega & España, 2019) Presentan una proyección de los beneficios del tipo de mercado P2P en las zonas norte y costeras del país, dado que son zonas con altas posibilidades de aplicaciones de energías renovables y generación distribuida, lo que podría posicionarlas como grandes apalancadoras del MEM, sin dejar de lado el centro del país, en donde se realizaron las primeras pruebas de desarrollo de un sistema basado en un mercado P2P.

De acuerdo a los avances recientes del mercado P2P en Colombia, es posible comprobar que, para el mes de diciembre del año 2019 fue registrada ante el mercado de energía del país la comercializadora NEU, creada con el fin de comercializar y realizar avances del mercado P2P. Las pruebas de esta tecnología y tipo de mercado serán realizadas por parte de una alianza entre empresas del sector energía, EPM y ERCO; además, el proyecto contará con la participación de la Universidad EIA y el University College London (UCL). Este proyecto de investigación según los desarrolladores llevará por nombre *Transactive Energy Colombia Initiative*, teniendo como principal objetivo transar energía entre los prosumidores y apalancar el desarrollo regulatorio necesario para el avance del mercado de energía en el territorio colombiano. (Ortega & España, 2019)

Acerca del sistema NEU, Hincapié & Castro (2019) afirman que es una plataforma de energía: “transactiva 100% digital, que permite realizar transacciones entre usuarios (P2P), optimizar el consumo de energía, elegir la fuente de generación preferida por el usuario y reducir el costo de la energía eléctrica consumida.”(Ortega & España, 2019)

Es necesario implementar un sistema de control, micro red o smartgrid, porque se deben considerar casos como el de la región Atlántica, en donde existen restricciones eléctricas, obligando a las centrales térmicas a ingresar al sistema obligatoriamente para garantizar su estabilidad, lo que ocasiona un aumento en los costos de energía en esta zona del país. (XM S.A. E.S.P., 2019)

Los desarrolladores de este proyecto están convencidos de que “el futuro de la energía es digital”(Hincapié & Castro, 2019) y brindan este desarrollo para dar los primeros pasos en el país para completar un mercado de energía con todos los actores y factores que un mercado completo implica.

En la actualidad, el “Blockchain” se utiliza en plataformas como EcoRegistry, que permite hacer un seguimiento y retiro de los créditos de carbono. Esta plataforma basada en “Blockchain” se enfoca en el registro de proyectos y en la emisión de certificados de reducción de gases de efecto invernadero, garantizando transparencia y confiabilidad (EcoRegistry, 2020), también se presenta el SICEP (Sistema Centralizado de Información de Convocatorias Públicas) a través de este “se centralizan las convocatorias para los contratos bilaterales con destino a atender el mercado regulado. Uno de los atributos más importantes de este nuevo sistema es que cuenta con tecnología “blockchain” para garantizar la autenticidad de los usuarios en la plataforma y la integridad de los archivos, favoreciendo la confiabilidad y trazabilidad de la información relacionada con las convocatorias de manera oportuna y eliminando la certificación de terceras partes por medio del uso de herramientas de la cuarta revolución industrial. Es justamente su base en la tecnología de cadena de bloques y su trazabilidad lo que la hacen eficaz.”(XM, 2020)

No se puede entonces pensar únicamente en el desarrollo económico de las grandes centrales y grandes sistemas de distribución y transmisión, sino también en proyectos más pequeños, eficientes energéticamente y con poco impacto para el medio ambiente, que garantizan no perder confiabilidad en el sistema.

En el siguiente capítulo se presenta el marco teórico, que permitirá comprender la actualidad del país frente al MEM y de ese modo reconocer las debilidades en el ámbito regulatorio y legal. Además, se expondrán los conceptos básicos y los avances recientes que las empresas del sector han tenido dentro de este tipo de mercado.

De acuerdo con los proyectos antes mencionados se observa que en este tipo de plataformas se presenta un esquema donde los usuarios regulados o no regulados permitirán un flujo de energía en doble sentido entre los mismos miembros de la red a la que se encuentran interconectados como se observa en la Ilustración 10, tocaría entender para poder llegar a un mercado P2P el concepto de redes Peer to Peer, criptografía y algoritmos enfocados en el “blockchain” para hacer referencia a cómo sería el intercambio de energía en estas redes conectadas para gestión de energía bajo plataformas, estas se verán a profundidad en el numeral 2.3, esto pensado para un mercado minorista.

El antecedente de uso tecnológico más cercano a este tipo de mercado es la criptomoneda, que corresponde a un mercado basado en el mismo sistema “Blockchain” como se mencionó en el comienzo de este capítulo, enfocado en una seguridad óptima y confiable.

## Capítulo 2. Marco teórico

Se presentan en este capítulo el marco legal y regulatorio de Colombia en los temas relacionados con los mercados P2P. También se encontrará una exposición de los conceptos básicos del Mercado P2P y las principales condiciones para su desarrollo.

Es de anotar la importancia de conocer el significado de mercado mayorista y mercado minorista, actualmente como se mencionó en el capítulo de antecedentes Colombia tiene un vigente Mercado de Energía Mayorista donde cuyo propósito es el intercambio de grandes bloques de energía eléctrica en el Sistema Integrado Nacional -SIN- a precios eficientes, que reflejen los costos en que se incurre para su generación.(XM S.A E.P.S., 2008), y de este modo para el modelo de comercialización en un mercado minorista se observa el modelo 4 de Hunt (2002), no obstante también revisando y comprendiendo los otros 4 modelos de Hunt (2002).(Hunt, 2002)

### 2.1. Modelos de Acuerdo a Hunt para la comercialización minorista

#### 2.1.1. Modelo 1 – Monopolio Verticalmente Integradas

En este modelo no existe la competencia donde las empresas integradas verticalmente prestan la completitud de los servicios a un precio regulado para todos sus usuarios que están en el área que operan. En la Ilustración 4 se muestra el esquema de este modelo el cual fue usado por mucho tiempo en la industria eléctrica.

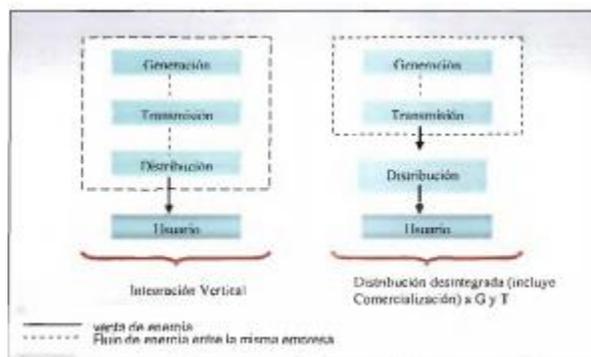


Ilustración 4. Modelo 1 gráfica tomada de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas - CREG, 2007)

#### 2.1.2. Modelo 2 – Comprador único o agencias compradoras

En este modelo los generadores independientes solo pueden vender la energía a la empresa integrada quien tenga el monopolio sobre todos los usuarios finales. En este modelo el

costo de la generación es establecido a través de subastas o licitaciones, en un mercado donde existen diversos generadores y pocos compradores. Es de entender que este tipo de contratos tiene una duración estimada y semejante a la vida útil de las plantas.

Se presentan unas desventajas de este modelo como i) las limitaciones para aprovechar la evolución tecnológica debido a los contratos a largo plazo, ii) disputas por el nivel de despacho de las plantas.

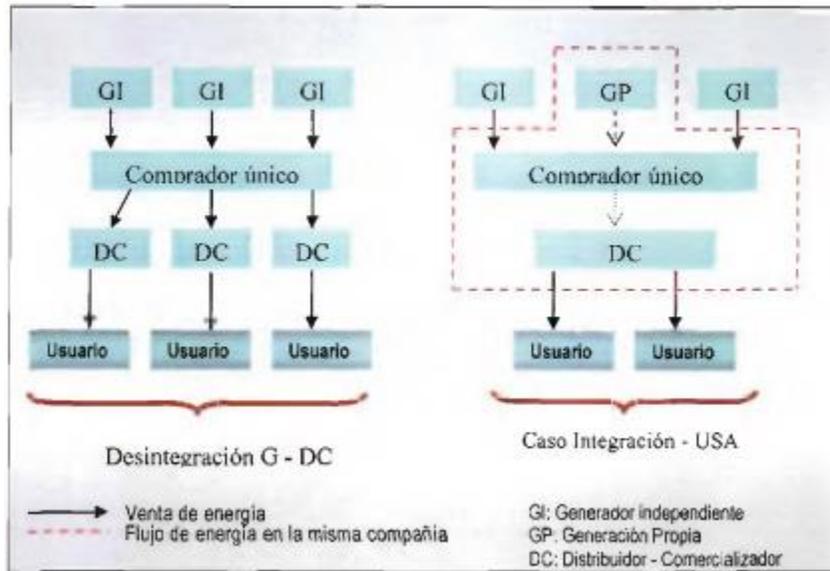


Ilustración 5. Modelo 2 gráfica tomado de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas - CREG, 2007)

### 2.1.3. Modelo 3 – Competencia Mayorista

Modelo de un mercado mayorista competitivo donde los generadores venden a un precio establecido libremente, y los compradores son los grandes consumidores y los distribuidores que tienen cautivos a los pequeños usuarios. Este modelo brinda la competencia a nivel de la generación.

No obstante, como en el Modelo 2 se presentan una serie de inconvenientes identificados claramente i) Asimetrías entre usuarios regulados y no regulados, ii) asegurar un proceso eficiente de compra de energía y iii) como entender a los usuarios no regulados que por diversos motivos buscan volver a ser usuarios regulados (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)

- I) Asimetrías entre usuarios regulados y no regulados  
 El problema surge cuando la definición del límite lleva implícito que unos usuarios suman costos que no son asumidos por otros, Hunt (2002, pag.48) describe el caso en los siguientes términos:  
 “The boundary problem mainly arises, or is much more acute, when those customers who are given the freedom of choice also avoid paying “stranded costs” and are therefore paying a lot less than the captive customers (This happened in the UK electric liberalization and in the U.S. gas industry)”
- II) Eficiencia en la compra de energía  
 El principal problema radica en como calificar la eficiencia en la gestión de compra de energía del comercializador.

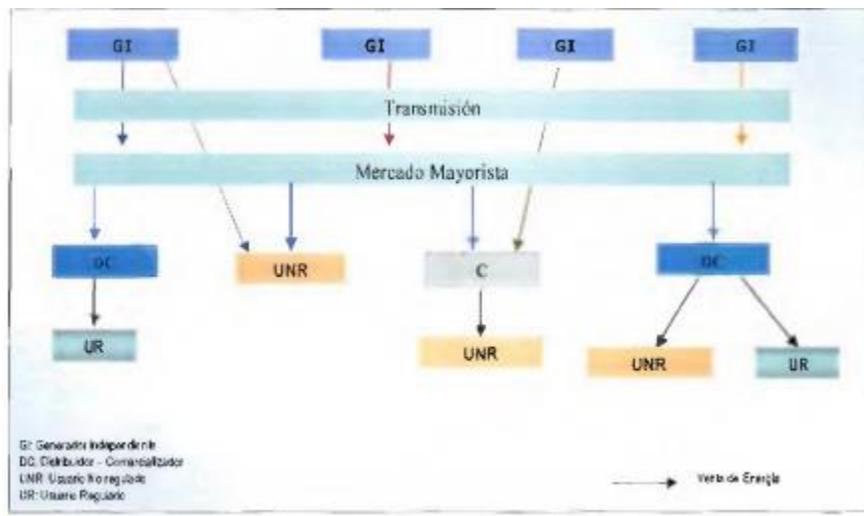


Ilustración 6. Modelo 3 gráfica tomada de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas - CREG, 2007)

#### 2.1.4. Modelo 4 – Competencia minorista

Este modelo supone la existencia de un mercado mayorista competitivo en paralelo, operado por un agente independiente en este caso XM. Su diferencia con el Modelo 3 radica en la posibilidad que tiene cualquier consumidor, incluso residencial, de elegir su prestador del servicio, lo que conllevaría una total competencia a nivel minorista. En consecuencia, las tarifas ofrecidas a cualquier usuario final no están sujetas a regulación tarifaria.

Si bien con el Modelo 4 se busca solucionar los problemas identificados en el modelo anterior en torno a la posible ineficiencia en la contratación de la energía, éste presenta algunas dificultades en su implementación como:

- I) El desarrollo del proceso de medición y liquidación de intercambios comerciales a millones de usuarios
- II) Los costos en campañas de educación al usuario
- III) La definición de un proveedor de última Instancia
- IV) La discriminación de precios a favor de usuarios de altos consumos versus los de bajos consumos.

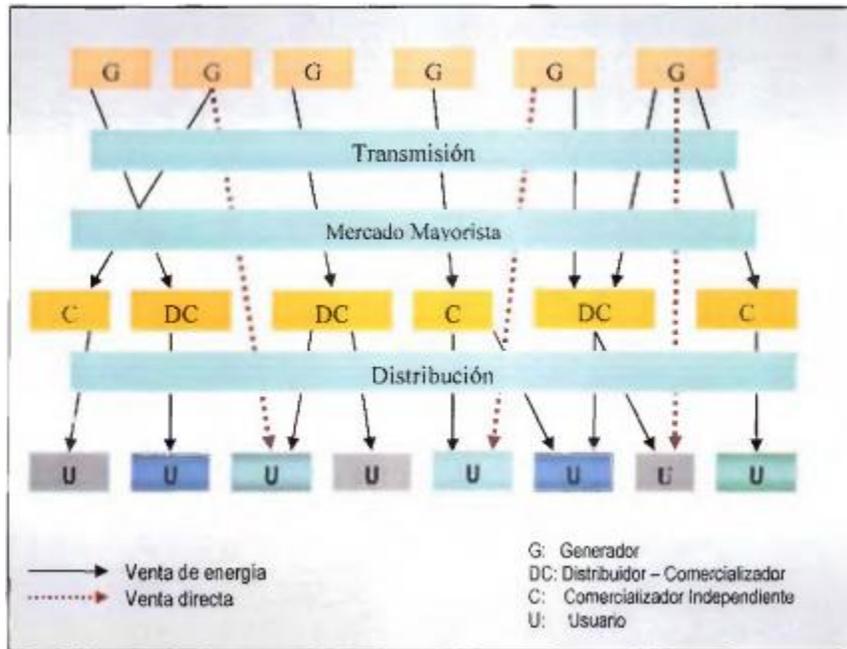


Ilustración 7. Modelo 4 gráfica tomada de (Comisión de Regulación de Energía Y Gas - CREG, 2007)

Como se ha venido mencionando, en Colombia actualmente tiene un modelo que es la combinación del Modelo 3 y 4 propuesto por (Hunt, 2002) para el manejo del mercado de energía del país, en la Ilustración 8 se describe el modelo de comercialización minoritas propuesto por (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)

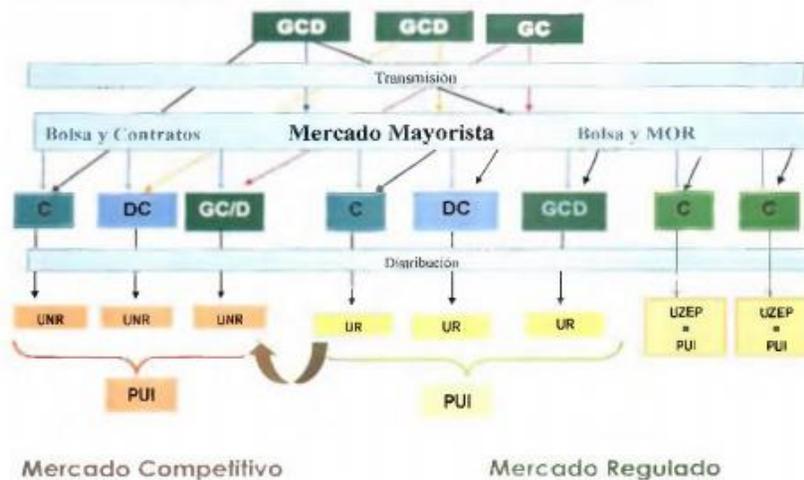


Ilustración 8. Modelo colombiano de comercialización minorista propuesto por (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)

Esta propuesta es un avance importante para el país en el desarrollo de la comercialización en un mercado minorista y como se desea plantear y llegar sirviendo de paso para un mercado P2P, de este modo es que este modelo propuesto en el Esquema de Comercialización Minorista para el Sector Eléctrico por parte de la CREG, busca garantizar la universalización del servicio, alinear la política del gobierno nacional en lo referente a energía, la adecuada competencia entre comercializadores y la eficiencia en costos por tipo de usuario.

## 2.2. Marco Legal y Regulatorio

El Congreso de la República de Colombia el 11 de julio de 1994 sancionó la Ley 143 de 1994 por la cual se estableció el régimen para la generación de energía eléctrica, transición de energía eléctrica, distribución y comercialización, por este medio se estructuró el sistema eléctrico colombiano y además las reglas de juego establecidas fueron claras. En donde en su Capítulo II se exponen definiciones importantes para el desarrollo del mercado, en su Capítulo V se determinaron las condiciones de apertura a la generación de energía, y en su Capítulo X se determinaron la protección y conservación del medio ambiente lo que enfoca de una forma importante el impacto que puede tener un mercado como el P2P en un esquema de mercado como el actual en el país.

De este modo se plantea esta Ley como la primera y más importante referencia regulatoria en el campo del mercado energético, se encuentra en el artículo 23 de la Ley 143 (1994), que corresponde a la CREG, señalando que se deben:

“Crear las condiciones para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente, capaz de abastecer la demanda bajo criterios sociales, económicos, ambientales y de viabilidad financiera, promover y preservar la competencia” (Palomo, 2002) (p. 11).

También las leyes que impulsan el desarrollo tecnológico para fuentes no convencionales de energía o energía limpia como lo es la Ley 1715 promulgada por el Congreso de la República que tiene como objeto:

“Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional. Así mismo, autoriza la entrega de excedentes de energía a la red por parte de los autogeneradores y le otorga a la CREG la facultad de establecer los procedimientos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía de la autogeneración y de la generación distribuida.” (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2014)

El Decreto 348 establecido por el MME establece los lineamientos para la venta de excedentes de pequeños autogeneradores hasta 100 kW y expresa que:

“El mecanismo de los excedentes de autogeneración a pequeña escala que utilicen Fuentes No Convencionales de Energía Renovable -FNCER, los excedentes que entreguen a la red de distribución se reconocerán mediante un esquema de medición bidireccional, como créditos de energía” (MME, 2017)

Mediante la Resolución 121 de 2017 de la (Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG, 2017) publicó el proyecto de resolución “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional”(2017).

Así mismo, la Resolución CREG 030 establece que:

“Mediante esta resolución 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 (SIN)” (Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG, 2018)

Para la aplicación de un tipo de tecnología disruptiva y descentralizada se necesitan sistemas de baterías que permitan hacer un uso más óptimo (Lüth et al., 2018) y eficaz de la energía generada, permitiendo en grandes magnitudes reducir y mitigar la curva de demanda y también reducir los efectos de las restricciones en el país. La resolución CREG 098 de 2019 tiene precisamente como objeto:

“Definir 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” (Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG, 2019).

En la actualidad se encuentra en comentarios la resolución CREG 131 de 2020 donde se plantea la Infraestructura de Medición Avanzada, regulación que permite el ingreso de medidores inteligentes al SIN, y de este modo dar un gran paso a un mercado de transacciones bajo un sistema de contratos bilaterales en una menor magnitud como en el mercado mayorista

“Por la cual se establecen las condiciones para la implementación de la infraestructura de medición avanzada en el SIN”(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020)

Esta resolución también centraliza la información en un nuevo agente llamado GIDI de este modo se aleja un poco a la metodología de un mercado P2P, pero brinda pasos importantes para el desarrollo y entrada de nuevos mercados y negociaciones en tiempo real.

Las mencionadas leyes, resoluciones y decretos han dado indicios de que el país va encaminado hacia un cambio en el desarrollo de las tecnologías vanguardistas; pese a esto, no alcanzan para satisfacer la necesidad de resoluciones que orienten el desarrollo de nuevos mercados como es el caso de los minoristas, en este caso particular el mercado P2P, que por ser el último eslabón de la cadena debe ser cuidado y regulado oportunamente, dado el flujo de dinero que generará y las transacciones financieras y de energía que se deben realizar sin intermediarios y en tiempo real.(Gil, 2018)

Actualmente, en Colombia no existe explícitamente una regulación que impida el ingreso a este mercado P2P, lo que haría que, si un comercializador avanza y logra desarrollar sus propias redes inteligentes, pueda hacer su propia gestión de micro redes y además tener un potencial enorme de crecimiento, creando redes de autogestión óptimas y eficientes.

Sin embargo, durante este año en el país se realiza una prueba de un mercado P2P con la creación de NEU, un comercializador de energía, cuya finalidad es visualizar toda la información de este mercado y no perder confiabilidad en la red (NEU, 2020).

Para apalancar este tipo de desarrollo, el Ministerio de Minas y Energía -MME- ha desarrollado un programa de transformación energética, que en su foco 3 de estudio hace referencia al impacto de un mercado enfocado al minorista. De acuerdo con (Romero-Grass

et al., 2020): “es gracias a la postura del Ministerio que el país está avanzando en el desarrollo de manejo de la información del mercado minorista y así poder llegar a nuevos mercados como lo sería el P2P”.

Se puede visualizar que en los aspectos regulatorios el país no tiene ninguna ley, decreto o resolución que permita darle fuerza a este tipo de mercado, pues si bien, existen avances por parte del MME en la búsqueda de la transformación energética del país en su foco 3, no es tan claro que el país esté enfocado en la creación de estos mercados potenciales para el sector regulado de la demanda.

### 2.3. Conceptos Básicos

Los sistemas P2P son sistemas distribuidos que consisten en nodos interconectados capaces de autoorganizarse en topologías de red descentralizadas como se observa en la Ilustración 10 esto con el fin de compartir recursos como contenido, ciclos de CPU, almacenamiento y ancho de banda, sin requerir la intermediación o el soporte de un servidor o autoridad centralizada global. (René Bastián Silva Valdés, 2019)(Mengelkamp et al., 2018)

#### 2.3.1.1. Redes peer to peer

Las redes P2P son una tecnología disruptiva para aplicaciones distribuidas a gran escala que ha ganado un gran interés últimamente debido al éxito que ha tenido el intercambio de contenido P2P, la transmisión de medios y las aplicaciones de telefonía. Las arquitecturas subyacentes comparten características como la descentralización, el intercambio de recursos del sistema final, la autonomía, la virtualización y la autoorganización. La Ilustración 11 muestra una arquitectura P2P, mientras que la Ilustración 9 muestra la arquitectura cliente servidor, siendo un esquema netamente centralizado donde toda la información la administra únicamente un ente o agente.

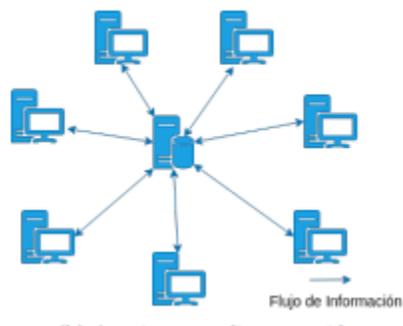


Ilustración 9. Arquitectura cliente administrador centralizado.

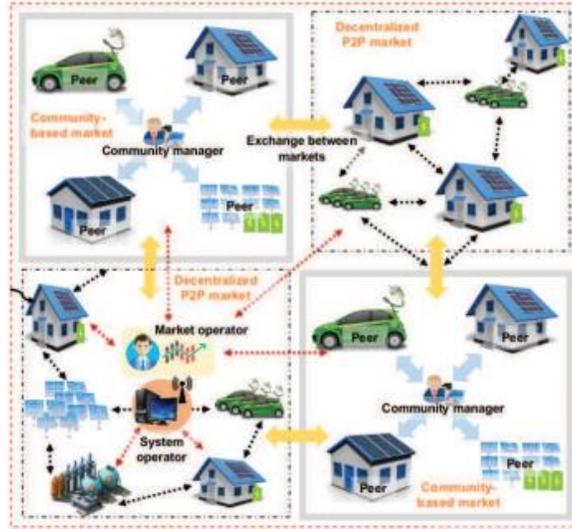


Ilustración 10. Red descentralizada (Tushar et al., 2020)

A diferencia de una arquitectura cliente administrador o servidor, en una arquitectura P2P hay una mínima dependencia de los servidores dedicados al operador centralizado. En su lugar, las aplicaciones explotan la comunicación directa entre pares conectados. Los pares no son propiedad del proveedor del servicio, sino que son computadoras controladas por los usuarios. Muchas de las aplicaciones más populares y con uso intensivo de tráfico de información de la actualidad se basan en arquitecturas P2P.

Estas aplicaciones incluyen intercambio de archivos, aceleración de descarga asistida por pares, telefonía por Internet e IPTV (Internet Protocol Television). A pesar de las ventajas de las arquitecturas P2P, tales como la escalabilidad o rentabilidad, estas se enfrentan a los siguientes desafíos: Las conexiones residenciales se han dimensionado para el uso de ancho de banda “asimétrico”, es decir, para mucho más flujo de descarga de información que el que se tiene al cargarla. Sin embargo, las aplicaciones de transmisión de archivos como las de una red P2P desplazan el cargue de información de los servidores a las conexiones residenciales sirviendo estos como servidores de la red y brindando solidez.

Las cadenas de bloques tienen el potencial de beneficiarse de los sectores económico, político, humanitario y legal mediante la reconfiguración del funcionamiento de la sociedad y las operaciones, a medida que cambian el control hacia participantes distribuidos en lugar de un control centralizado. Además, el “blockchain” mitiga el riesgo de doble gasto mediante criptografía segura, término que será explicado en este capítulo.

Como sistema de información, la tecnología “blockchain” permite plataformas de mercado descentralizadas mediante la resolución de conflictos de intereses y proporcionar simetría

de información a todos los participantes del mercado. Por lo tanto, las cooperaciones confiables se pueden construir en un sistema distribuido sin supervisión central.

La tecnología “blockchain” se caracteriza por los tres factores antes mencionados, redes peer to peer ya explicado anteriormente, criptografía y algoritmos de consenso que lo veremos en los siguientes apartes de este capítulo.

Antes de entender los dos ítems del “blockchain” que nos hacen falta entenderemos que es una microrred (De, 2014) siendo este sistema que interconecta cargas eléctricas (usuarios) y fuentes de generación distribuida (generadores) con la características propias de las redes P2P se puede estar conectado a la red de SIN o del mismo modo puede ser autónoma y estar aislada como se visualiza en Ilustración 11.

En particular, las microrredes son de bajo impacto ambiental, y se integran al sistema con instalaciones de generación de fuentes renovables y sistemas de acumulación eléctrica como las baterías, de este modo permitiendo tener:

- Sostenibilidad medioambiental para el suministro energético
- Disminución de costos de las tecnologías de baterías y de los sistemas de generación renovable
- Desarrollo de sistemas de control inteligentes, que permiten una gestión activa de las cargas eléctricas y las baterías y, básicamente, reducir los costos del suministro de energía.(De, 2014)

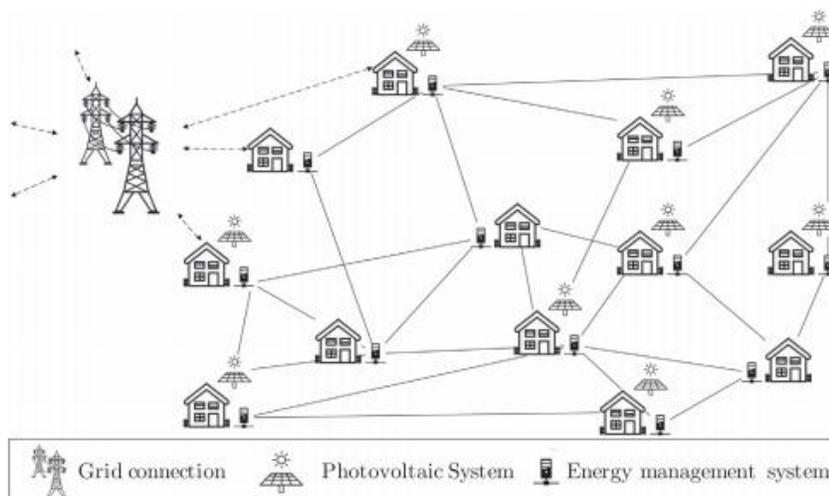


Ilustración 11. Esquema de microrred con conexión a la red principal (Mengelkamp et al., 2018)

### 2.3.1.2. Criptografía

Criptografía puede definirse como las técnicas matemáticas utilizadas para proteger la información digital, los sistemas y los cálculos distribuidos contra ataque. Estas técnicas permiten al creador del mensaje camuflar los datos del mensaje de modo que potenciales intrusos no puedan obtener ninguna información a partir de los datos interceptados, mientras que el receptor deberá ser capaz de recuperar los datos originales a partir de los datos ocultados. Los elementos principales que se pueden identificar al hablar sobre criptografía son emisor, receptor, mensaje y llaves. Parte de esta terminología se ilustra en la Ilustración 12. (René Bastián Silva Valdés, 2019)

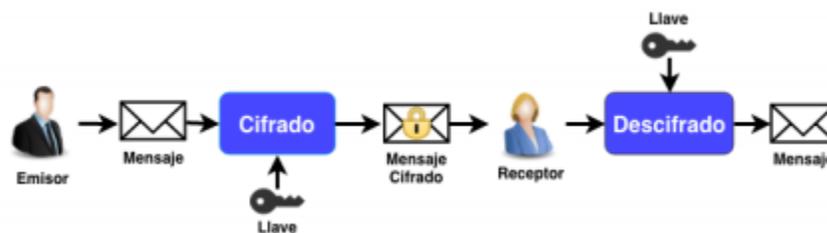


Ilustración 12. Ilustración de la criptografía. (René Bastián Silva Valdés, 2019)

Como se aprecia en la imagen, el emisor (creador del mensaje), quien desea que únicamente el receptor sea capaz de leer el mensaje a enviar, utiliza una llave de cifrado para alterar las representaciones lingüísticas del mensaje (encriptación) para luego enviarlo por un canal no confiable. Por su parte, el receptor utilizará una llave propia para recuperar el mensaje original a partir del mensaje encriptado (desencriptación).

### 2.3.1.3. Algoritmos de consenso

Es un sistema distribuido conformado por procesos que se comunican mediante broadcast, un requisito importante que se aplica en muchas situaciones es que se alcance un consenso entre los procesos. El consenso lleva a que todos los nodos compartan exactamente los mismos datos de transacciones, por lo tanto, un algoritmo consenso realiza dos cosas:

- Asegurar que los datos en el libro contable sean los mismos para todos los nodos de la red
- Evitar que los actores malintencionados manipulen los datos (René Bastián Silva Valdés, 2019)

De este modo podemos entender que de acuerdo con Rochina (2019):

“La ventaja principal de esta tecnología es que las cadenas de bloques sólo pueden ser actualizadas por consenso general. Esta capacidad se basa en el uso de claves criptográficas y en el hecho de estar distribuida. Además, una vez hecha la modificación, no puede ser borrada. Por lo que una modificación en una de las copias no serviría de nada, hay que hacer el cambio en todas las copias. Todo ello mediante mecanismos de sincronización automática” (párr. 4)

Resulta entonces fundamental el entendimiento, por lo menos básico, de la cadena de bloques, para hacer una inmersión en un modelo de mercado tan joven como el P2P, también conocido como punto a punto o red entre pares, en donde todos los ordenadores hacen parte de un mercado con una base de datos distribuida, descentralizada, junto a un componente de motivación, que en este caso es la seguridad de la red.

Para este tipo de tecnologías de bloques que se aplican al mercado eléctrico, se deben comprender una serie de términos ya específicos que no se han mencionado aún los cuales son conceptos básicos que permiten un acercamiento al funcionamiento de las transacciones de una red descentralizada bajo la tecnología de “Blockchain”. A continuación, se relacionan los conceptos y términos: transacciones, bloques, mineros y nodos.

### **Transacciones**

Son consideradas un registro que queda almacenado en los bloques de la cadena de bloques. Es allí donde todas las transacciones que se generan de forma simultánea forman una cadena o un conjunto de bloques, que posteriormente serán procesados por la misma red de la que ya hacen parte y se procesarán en los nodos mineros. Esta debe ser considerada la información más importante generada dentro de la cadena de bloques. Dada su seguridad y la probabilidad mínima de hackeo, las transacciones son la base más fuerte para desarrollar un mercado P2P. (Rochina, 2019)

### **Bloques**

Un bloque es el espacio en donde se generan un conjunto de transacciones confirmadas en periodos de tiempo simultáneos. Es necesario tener presente que las transacciones deben ser confirmadas para poder hacer parte de la cadena de bloques a la que pertenecen. Al formar parte de una cadena de bloques o “Blockchain”, estas deben tener las características completas y validadas (Rochina, 2019).

Para poder validar, volver a enviar o transmitir y también para poder crear los bloques deben existir los dos tipos de nodos que son:

## **Mineros**

Estos nodos son ordenadores o chips dedicados que verifican las transacciones que se llevan a cabo. Son los encargados de comprobar que todas y cada una de las transacciones realizadas sean correctas. Una vez realizada la verificación pueden pasar a formar parte del bloque actual. Por tanto, son los nodos quienes emiten, transmiten y crean nuevos bloques con las transacciones. Además, garantizan la seguridad de la red, esto hace que sean los más complicados de gestionar, debido a la dificultad y al costo de la minería. (Rochina, 2019)

## **Nodos**

Se denomina nodo a un ordenador o chip conectado a la red que almacena y distribuye una copia actualizada en tiempo real de la cadena de bloques. Cada vez que un nuevo bloque se confirma desde los nodos mineros, se añade a la cadena. A continuación, se comunica a todos los nodos, y éstos la añaden a la copia que cada uno almacena. (Rochina, 2019)

## **2.4. Avances recientes de los Mercados P2P**

Como ya vimos en los numerales iniciales de este capítulo el funcionamiento de un sistema “blockchain” permite el uso de una red peer to peer, siendo además de todo una parte esencial para las transacciones en este tipo de mercado visualizando que es vital las relaciones entre pares para el desarrollo de este mercado eléctrico.

El “Blockchain” permite incorporar nuevas tecnologías enfocadas en transacciones programadas que pueden ser controladas en tiempo real. Por medio de este tipo de tecnologías es posible conseguir que el precio de la energía varíe en el transcurso del día n-veces, y esto a su vez debe estar controlado por la casación de la oferta y la demanda.

No se pueden desligar de ningún modo la tecnología, la economía y el componente de la respuesta de la demanda, debido a que tienen la capacidad de afectar el comportamiento de la curva de demanda del país. Es precisamente por esta razón que se requiere una regulación actualizada y avanzada para el crecimiento del mercado eléctrico.(Tushar et al., 2020)

El funcionamiento de este tipo de mercado se ha venido estudiando en diferentes partes del mundo, demostrando que viene ligado a las decisiones autónomas de los medidores inteligentes, permitiendo la aplicación de criterios de decisión sobre los equipos que tienen la capacidad de generar intercambios comerciales rápidos y muy probablemente a bajo costo.

Es oportuno entonces resaltar el amplio espectro de aplicación que este tipo de mercado tiene en el mundo actual, específicamente para un país como Colombia, que cuenta con un sistema de mercado mayorista con muchas fortalezas y con el deseo de incursionar en los mercados minoristas gracias a los avances regulatorios que se presentan actualmente. (Tushar et al., 2020)

Es claro que para alcanzar este tipo de desarrollo se debe generar una cultura de manejo eficiente de la energía que garantice la obtención de dividendos, así como contar con mejores sistemas en toda la cadena de prosumidores.

Pese a que el país no dispone de una regulación que aplique para un tipo de mercado como el P2P, debe considerarse como un avance que el regulador y las organizaciones que están en el mercado de energía proyecten un cambio y quieran evolucionar con el desarrollo de la regulación y así llegar a un mercado completo.

El “Blockchain” será para los sistemas de comunicación actuales y de almacenamiento de información, un sistema óptimo y eficaz para el desarrollo de las transacciones del mercado P2P, potenciando un nuevo modelo de economía descentralizada, con mucho menor costo en transacciones y con una transmisión de datos mucho más rápida, con la garantía plena de estar libre de errores y con mayor protección de la información en la “Blockchain”.

El hecho de que la filosofía “peer to peer” este basada en tener un sistema de almacenamiento futuro, y que las transacciones sean mucho más favorables y transparentes, resalta que este mercado en efecto le permitirá al consumidor pasar a ser prosumidor si lo desea y de este modo generar una renta, entregando sus excedentes de energía a la red, con un precio conocido, previamente transado y regulado, puesto que el factor de libre autogestión es asumido como una cámara de riesgo en “Blockchain” como parte del mercado P2P, supervisando el estado de la energía y de las operaciones financieras pactadas. La Ilustración 13 presenta un esquema que resume la filosofía P2P.



Ilustración 13 Esquema de la filosofía peer-to-peer adaptada a la energía.

Fuente: (Beltran, 2019)

Las propuestas relacionadas presentan avances por que trabajan sobre la base de un software libre que les permite una evolución, una simulación y un modelo de comportamiento dentro de este tipo de mercado. No obstante, es pertinente tomar como referencia el proyecto Pylon Network para realizar con la ayuda de la app Metron, aplicada en dispositivos electrónicos, un seguimiento de los activos energéticos que son tomados como modelos para el desarrollo del software. Según (NETWORK, 2018). La Tabla 2 presenta las especificaciones técnicas del proyecto Pylon Network:

Tabla 2. Especificaciones técnicas del proyecto Pylon Network, Fuente: (NETWORK, 2018)

Características	Descripción
1000tx/s	Elevada tasa de transacciones por segundo, diseñado para el sector energético y todos sus actores.
Minería no competitiva	Con los nodos se promueve mejorar la eficiencia energética y reducir al mínimo los costos hardware
Bajo consumo energético	Consumo de 500 tx/Wh.
Alineado con RGPD	Diseñado para cumplir las leyes de privacidad de datos
Open source	Cualquiera puede utilizarlo, y se alienta a las personas a mejorar voluntariamente su diseño. Es una estrategia para crear un marco común escalable, eficaz para la cooperación en el sector energético. Una copia del código la pueden encontrar en Github.
Permisión de acceso	Permite la interacción entre los actores del mercado energético manteniendo la privacidad
Escalable	Se pueden añadir múltiples nodos, consiguiendo aumentar el número de usuarios soportados por el sistema (actualmente soporta 30 millones de usuarios).

Es importante tener presente que el mercado eléctrico colombiano es hoy en día un mercado estable, regulado, que tiene falencias, pero que se comporta muy bien, generando confiabilidad, quedándose atrás únicamente en el manejo del usuario final, puesto que este ya debe hacer parte de las decisiones del mercado y transar de forma económica; es decir, hace falta la consolidación del modelo “peer to peer”.

Dentro de las ventajas del modelo P2P es posible mencionar las siguientes de acuerdo con España (2020):

- El precio baja notoriamente debido a la desaparición del intermediario
- La reputación de los usuarios es un ítem importante y de mucho peso tanto que los usuarios pueden escoger a quien comprarle o a qué precio comprar
- La evolución del mercado minorista y con crecimiento para los agentes que son comercializadores puros.

Pero, así como existen múltiples ventajas, es coherente mencionar algunas de las dificultades que se pueden generar en torno a este tipo de mercado de acuerdo con España (2020):

- El temor de que los prosumidores sí entreguen la energía que realmente tienen de sobra o en su autogeneración
- La reputación de una empresa puede verse afectada si las cosas no funcionan correctamente
- La cultura actual del país para afrontar nuevos mercados, entre otras.

Se debe rescatar que un agente comercializador como es el caso de EPM y una empresa en desarrollo como ERCO, están creando avances para este mercado, realizando las pruebas mencionadas en el desarrollo del numeral 1.2 y que pese a estar un poco lejos de completar un mercado P2P en Colombia con todas las garantías tanto transaccionales como legales, las pruebas realizadas por estos dos operadores y agentes activos del mercado de energía colombiano están dando luces sobre el impacto del mercado de energía; no obstante, como lo afirman Ortega & España (2019): “hasta que no se dé el periodo de toma de información que se presume de un año, no se sabrá el verdadero potencial que este mercado puede traer al mercado eléctrico colombiano”.

En el siguiente capítulo mediante la revisión de la literatura se hará referencia a los trabajos locales e internacionales que se han adelantado para darle solución a las problemáticas y dudas relacionadas con este tipo de mercado, que además profundiza en las teorías abordadas en el marco teórico, reconociendo las limitaciones de las distintas propuestas y estableciendo una serie de conclusiones en torno a estas.

### Capítulo 3. Revisión de la literatura

En la búsqueda de un cambio a nivel mundial en los aspectos de la descentralización de la información para los mercados de energía, se están gestionando pruebas y generado una serie de documentos académicos que sirven para reconocer el estado del arte de la información y de la filosofía de la disrupción en los mercados de energía.

Inicialmente, se toman como referencia los planteamientos de Enerchain como uno de los posibles solucionadores de los problemas que se presentan en los mercados que quieren dejar de ser centralizados. La descentralización es la dirección futura del sector energético, debido a que, en lugar de producir gigavatios de energía mediante centrales nucleares clásicas, de lignito y carbón, el futuro es que millones de hogares produzcan esos gigavatios en su totalidad. (Enerchain, 2019)

De acuerdo con Enerchain (2019):

“La descentralización significa también comercializar, entregar y consumir energía donde se produce. Solo la producción residual va a un nivel de cuadrícula más alto y desde allí a regiones remotas. La descentralización también significa menos congestiones en las redes eléctricas y más resistencia para los vecindarios” (párr. 7)

El anterior planteamiento sobre la descentralización hace alusión a que cada región tiene su propio mercado, sus propias limitaciones y, por lo tanto, sus propios incentivos de precios para producir o consumir. Es de este modo que Enerchain apoya el crecimiento de la energía descentralizada, proporcionando una infraestructura comercial que permita a cada uno de los productores regionales descongestionar la red y descentralizar la información.

Una de las grandes ventajas que tiene el mercado de P2P es la cantidad de precios variables que se pueden prestar para la ejecución de una decisión; al igual que con los medidores inteligentes y las smart grids o las redes inteligentes, el peer to peer se puede ver como el último desarrollo de los mercados de electricidad visualizado hasta hoy, un complemento clave para el desarrollo de un país o de una empresa incluida en el mercado de energía mayorista. (Gil, 2018)

No se puede dejar a un lado una de las problemáticas evidentes y quizá la más sensible, se trata de la visibilidad de los precios, pues un mismo medidor podría empezar a vender y a comprar, es decir, a transar la energía de forma financiera e inteligente, de modo que el almacenamiento se perdería, pues ante los bajos costos, mayor índice de compra de energía. Del mismo modo la implementación de contadores inteligentes en el camino de unas verdaderas smart grid puede ser una gran ayuda para que todos los usuarios adquieran

hábitos asociados a la gestión de la demanda, por esta razón se debe tener mapeado todo lo que corresponde a respuesta a la demanda, porque así se generan mejores gestiones de los precios bajos de la misma energía.

Otra de las virtudes que se identifican en el desarrollo de un mercado descentralizado y disruptivo como el P2P se encuentra publicado en el portal donalo.org (2020), en donde se plantea una serie de interrogantes: “¿Cómo la economía circular contribuye al coste cero de la electricidad en Alemania? ¿Es posible producir, almacenar y compartir la energía de forma comunitaria de tal forma que el coste de la factura sea cero?” Las respuestas positivas evidencian que miles de familias alemanas y de otras comunidades que hacen parte de la SonnenCommunity ya integran el mercado P2P más grande del mundo, además con una gran ventaja, el costo de energía es cero e ilimitada.

Las SonnenCommunity son comunidades que han apostado por el aire limpio y las energías renovables. Sus miembros producen su propia energía y la comparten con otros miembros. Pero la clave no son las baterías, sino la red eléctrica inteligente. El sistema informático que utiliza la comunidad es capaz de compensar la energía que entra y sale de la red. Es decir, cuando una casa saca energía de la red general, otro hogar mete la misma cantidad en el sistema (donalo.org, 2020). Es así como una red eléctrica inteligente se adapta en tiempo real a la oferta y la demanda de los consumidores.

Este documento resulta relevante porque permite visualizar y entender la organización que requiere el mercado energético y la posibilidad de combinar distintos elementos para alcanzar el costo cero.

En el país, Fedesarrollo (2018) ha planteado en un documento llamado “*Mercado eléctrico en Colombia*”, la necesidad de una transición hacia una arquitectura descentralizada”, dando los primeros pasos hacia la descentralización del sector energético del país. El documento también reconoce que con el tiempo se han acumulado problemas y han aparecido oportunidades de mejora del mercado. Por eso es preciso aumentar la competencia, diversificar el portafolio de generación, ayudar a monetizar los recursos locales embebidos en las redes de distribución y modernizar la arquitectura de mercado y la regulación.

Se debe mencionar en este capítulo que durante el desarrollo del proyecto P2P-Smartest se formularon una serie de documentos que fomentan la investigación y el desarrollo de este tipo de mercado a nivel mundial. Uno de los documentos que se destacan es el presentado por Matamoros, Gómez, Pouttu, Nardelli, Kunhlanz & Porras (2020), quienes determinan los escenarios para propiciar:

“Los mecanismos de comercio entre pares entre comerciantes de microgrid, agregadores y prosumidores desde una perspectiva cooperativa y no cooperativa.

Se consideran una serie de escenarios: microrredes aisladas, interacción con el mercado spot, mercado de equilibrio y almacenamiento y cargas controlables. Además, se consideran otros aspectos importantes como la respuesta a la demanda y los problemas de privacidad. Finalmente, también ofrecemos un diseño de mercado innovador adecuado para redes de energía P2P en el que la calidad de la energía desempeña un papel clave”

Este documento permite identificar de una manera más clara la huella evolutiva de la investigación dentro de este mercado.

Para fomentar no solo el uso de mercado P2P con sus ventajas sino para identificar que las comunidades tienen una forma de transar energía y aportarla no como actualmente se hace a la red de transmisión o de distribución sino a la red que se está transando y así obtener dividendos a favor de las exportaciones de energía, el documento de P2P- Smartest aborda este tema de una manera más profunda. Zhang et, al. (2017) afirma que:

“Los conceptos de comercio de energía entre pares (P2P) brindan a los productores de energía local y regional, opciones para intercambiar energía de manera justa dentro del vecindario, dentro de la comunidad y en las proximidades del sistema de distribución. Esto cambiará fundamentalmente el paradigma actual P2G (peer-to-grid) donde cualquier excedente de productos locales solo puede venderse a las redes de transmisión, y transformará la posición de los consumidores de tomadores de energía / precios a productores de energía / precios”.

En el mismo trabajo de P2P-Smartest se han desarrollado todos estos entregables los cuales individualizados son informes importantes para el desarrollo e implementación de mercados como el P2P. Además, como lo plantean Li et, al. (2020):

“El sistema energético está experimentando cambios importantes. Los DER están madurando y su presencia en los sistemas de distribución tradicionales está aumentando. Difieren fundamentalmente de la generación clásica: su producción no es despachable y volátil. Esto plantea desafíos importantes para la operación del sistema de energía. Lo que comparten estos métodos es que dependen de una infraestructura de TIC.”

La metodología que P2P-Smartest presenta además de individualizar los entregables, permite encontrar e identificar todas las opciones que visualizaron para llegar a cumplir con sus objetivos. En esta etapa temprana, antes de su implantación final, se describen las demostraciones destacando los componentes principales, el equipo y la estructura. La configuración final de las demostraciones, una vez implementada y en ejecución, se describirá en Deliverable D6.2. (Li et al., 2020)

El P2P-Smartest aplicado en la Unión Europea presentó unos resultados esperados del tipo de simulaciones de lo que implicaría el ingreso del mercado P2P en un sistema de redes de distribución, simulando y concluyendo cómo se verá la implicación de las micro redes al ser integrada con la red de distribución, todo bajo un enfoque de mercado P2P.

Se presentan como metas reducir el consumo desde la red, favoreciendo así el intercambio de energía entre las fuentes de generación distribuida de manera colaborativa, sin afectar la eficiencia y la estabilidad del sistema, esto con el fin de que el consumo y producción del prosumidor (usuario que tiene la capacidad de producir energía pero no solo eso sino que también es consumidor de energía, de ahí es donde se forma el nombre en español a partir de productor y consumidor, y que puede sustituir al anglicismo prosumer) sea un motivante a la red y un aliciente para la confiabilidad del sistema y del consumo energético.

Los resultados esperados de este proyecto P2P-SmarTest están asociados con tres factores: evaluar la viabilidad del modelo de negocio P2P mediante el análisis de los precios de las transacciones en este mercado, y llegar a una estimación o un valor exacto del ahorro económico obtenido; evaluar y estimar las implicaciones de la incursión de este mercado a la par del mercado ya existente; ahorrar energía y validar el cambio en el mercado mayorista causado por las transacciones del mercado P2P minorista.

Un sistema puede volverse más resistente a fallas en la infraestructura de las TIC de dos maneras, como lo afirman Li et al. (2020):

“En primer lugar, las inversiones adicionales pueden mejorar la calidad del servicio del sistema de comunicación. Se desarrolló una herramienta de simulación conjunta, que evalúa la infraestructura de comunicación y eléctrica al mismo tiempo. Esto permite al diseñador verificar si el rendimiento del sistema de comunicación es suficiente para la aplicación prevista... mejorar la infraestructura de las TIC, también aumenta la robustez.”

Los experimentos descritos en este documento completan la descripción de los bancos de pruebas del proyecto, sobre la base de las infraestructuras disponibles y los resultados de los paquetes de trabajo de I + D, los experimentos previstos cubrirán la evaluación de todas las tecnologías y modelos comerciales abordados por P2P-Smartest.(José Manuel et al., 2017).

Para concluir, la situación actual indica que la preparación de los bancos de prueba se ha completado con éxito en todas las instalaciones y algunos de los experimentos ya se han llevado a cabo (Rivas et al.,2017).

Dejando de lado lo presentado por P2P-Smartest, existe otro proyecto que debe ser mencionado, se trata de Pylon Network, que evidencia un avance constante al reconocerse como un software libre y abierto con una serie de proyecciones y pensamientos muy claros enfocados en el futuro de los ecosistemas naturales, recursos y diversidad que con este tipo de mercado podrían generar un mejor uso de los recursos de existentes y los futuros en el país.

Pylon está pensado con el fin de reducir todos los efectos contaminantes del ecosistema de cooperación, haciendo un aprovechamiento óptimo, eficiente y prudente de los recursos naturales y así volver más eficiente todo el tema de transacciones de energía. Además, se debe resaltar que, aunque a la fecha no tiene conclusiones publicadas, estas se pueden identificar en la gestión óptima de los sistemas energéticos que impactan de manera positiva a la sociedad.

Como se dijo anteriormente en Colombia se realizan actualmente pruebas del mercado P2P en la ciudad de Medellín, como las pruebas también están iniciando, no se presentan conclusiones, la principal razón es que las empresas y universidades que intervienen en el proyecto apenas están en el prototipo inicial y desde el mes de marzo de 2020 se inició con la implementación del comercializador NEU para hacer las pruebas.(España, 2020)

De acuerdo con Ortega & España (2019), para el año 2020 se plantea tener una etapa de monitoreo donde estos datos serán tan valiosos que “permitirán diseñar esquemas de mercados comunitarios”.

En el siguiente capítulo será presentada la metodología realizada en el desarrollo de este documento.

## Capítulo 4. Metodología

De acuerdo al esquema de la Ilustración 14 se presenta de forma simple la metodología presentada para la creación e identificación de las referencias necesarias para este documento.

La metodología seleccionada tiene un enfoque cualitativo y un alcance descriptivo, en tanto está basada en la necesidad de aplicar un tipo de mercado P2P en el mercado eléctrico el colombiano, teniendo presente el atraso que tiene el mercado en este tipo de tecnologías, entendiendo además el comportamiento del mercado a nivel nacional e internacional. Sin embargo, el uso adecuado del mercado P2P en un futuro tendrá una mayor aplicación gracias a las nuevas tecnologías, al desarrollo de los sistemas de control y despacho de energía.

Colombia es el foco de estudio de este trabajo, pese a que en términos de aplicación de redes inteligentes y sistemas “Blockchain” está atrasado, se reconoce un gran potencial de crecimiento para las empresas y organizaciones del sector que buscan la forma de mejorar el comportamiento del mercado y hacerlo incluyente, completo y con una respuesta adecuada a la demanda.

Realizando un esquema de investigación documental basado en la búsqueda de las palabras claves mencionadas en el comienzo del documento, en bases de datos de la Universidad Nacional, de la IEEE, y también en páginas como Google, con el fin de encontrar documentos artículos y páginas que expusieran adecuadamente el mercado P2P, o bases sensatas para el desarrollo de este tipo de mercado. También es importante comprender que se realizaron búsquedas como en el caso de Hunt (2002) en los modelos de mercado que permite una robustez al informe, pues este autor es un ponente adecuado para los modelos de mercados que se mencionan en el documento.

El método de investigación se basa en la revisión documental de archivos y publicaciones que hacen referencia a este tipo de mercado a nivel mundial. Una vez identificados los antecedentes que se presentan en el ámbito nacional e internacional, es posible visualizar el estado actual del mercado y establecer comparaciones entre los desarrollos de diversas naciones.

Luego de la etapa de recopilación y revisión de la información, se establece un análisis del campo del mercado minorista asociado al P2P, y se plantea un análisis de las regulaciones y leyes que están vigentes en el país, que a su vez pueden permitir el desarrollo y el apalancamiento de este tipo de mercado, entendiendo que Colombia en su actualidad requiere consolidar una regulación para los mercados minoristas y prosumidores, teniendo

en cuenta que la Resolución CREG 030 de 2018 de un modo permite ir creando este mercado.

Una vez han sido identificadas las regulaciones y los documentos que el MME y la CREG han emitido para el desarrollo de estos mercados, se realiza una visualización de los conceptos básicos y los avances más recientes que se presentan en Colombia, escenario en donde una única asociación de empresas como EPM y ERCO están en la búsqueda de este desarrollo de mercado en el país; no se puede dejar a un lado la EIA, reconociendo su constante acompañamiento en el mismo proyecto y a la UCL como coequipera. Es necesario esperar que transcurra un año para conocer los resultados en torno al impacto en el mercado minorista.

El marco teórico que se consolida por medio de la metodología de esta propuesta, es una construcción compleja debido a la falta de información, reconociendo además que los avances y las pruebas están en curso y los resultados en su mayoría no han sido publicados, o no presentan comentarios en sus investigaciones todavía como se visualiza en la Tabla 1 pese a esto, es viable plantear algunas ventajas y desventajas para el mercado energético.

En el desarrollo del trabajo se evaluaron las regulaciones y las falencias que tiene el país en el aspecto regulatorio y legal, para identificar la realidad del sector; así se cumple con el primer objetivo planteado, sin dejar de lado la importancia de la evolución regulatoria y las ventajas que tiene que el Ministerio de Minas y Energía -MME- ya esté pensando en una transformación tecnológica.

También se identificaron las barreras que se tienen para la entrada de este mercado en el país, barreras que hacen parte del ámbito social y financiero, que afectan la premisa de la confiabilidad y la seguridad del sistema eléctrico del país (XM S.A. E.S.P., 2020a). El estudio de la regulación y el complemento de las falencias culturales, sociales y legales permiten el cumplimiento de los dos objetivos específicos que apalancan el objetivo principal de este Trabajo Final de Maestría.

Por último, el diseño metodológico seleccionado permite dar cuenta no solo de los objetivos, también del impacto del P2P en el esquema del mercado de energía de Colombia, en el marco de un estudio literario, regulatorio, legal y cultural enfocado en el desarrollo del territorio colombiano.

En el siguiente capítulo se presenta los aspectos regulatorios del P2P en el país, realizando un acercamiento a lo existente y a las normatividades que deben promoverse durante los próximos años. Adicionalmente, el capítulo da respuesta a uno de los objetivos específicos de este documento.

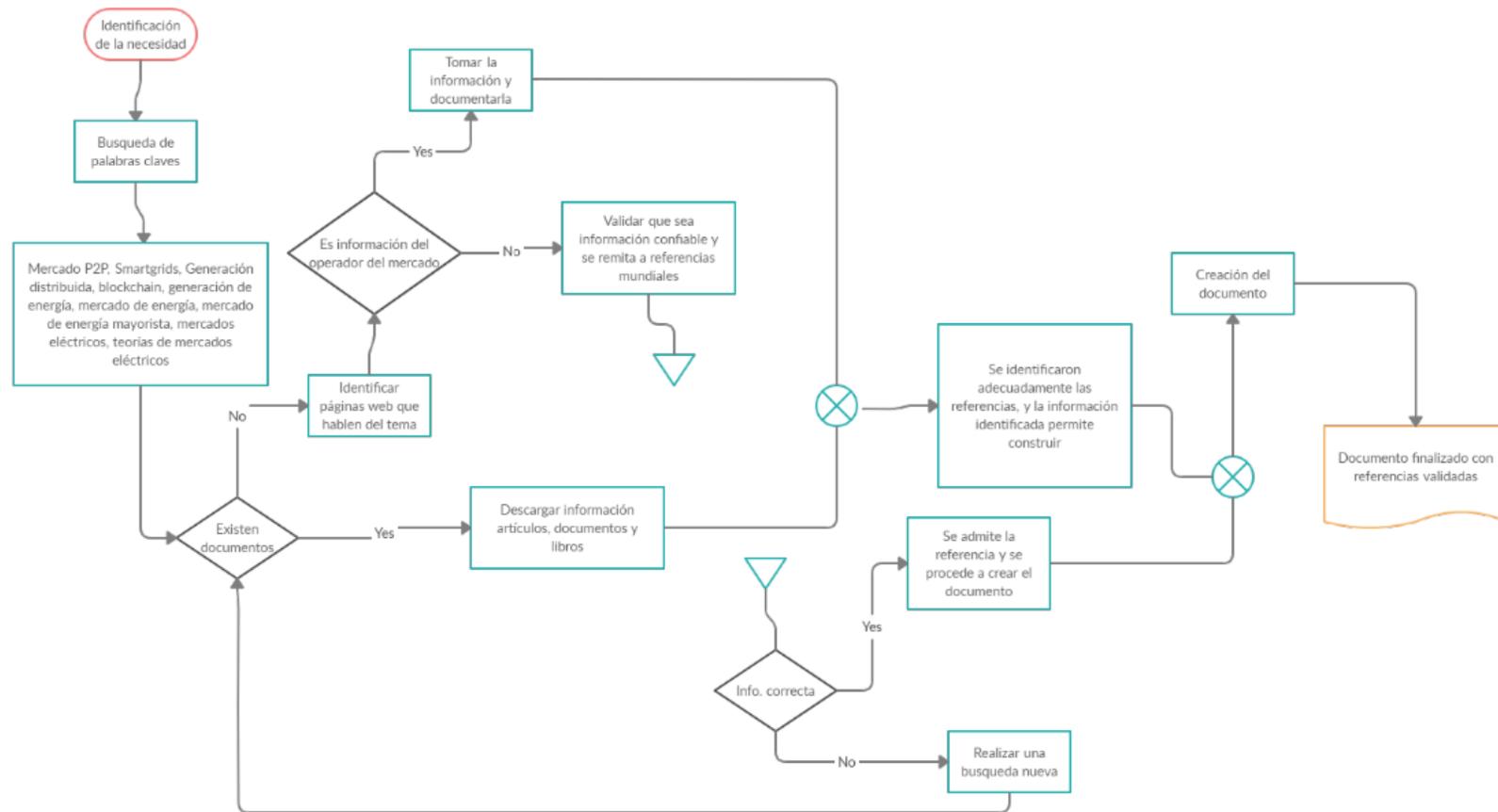


Ilustración 14. Esquema metodológico

## Capítulo 5. Aspectos Regulatorios del P2P en el Sector Eléctrico de Colombia

La historia dice que una tecnología estaba a punto de llegar cuando Napster sacudió a la industria musical y creó las bases para lo que hoy en día se conoce como peer to peer, permitiendo que los computadores conectados en una red intercambiaran música a muy bajos costos. (Wikström, 2020)

Esta distribución de información descentralizada generó impactos severos en el mercado, y aunque Napster perdió la puja por culpa del no pago de derechos de autor, el cambio que se generó fue determinante para la industria, no solo en términos musicales, también en el aspecto financiero, abriendo nuevas posibilidades para de mercado de Napster, de este modo permitiendo la descentralización y nacimiento en el sector eléctrico de un mercado como el peer to peer de energía, de este modo se observó que para los países tener “mercados completos” sería algo viable, entendiéndose este término de mercados completos como completitud en todos los servicios de mercado prestados viéndolo desde el punto de vista que lo presenta el CIGRE en su capítulo Colombia.(Gil, 2018)

Para un país como Colombia es complejo el tema de los mercados completos, puesto que no es sencillo de abordar y mucho menos es un tema que se encuentre documentado de forma completa, aun así, el Ministerio de Minas y Energía como ente regulador está tratando de dar pasos para el crecimiento de los mercados de energía, de la mano del CIGRE.

De acuerdo con Gil (2018) se puede lograr un mercado completo en Colombia realizando una serie de ajustes al diseño del Mercado de Energía del país para así poder afrontar los nuevos retos y realizar una gestión efectiva de los riesgos, en la Ilustración 15 se puede observar el esquema de mercados completos propuestos en el Primer Seminario Iberoamericano CIGRE – SIAC 2018 por parte del CIGRE Capítulo Colombia.



Ilustración 15. Esquema de mercado completo (Gil, 2018)

Actualmente y dentro de los aportes más importantes se encuentra la Resolución CREG 030 de 2018 que tiene como motivación el desarrollo de generación con fuentes no convencionales de energía y generación distribuida y establece: “la regulación de aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala

y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional, SIN.” Se entiende entonces que su ámbito de aplicación es para “autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al STN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transmisores nacionales.”(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)

Esta resolución CREG 030 de 2018 permite brindar conexiones a los nuevos sistemas de generación y generación distribuidas a pequeña y gran escala, de este modo es que se está empezando a tramitar el ingreso a un mercado completo, del P2P, para que así el mercado minorista del país se encuentre regulado y exista como un participante más del mercado de una forma visible como lo es actualmente el MEM, lo que pretende esta regulación es brindar la posibilidad de cualquier usuario ser un prosumidor convirtiéndose en un generador y participando así de los beneficios económicos y transaccionales de la energía en el país.

Pese a que esta es la regulación más enfocada para este tipo de tecnología o de transacciones, o por lo menos es la que se visualiza como una regulación apalancadora para este mercado, no es la resolución que debería existir para este tipo de desarrollo de mercado en el país, dejando en evidencia una vez más que ante esta ausencia de regulación es mucho más difícil llegar a un mercado completo, entendiendo que se debe pasar primero por un mercado por lo menos de transacciones hora a hora y así avanzar hasta un punto tan profundo como lo es el mercado entre pares.

Durante el comienzo del año 2020 el Ministerio de Minas y Energía -MEM - planteó una serie de documentos propuestos para la transformación energética en el país, los cuales hasta el 10 de marzo de 2020 estuvieron sometidos a juicio de expertos. Se presume entonces que el país está interesado en tener un sistema de medida inteligente como lo menciona el Foco No. 3. (Fase I): Descentralización y Digitalización de la Industria y la Gestión Eficiente de la Demanda (Romero-Grass et al., 2020). Sin olvidar que estos documentos solo se encuentran en un estado tentativo, ya se visualiza que el MME está interesado en una evolución del mercado de energía.

Las transacciones disruptivas y descentralizadas no les interesan a los gobiernos por ser algo que no es administrado por un ente gubernamental y sobre todo porque no tienen el control sobre el flujo de transacciones realizadas.(Dinero, 2019) Se reconoce que una de las plataformas y transacciones más importantes a nivel mundial y financiero es la compra y venta de bitcoins, moneda que en Colombia actualmente no es legal. Se menciona el caso de los bitcoins porque permite identificar que estas tecnologías disruptivas no tienen buena acogida actualmente en el país y mucho menos dentro de un mercado como el eléctrico que es controlado y regulado por el gobierno.

Es recomendable empezar a fortalecer al regulador para estos temas, con el ánimo de avanzar y estar listos para la creación y desarrollo de un mercado más completo, con el fin de evitar que en algún momento se salga de control y los usuarios queden desprotegidos. (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)

En la actualidad la regulación permite realizar pruebas de este tipo de mercado, pero garantizando la seguridad y confiabilidad del sistema, sin verse afectada su estabilidad. Precisamente de este modo surgió en Colombia NEU, cuyo slogan afirma: “Somos un Comercializador Inteligente de Energía” (NEU, 2020).

La regulación facilita este tipo de situaciones, pero no es sólida frente a lo que hasta ahora existe y en lo que precisa el desarrollo del mercado de energía mayorista y minorista; sin embargo, es viable aplicar las resoluciones actuales vigentes para el mercado de energía mayorista del país para su uso en el Mercado Minorista de Energía de Colombia, por esta razón se mencionan algunas resoluciones que se encuentran vigentes.

Para el mercado de energía mayorista la CREG publicó la resolución CREG 098 de 2019 (Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG, 2019) que tiene como Objeto:

“Definir 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.”

Esta regulación podría tomarse como un gran avance para el país frente a un tema no explorado, permitiendo la creación de una regulación para el almacenamiento de energía en pequeñas cantidades para el uso de los usuarios regulados del país y así fomentar el desarrollo de nuevos mercados, en donde el usuario final también transe energía y se convierta en un prosumidor, esto gracias a que podrá entregar esa energía almacenada en sus viviendas o en sus vehículos y además permita transar energía por el usuario que lo considere y tenga disponible para la venta, y del mismo modo pueda comprar energía en los momentos que los precios sean moderados o económicos.

Actualmente EPM tiene un sistema de uso eficiente de la energía con el caso de la energía prepagada, y aun siendo uno de los socios del proyecto peer to peer, no ha realizado aún inversiones importantes en este sentido, a pesar de que es uno de los comercializadores más grandes del país, “El ingeniero Blandón mencionó que se observa como un temor de que la gestión de energía que puede realizar el usuario final puede reducir el consumo de energía de una forma considerable y poco rentable para EPM” (J. Blandón, comunicación personal, 26 de febrero de 2020)

Esta situación justifica el interés por la transformación energética que tiene el Ministerio de Minas y Energía -MME- lo que brinda un avance considerable en el cambio de tecnología de los medidores, equipos fundamentales para el crecimiento y avance del mercado P2P.

La actual prueba piloto que se está realizando por parte de la Universidad EIA, EPM, ERCO Energía y University College London en Colombia relacionada con el comportamiento y el impacto del este tipo de mercado, plantea según España (2019):

“Conectar 13 usuarios residenciales de estratos socioeconómicos distintos y un centro comunitario a través de una plataforma virtual. El centro comunitario y tres usuarios de estratos bajos tendrán paneles solares, lo que les permitirá vender energía a usuarios de estratos altos. El objetivo de este proyecto es entender qué atributos de la energía (renovable, local, independiente, etc.) son más importantes para los distintos grupos de usuarios.”

Finalmente, cabe decir que los promotores de esta prueba piloto visualizan problemas enfocados en la regulación para apalancar los proyectos y desarrollos tecnológicos de este tipo según España (2020).

Para los meses de junio, julio y agosto se presentó la Resolución CREG 131 de 2020 (en comentarios) por la cual tiene como objeto en su Artículo 1:

“Por la cual se establecen las condiciones para la implementación de la infraestructura de medición avanzada en el SIN”

Esta resolución de acuerdo con sus intenciones y lo dispuesto para la Infraestructura de Medición Avanzada -AMI- busca suplir los siguientes objetivos:

“Facilitar esquemas de eficiencia energética, respuesta de la demanda, y modelos de tarificación horaria y/o canastas de tarifas.

Permitir la incorporación en los sistemas eléctricos, entre otras, de tecnologías de autogeneración, almacenamiento, generación distribuida y vehículos eléctricos.

Mejorar la calidad del servicio a través del monitoreo y control de los sistemas de distribución.

Dinamizar la competencia en la comercialización minorista de energía eléctrica y generar nuevos modelos de negocio y servicios.

Gestionar la reducción de las pérdidas técnicas y no técnicas.

Promover la eficiencia en los costos de prestación del servicio de energía eléctrica y facilitar que se alcancen niveles de pérdidas eficientes.”

Además de los objetivos de la AMI en esta resolución se plantean objetivos definidos para la eficiencia energética, siendo los siguientes:

“La entrega de excedentes a la red de distribución o transporte, por parte de los usuarios que la produzcan principalmente para atender sus propias necesidades (usuarios autogeneradores).

Sistemas de medición bidireccional.

Mecanismos simplificados de conexión y entrega de excedentes de la energía producida por los usuarios a pequeña escala, en los que se podrán usar medidores bidireccionales de bajo costo para la liquidación de sus consumos y de las entregas a la red.

Procedimientos sencillos de conexión y entrega de excedentes para viabilizar que los anteriores mecanismos puedan ser implementados, entre otros, por usuarios residenciales.

Venta de los créditos de energía de los que se hacen acreedores los usuarios por los excedentes de energía entregados a la red de distribución, derechos que podrán negociarse con terceros, según las normas que la CREG defina para tal fin.

Respuesta de la demanda, mediante cambios en el consumo de energía eléctrica por parte del consumidor, con respecto a un patrón usual de consumo, en respuesta a señales de precios o incentivos diseñados para inducir bajos consumos.”

De esta resolución se visualizan los avances necesarios para dar el paso hacia un mercado P2P en el país, de una forma regulada y enfocada por lo menos en la eficiencia energética y todo lo que es referente a la AMI, es de anotar que esta resolución es explícita en su Artículo 4 la creación de un administrador de las transacciones y además de la información todo esto centralizado en el GIDI.(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020).

Una vez planteados los aspectos regulatorios del sector eléctrico colombiano, se puntualizó las resoluciones que implican para el mercado P2P un aporte importante o un avance hasta este, teniendo como resumen la Tabla 3 la cual se verá a continuación.

Tabla 3. Resumen aspectos regulatorios que pueden estar encaminados al mercado P2P.

<b>Documento</b>	<b>Virtud del documento</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Referencia</b>
CREG 030 de 2018	Resolución apalancadora para un tipo de mercado como el P2P donde se presenta la figura de un prosumidor, generación distribuida, intercambios entre pares	Aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional, SIN	(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018)
Descentralización y Digitalización Eficiente de la Demanda	Aplicar un sistema de medida inteligente en el mercado de energía del país, con la descentralización y digitalización de la industria	análisis de las condiciones actuales de los sistemas de distribución en Colombia, la identificación de elementos regulatorios que propician o desincentiven: i) la modernización de la redes de distribución, ii) la incorporación y masificación de los DER, iii) el establecimiento de esquemas de respuesta de la demanda, y iv) la modernización de los estándares de planeamiento técnico de las redes de distribución, y finalmente, la formulación de algunas propuestas preliminares para adecuar las condiciones identificadas, con el fin de generar una línea base de mejora sobre la que se crearán las propuestas robustas de la fase dos de este foco.	(Romero-Grass et al., 2020)

<b>Documento</b>	<b>Virtud del documento</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Referencia</b>
CREG 098 de 2019	Regula el almacenamiento de energía en pequeñas cantidades para el uso de los usuarios finales y fomenta el desarrollo de nuevos mercados como el P2P	Definir 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.	(Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG, 2019), (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)
CREG 131 de 2020	Permite la medición inteligente con un administrador centralizado de la información el cual sería un agente nuevo del mercado llamado GIDI, además, esta resolución sería la base para un mercado como el P2P, por las bondades y características propias ya mencionadas en los capítulos anteriores. con la diferencia de ser un esquema centralizado el modelo presentado en la Resolución.	Aplicación de la eficiencia energética, venta de excedentes, métodos simplificados de conexión, AMI	(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020)

En el Capítulo 6 se presentará un análisis de las barreras de entrada para el mercado P2P en el contexto colombiano; barreras asociadas no solo con aspectos financieros, también con ideologías, posturas sociales y culturales.

## Capítulo 6. Barreras a la entrada de un mercado P2P en el Sector Eléctrico Colombiano

Para comprender que el país se encuentra incursionando en el tema de los nuevos mercados, como se observó con las resoluciones actuales del país, y en aras de completar el mercado de energía, basta con visualizar que en el país actualmente no se presenta un mercado con transacciones hora a hora, y no se tiene un control legal y regulatorio adecuado por si se entrara en un mercado de transacciones minuto a minuto.

Es obvio que suene un tanto complejo, pero esto permite comprender que el país está en proceso de evolución hacia los mercados completos como lo argumenta Martha Gil directora financiera de XM, y además ponente del CIGRE capítulo Colombia en el tema de los mercados completos, pese a que en distintos escenarios ya se han presentado propuestas para tener un mercado integral, en donde el usuario final regulado y no regulado tengan una relación complementaria como prosumidores.

El desarrollo del país tiene un crecimiento de la demanda que se encuentra aproximadamente en el 3% anual. (XM S.A. E.S.P., 2020c); este aspecto permite que el desarrollo de las nuevas tecnologías y su aplicación faciliten romper las barreras que se presentan en el país para el crecimiento del mercado de energía.

Los datos del año 2019 demuestran que el mercado regulado tuvo una demanda Real de 48,418,768 GWh (XM S.A. E.S.P., 2020b). Es así como se visualiza este mercado como un potencial significativo para realizar intercambios e interacciones directas de energía, claro está si el usuario final lo desea y si además quiere invertir en desarrollos tecnológicos y de eficiencia energética y de uso adecuado de la energía, como se potencializa con la Resolución CREG 131 de 2018.

Las principales barreras que en la actualidad obstaculizan el uso de este tipo de tecnología aplicada el nuevo mercado, pueden agruparse como: barreras regulatorias, barreras por desconocimiento, barreras por capacidad técnica, barreras culturales, barreras económicas, barreras financieras y barreras legales.

Para pensar en dar solución a las barreras mencionadas, es necesario comprender el comportamiento de los mercados que utilizan tecnologías disruptivas y han alcanzado el éxito, quizá de este modo, sea posible dar solución a las barreras de entrada que se presentan en Colombia frente al mercado de energía y de intercambio financiero.

En diferentes países del mundo, este tipo de mercados están enfocados en los Intercambios sociales P2P, aplicando el crowdfunding, permitiendo que personas con ideas concretas recauden fondos para hacer realidad sus sueños o metas planteadas. También hay una

libertad financiera dentro del mercado P2P como lo reflejan Paypal o Lending Club, entre otros, permitiendo realizar transacciones seguras, solamente reteniendo un porcentaje del valor transado.

Adicionalmente, existen mercados P2P para compras, servicios e intercambios de archivos, todo esto dentro del mismo modelo de mercado. En este caso, el mercado de energía basado en un modelo disruptivo permite tener transacciones más seguras y en menores tiempos, además con análisis de datos gracias a las tecnologías y software moderno, en este caso podría mirarse el “blockchain” como una de las posibilidades.

Para superar las barreras mencionadas se deben comprender los vacíos regulatorios que presenta el país para este desarrollo de mercado, puesto que ni siquiera las leyes como la Ley 1715 de 2014, que es de corte ambiental propiciando el fomento de generación de energía por Fuentes No Convencionales de Energía Renovable y brindando beneficios tributarios para estas tecnologías, logra impulsar un rápido crecimiento en el sector minorista del usuario final. (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2014)

El temor, la falta de regulación y de beneficios no permiten ingresar rápido a este mercado, por lo menos para el crecimiento de estas fuentes de energía y así dar el siguiente paso a transacciones disruptivas en un mercado minorista como el P2P. Asimismo, el desconocimiento y la incapacidad técnica van de la mano como una barrera muy fuerte frente a esta tecnología y frente al avance de las transacciones disruptivas.

El desconocimiento hace que el usuario regulado, que actualmente sería el usuario final residencial, tenga temores grandes de participar en un mercado minorista como el P2P. Esto se debe a que la tecnología no se presta para validar la seguridad de las transacciones y además no hay una regulación que les brinde confianza a los nuevos agentes minoristas del mercado para hacer negocios de compra y venta de energía, como lo expresan las dificultades del Modelo 4 – competencia minorista de (Hunt, 2002).

Es preciso generar una nueva cultura que promueva una participación limpia y tecnológicamente asertiva, para superar la desconfianza.(Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007) Para dejar claro, en el país el desconocimiento de una nueva tecnología, la capacidad técnica de las empresas del sector para un desarrollo de este tipo y la cultura actual del consumidor final regulado frenan el crecimiento de las transacciones disruptivas, aunque cabe anotar que el miedo se está perdiendo en el sector financiero, ya solo falta empezar a migrar esto en el sector eléctrico y así darle más fuerza ya que se tiene un potencial gigante, dado el consumo de energía que se presenta en el mercado regulado de Colombia.

Frente a las barreras y temores de corte financiero, sociocultural y legales, se puede aducir un estigma de participación, relacionado con la incertidumbre de dar un paso en falso al ingresar a este mercado, al desconocimiento de los aspectos legales que lo rigen y a la ausencia de los mismos. Pese a esto, no se puede olvidar que el mundo se encuentra inmerso en la llamada cuarta revolución industrial, en donde la gente está llamada a asumir la interactividad como un estilo de vida.

Es probable que para el mercado minorista no sea tan sencillo dominar una aplicación o una tecnología, pero si es posible que al integrarlos su inserción en el Mercado P2P sea mucho más efectiva.

Otra de las barreras se relaciona con la presunción de que este puede generar altos costos de operación, mantenimiento y administración, conocidos como AOM, cuando realmente estos costos obedecen únicamente a la inversión inicial, dado que se trata de un mercado disruptivo que permite la descentralización de la información; además, tampoco tendría costos asociados al AOM, claro está, mientras no se centralice la información, pues si esto llega a suceder, seguramente se aplicaría algún costo por el uso de la plataforma o por otros factores.(Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020)

La creación de un mercado nuevo permite claramente mejorar en la tecnología actual del país, pues es pertinente y necesario cambiar los medidores por unos que sean inteligentes y tomen datos para que un software tome decisiones importantes cuando el usuario no tenga interés de ser el mismo quien haga las transacciones, de este modo el software puede encargarse de optimizar todo lo pertinente a la toma de decisiones para suplir las necesidades del usuario final.(Romero-Grass et al., 2020)

El hecho de desarrollar software optimizado para la toma de decisiones permite al usuario hacer un uso eficiente de la energía, estudiando el comportamiento almacenado por el medidor inteligente y así mejorar todo lo que la barrera tecnológica plantea, lo que indica que este mercado no solo permitiría crear un mercado nuevo y más incluyente para el usuario regulado, sino también crear una mejor y nueva tecnología para la evolución del país.

Una vez comprendidas las barreras que se sustentan en este capítulo de la entrada del P2P en un esquema de mercado eléctrico colombiano se presenta un resumen detallado de estas barreras identificadas en la Tabla 4 donde podremos evidenciar puntualmente el resumen de las barreras y el tipo de barrera planteada.

Tabla 4. Resumen barreras identificadas

Barrera Identificada	Tipo de barreras	Referencia
No existe mercado hora a hora, para la creación de un mercado minuto a minuto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de administración de mercado de energía P2P.</li> <li>• Falta de regulación enfocada y precisa para el mercado P2P.</li> </ul>	(XM S.A E.P.S., 2008), (NEU, 2020), (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018), (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2020) (Hunt, 2002)
Inversiones altas en los desarrollos tecnológicos, para la mejora de la eficiencia energética y uso adecuado de la energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falencias tecnologías y técnicas de acuerdo al modelo 4 de Hunt (2002)</li> <li>• Discriminación por precios a favor de los usuarios de mayor consumo, efectos económicos</li> </ul>	(Hunt, 2002), (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)
Libertad financiera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El desarrollo del proceso de liquidación falto de regulación legal.</li> </ul>	(Hunt, 2002), (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)
Vacíos regulatorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de regulación en procesos completos del mercado P2P.</li> </ul>	(Hunt, 2002)
Desconocimiento de la administración del mercado P2P	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de capacidades técnicas que permitan administrar adecuadamente el mercado P2P</li> <li>• Vacíos regulatorios.</li> </ul>	Modelo 3 y 4 de (Hunt, 2002), unificando sus desventajas las cuales deben existir para un modelo completo de mercados.

Barrera Identificada	Tipo de barreras	Referencia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de legalización de estándares para la administración del mercado P2P Legales.</li> <li>• Desconocimiento y falta de educación para los usuarios finales.</li> </ul>	
<p>Confianza en un nuevo mercado para validar las transacciones realizadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de educación al usuario final, mirándolo como una barrera de tipo cultural.</li> <li>• Desconfianza por el posible favorecimiento a los usuarios de mayor consumo para la presentación de los precios, mirándolo como una barrera financiera.</li> <li>• Vacíos legales.</li> </ul>	<p>(Hunt, 2002) modelo 4 tratando de solucionar los problemas del modelo 3.</p>
<p>Temores culturales, por desconocimiento en funcionamiento de las transacciones disruptivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos por educación cultural.</li> <li>• La barrera técnica dado el atraso puntual del país en el mercado P2P.</li> <li>• Desconocimiento de los procesos de liquidación y medición que se deben realizar para millones de usuarios de acuerdo al mercado P2P.</li> </ul>	<p>(Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007), (Hunt, 2002)</p>
<p>Temores de inversión en nuevas tecnologías.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acuerdo con las dificultades que</li> </ul>	<p>(Hunt, 2002),</p>

Barrera Identificada	Tipo de barreras	Referencia
	<p>presentadas en el modelo 3 y 4 de(Hunt, 2002) los vacíos financieros para inversión, cultura y legales están marcados dada las campañas de educación a usuarios y proveedores.</p>	<p>(Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007)</p>
<p>Costos de operación, mantenimiento y administración de un mercado como el P2P.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las asimetrías entre los usuarios regulados y no regulados, los problemas de eficiencia en la compra de energía se presentan como barreras económicas.</li> <li>• Como problema financiero o barrera se presenta la discriminación de precios para los usuarios de menor consumo.</li> <li>• Las barreras legales y regulatorias son implícitas por el desarrollo de un mercado como el P2P.</li> </ul>	<p>(Hunt, 2002) en un modelo 3 y 4 enfocado para el mercado minorista del modelo 4, presentando las dificultades propias de este modelo.</p>

Como ya se mencionó la creación de un mercado nuevo permite mejorar en la tecnología actual del país, en la regulación del sector eléctrico y de mercado de energía del país, además permite avanzar a un desarrollo de mercados completos supliendo las barreras identificadas en este capítulo, de este modo y bajo las teorías presentadas por Hunt (2002) y analizadas también por (Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG, 2007), donde se comprende la propuesta de comercialización en un mercado minorista para Colombia, es

así como se dejan las barreras referenciadas e igual identificadas en un modelo de mercado minorista como lo sería el P2P.

En capítulo siguiente encontraremos un análisis de los impactos de la entrada del mercado P2P en el esquema que actualmente existe en Colombia en el Mercado de Energía, visualizando las virtudes que este mercado puede entregarle a los mercados completos en el país.

## Capítulo 7. Impacto del mercado P2P en el Mercado Eléctrico Colombiano

Para poder decir que el esquema de mercado P2P en Colombia es de un potencial gigantesco para el desarrollo del país, se deben analizar todos los factores mencionados en los capítulos 5 y 6 de este documento, donde fue posible visualizar los aspectos que podrían frenar este desarrollo en el país.

El ingreso de nuevos mercados y más en el sistema eléctrico colombiano, genera modificaciones importantes, que apoyan la generación de una serie de preguntas que orientan la comprensión de la realidad del sistema eléctrico.

### 7.1.1. Impacto de las actualizaciones regulatorias, mejoras tecnológicas, sociales y culturales

Los cambios de tecnología, regulatorios, sociales y culturales, permiten el avance rápido y oportuno de una nueva forma de transar energía en un Colombia, por eso es importante entender la manera cómo un mercado entre pares afecta el mercado mayorista, que es el que predomina en el país. Después de todo lo que se ha identificado se puede visualizar un impacto realmente positivo, asumiendo una perspectiva que reconoce la evolución del sistema; de este modo el mercado P2P genera avances culturales, sociales y tecnológicos de mucha fuerza.

El desarrollo y el crecimiento de Colombia en mercados de energía y como un referente en la región de las transacciones de mercados energéticos permite obtener beneficios de un crecimiento notorio frente a otros países de la región y frente al uso de tecnologías aplicadas a los nuevos mercados, en este caso al mercado entre pares o P2P.

### 7.1.2. Impacto de la administración del mercado y seguridad de la información

Las ventajas y los impactos que este mercado presentaría al entrar el país se verían reflejados inmediatamente en la descentralización de la información y en el diseño de nuevos protocolos de seguridad, virtud que permite ventajas con referencia al mercado actual del país, el cual tiene la información centralizada y controlada solo por el operador del mercado.

Este sería entonces un beneficio real que apoyaría el pago y la gestión de los movimientos, comprendiendo que el hecho de no estar centralizada solo significa que no solo estará almacenada por un agente del mercado sino por todos los agentes participantes y permitirá la protección de los datos y la información de todo el mercado.

De este modo se aprovecha el uso de un sistema descentralizado, que almacena la información en n-servidores en este caso siendo cada servidor un usuario de la red, y brindar de este modo la seguridad de la información, gracias a las bondades que presenta el “blockchain” en seguridad de las transacciones, de la información y de los datos que por la red se comparten.

### **7.1.3. Impacto de la diversificación de la matriz energética**

La ventaja que tiene el mercado P2P y el impacto que puede generar en el país se estima como algo novedoso para la sociedad, pero sobre todo como un proyecto con mucho potencial y beneficios en la diversificación de la matriz energética. Sobre este Marti & Cárdenas (2019) mencionan:

“Colombia tiene una de las matrices de generación eléctrica más limpias del mundo. A diciembre de 2018, la capacidad instalada de generación en el Sistema Interconectado Nacional fue de 17.312 Mega-watts (MW). De esta capacidad instalada, el 68,4% correspondió a generación hidráulica, casi el 30% a generación térmica (13,3% con Gas Natural, 7,8% con combustibles líquidos y 9,5% con carbón) y aproximadamente el 1% con Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) (eólica, solar, y biomasa).”(Marti & Cárdenas, 2019)

Estos datos funcionan como referencia para visualizar como la matriz energética del país se está diversificando y se está expandiendo en FNCER, ya que actualmente se presentan subastas para este tipo de tecnologías y así mismo permiten visualizar como estas tecnologías ya han adquirido una fuerza que se destaca en el mercado del país, con un crecimiento rápido y exponencial.

Es de anotar que la importancia del mercado P2P en el mercado de energía actual del país, radica en la capacidad para generar apropiación ética de las nuevas tecnologías en una sociedad que no conoce mucho sobre este tema, pero que está inmersa en las nuevas tecnologías. Como ejemplo podría tomarse el fenómeno del uso del celular. Es así como este tipo de mercado en crecimiento permitiría una diversificación de la matriz, una mejor apropiación cultural de las personas y una verdadera experiencia de inmersión en la cuarta revolución industrial.

### **7.1.4. Impacto de los indicadores financieros**

El impacto esperado se debería manifestar como una mejora de los indicadores financieros de los proyectos rurales de energía renovable, es decir, como un primer impacto beneficioso en las Zonas No Interconectadas -ZNI- del país, brindando una mayor cobertura

de energía en el territorio colombiano, cumpliendo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la ONU (2020): “garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”.

Es de comprender que el análisis se realizó para el mercado interconectado actual de Colombia, pero como se menciona en el párrafo anterior este mercado tendría un impacto muy positivo para las ZNI, que podría verse como una posterior aplicación de este mercado en el país, no obstante se debe dejar claridad que en estos casos la configuración es algo más sencilla dado que la conexión a la red no existiría, como se mencionó en las Redes peer to peer en el numeral 2.3.1.1, esta red también puede funcionar aislada como la Ilustración 11 lo muestra.

#### **7.1.5. Impacto que impulsa el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU**

Para la identificación del impacto en base a los Objetivos de Desarrollo Sostenible se plantean las siguientes metas: garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos; aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas; duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética; aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias; ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo. (ONU, 2020)

Una vez identificado que se puede apuntar con el mercado P2P al los ODS de la ONU, se plantea que el impacto es positivo dado que se amplía la capacidad instalada de fuentes renovables de energía ampliando la matriz energética, aumentando la gestión energética y al eficiencia de la misma, permitiendo así el P2P ar cumplimiento con lo mencionado por la ONU, y avanzar para que la eficiencia, las fuentes de energía renovable, y los desarrollos tecnológicos beneficien a las comunidades más propensas y del mismo modo beneficien al país en este Objetivo de Desarrollo Sostenible -ODS.

Es de anotar que, para el país el desarrollo tecnológico y sobre todo el desarrollo enfocado en el crecimiento energético está avanzando a grandes pasos, pues al ser unos referentes de la región en los temas de energía y mercados energéticos, se desarrolla un espíritu de competitividad que puede resultar beneficioso.

Este documento deja varios interrogantes y temas abiertos para futuras discusiones acerca del funcionamiento del mercados P2P y todo lo que implica el desarrollo tecnológico, pero se debe tener en cuenta que el impacto visualizado en los mercados financieros revela una oportunidad enorme y un impacto muy positivo para la diversificación, el aumento de capacidades de respuesta, el análisis de datos, la información oportuna para toma de decisiones, la eficiencia en la transacciones y los aportes socioculturales.

Se puede concluir entonces que la entrada de este tipo de mercado permitiría en Colombia un avance destacado que contribuiría de igual forma en el crecimiento de los mercados de energía a nivel mundial.

Todos estos impactos relacionados con el mercado P2P en Colombia se verían reflejados netamente en el mercado minorista, el Sistema de Distribución Local (SDL) de los distribuidores se podría ver beneficiado al tener transacciones directas en su red sin tener una dependencia completa del mercado mayorista del país, no obstante, se debe comprender que este mercado al ser novedoso sin duda va a requerir algunos ajustes en el SDL. Y no menos importante recordar que en Colombia la información de los usuarios regulados y de su mercado de comercialización actualmente la posee el Operador de Red - OR-, con una buena gestión de la misma se permitiría generar un manejo eficiente de la energía.

Los impactos visualizados en un esquema mixto de mercado minorista y mayorista, entendiendo el primero como un mercado P2P son positivos en su mayoría, pues permiten que disminuya el costo la electricidad y además que haya una mejora del medio ambiente, vinculando al FNCER para distribuir en el SDL y así generar energía limpia y beneficiosa para el planeta.

Para tener una claridad de los impactos se resumirán en la siguiente lista:

- Actualizaciones regulatorias.
- Cambios y nuevas tecnologías.
- Cambios culturales.
- Cambios sociales.
- Modificación de la administración del mercado para que no sea solamente del mayorista sino también del minorista.
- Seguridad de la información.
- Diversificación de la matriz energética.
- Mejoras en indicadores financieros para los proyectos que estan en las ZNI.
- Cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU como país.

- Cambios importantes en los Sistemas de Distribución Local del país, dadas las transacciones realizadas en su red.
- Reducción de costos de la energía.

En el capítulo 8 siendo el último capítulo del documento, en este se sintetizan las conclusiones y los aspectos más relevantes de la aplicación del sistema P2P en el contexto colombiano.

## Capítulo 8. Conclusiones y trabajos futuros

### 8.1. Conclusiones generales

La información que es posible rastrear a través de la revisión de literatura sobre este tipo de mercado es incipiente, esto se explica porque es un tema bastante nuevo, pero para Colombia tener un prototipo apoyado por el agente comercializador, generador, transmisor y distribuidor EPM, permite comprender que este mercado está en los ojos de las grandes empresas y se desea avanzar en su adaptación, tanto como en la apropiación tecnológica.

El crecimiento estimado de la demanda permite identificar que el país necesita otros modelos de mercados de energía, no solo porque el consumidor se quiere autoabastecer, sino porque así se hace posible alcanzar una diversificación de la matriz del país y no depender únicamente de la generación hídrica.

El mercado P2P y las barreras mencionadas en el Capítulo 6 permiten abordar de una manera distintiva y adecuada la solución a estas, dado que los 4 modelos propuestos por Hunt (2002) dan idea de lo que puede ocurrir para un mercado como el P2P y no obstante el país le da una solución a la comercialización en el mercado minorista con lo propuesto por la CREG en su Documento CREG 044 de 2007.

El cambio y la evolución del mercado en Colombia que presenta un MEM hacia un mercado completo con un mercado minorista incluido como es el caso del P2P, permitiría a todo usuario motivado su beneficio económico y/o ambiental a aportar en la matriz del país, en las transacciones y en el uso adecuado de la energía, haciendo parte de un mercado de energía en tiempo real.

El desarrollo del documento y las respuestas planteadas a los objetivos permiten comprender que el país tiene un norte definido frente a la llegada del nuevo mercado, permitiendo que el desarrollo tecnológico potencie su crecimiento.

### 8.2. Conclusiones asociadas a la identificación de las resoluciones CREG vigentes relacionadas con el posible ingreso de un mercado tipo P2P en el mercado eléctrico colombiano.

Actualmente la regulación colombiana no permite este tipo de mercado es más no ha gestionado mucho en cuanto al mercado intradiario o mercados que sean hora a hora para así evolucionar a los mercados completos; no obstante, como se menciona en el numeral 2.2 del marco regulatorio del presente documento, la regulación y la transformación

energética propuesta por el Ministerio de Minas y Energía permitirá la evaluación de la información y la toma de decisiones para la gestión de transacciones en el mercado eléctrico del país.

La regulación actual en Colombia no permite crear este tipo de mercado, pero con los desarrollos de la transformación energética se visualiza un camino más claro para este tipo de mercado y una evolución del mercado completo, como se explica en el Capítulo 5.

Existe una regulación vigente que está potencializando la diversificación de la matriz energética, como se menciona en el Capítulo 5 y también como se observa en el marco regulatorio numeral 2.2 el país está aportando al ingreso de nuevas tecnologías como la Solar Fotovoltaica y la Eólica; la primera es la más popular debido a que tiene ventajas de instalación a diferentes escalas en más lugares y zonas del país.

### **8.3. Conclusiones asociadas a la determinación de posibles barreras a la entrada de un mercado tipo P2P en el mercado eléctrico colombiano.**

No solo el “Blockchain” es una tecnología disruptiva que sería viable, para este tipo de mercado existen muchas otras alternativas. En el documento solo se menciona el “Blockchain”, pues es con la que actualmente en Colombia se realizan las pruebas para este tipo de mercado, permitiendo además tener un poco de información con base en EcoRegistry, UALET y otras plataformas, tal como se menciona en el Capítulo 1. La aplicación del “Blockchain” para transacciones financieras es importante, pues no solo permite el apalancamiento, también brinda seguridad para todo lo que un mercado eléctrico necesita en un mercado minorista como el P2P.

La tecnología actual y la cultura del país deben cambiar. Aunque actualmente los grandes industriales se están diversificando en autoabastecimiento de energía basándose en energía solar, se están realizando estudios de conexión diaria para tecnologías renovables de energía con potencias importantes, tema que ha sido abordado en el Capítulo 6, siendo una muestra clara de que la cultura en el país se está acrecentando y potencializando en pro de los nuevos mercados y transacciones sin intermediarios, con información descentralizada y tecnologías disruptivas.

En el desarrollo del Capítulo 6 se visualiza todo el análisis realizado para las barreras de entrada de un mercado P2P en el Sector Eléctrico Colombiano en donde se encontrará en la Tabla 4 de las barreras presentadas e identificadas para una comprensión más clara.

#### **8.4. Conclusiones asociadas al objetivo general de Evaluar el impacto de la implementación del esquema de mercado P2P en el mercado eléctrico colombiano.**

El ingreso de nuevos mercados en el mercado eléctrico colombiano, permitiría una diversificación en la matriz energética del país, fomentando la confiabilidad de las zonas con restricciones, aspecto que se aborda en el Capítulo 1 y también en el numeral 2.2 del marco teórico, dimensionando el impacto que se obtendría al ampliar la variedad de tecnologías para la generación de energía en el país.

Las ventajas de tener mejor uso de la energía potencializan la creación de este tipo de mercados, pues al tener la información más controlada y además tener dicha información en tiempo real, es posible realizar una gestión adecuada de la demanda y así mejorar las curvas de consumo de cada uno de los usuarios. En el numeral 2.3 del marco teórico se da un indicio de este aspecto y además en el desarrollo del Capítulo 7 se puede hacer explícito que estas ventajas existen y son notorias para un mercado como este y bajo esta tecnología.

El impacto se resume en la recepción que puede tener una sociedad como la colombiana, frente al tipo de mercado mayorista que se maneja actualmente. El interés es que la sociedad comprenda que este mercado bien administrado puede presentar mejoras agregándole un mercado como el P2P, brindando acciones rápidas en tiempo real como se menciona en el Capítulo 7, con un manejo de la información rápida, adecuada y oportuna, permitiendo que el impacto sea tan grande y efectivo que los usuarios logren reducir sus gastos en energía.

El mayor impacto se vería reflejado en los beneficios socioeconómicos y en la diversificación de la matriz energética para Colombia, este análisis fue desarrollado en el Capítulo 6, logrando aprovechar la mayor cantidad de recursos y logrando una reducción significativa de los costos de energía, haciendo un uso adecuado de la tecnología, permitiendo el crecimiento energético, aumentando la demanda y optimizando el uso consciente de los recursos.

#### **8.5. Trabajos futuros**

Los trabajos futuros dependen de los resultados de la prueba piloto de P2P en Colombia por parte de NEU y ERCO Energía en alianza con la EIA y EPM. En este punto se podrían plantear estudios sobre los modelos de software de simulación más pertinentes y calcular los impactos y el riesgo financiero que podría generar este tipo de mercado en el territorio nacional.

Se propone un estudio donde mediante simulaciones del mercado se evalúe si al entrar en plena capacidad el mercado minorista cómo se afectaría el mercado mayorista.

Otra alternativa de estudio futuro está asociada con el desarrollo y el impacto de un mercado P2P o del minorista en las economías de los hogares de estrato medio y bajo, para medir con indicadores su gestión de recursos, en escenarios en donde asuman el rol de prosumidores, productores y consumidores.

## Referencias

- Beltran, H. (2019). *La electricidad “peer to peer” y el papel del almacenamiento*. F2e, Fundación Para La Eficiencia Energética y El Medioambiente. <http://www.f2e.es/es/la-electricidad-peer-to-peer-y-el-papel-del-almacenamiento>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG. (2017). *CREG 121 de 2017 (Consulta)*.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas -CREG. (2019). *CREG 098-2019*.
- Comisión de Regulación de Energía Y Gas -CREG. (2007). *Esquema de Comercialización Minorista para el Sector Eléctrico*. 47.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas, C. (2018). *CREG 030 DE 2018*. [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas, C. (2020). *CREG 131 DE 2020*. 1–31.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA. (2014). *Ley 1715 de 2014*.
- De, C. (2014). *Qué es una microrred* (pp. 14–17). [https://www.enelx.com/es/faq/eindustry/Qué es una microrred](https://www.enelx.com/es/faq/eindustry/Qué%20es%20una%20microrred)
- Dinero, R. (2019). *El Banco de la República no ha dado aval a ninguna plataforma de bitcoin*. <https://www.dinero.com/pais/articulo/el-banco-de-la-republica-no-ha-dado-aval-a-ninguna-plataforma-de-bitcoin/280261>
- donalo.org. (2020). *Cómo la economía circular contribuye al coste cero de la electricidad en Alemania*. <https://donalo.org/post.php?post=188>
- Duurzame energie van Nederlandse bodem - Vandebbron*. (2019). <https://vandebron.nl/>
- EcoRegistry*. (2020). <https://www.ecoregistry.io/>
- Enerchain. (2019). *ENERGÍA DESCENTRALIZADA COMERCIALIZADA DESCENTRALMENTE*. <https://enerchain.ponton.de/index.php>
- España, J. M. (2019). *¿Puede Colombia liderar la revolución de la Energía P2P?* <https://www.ercoenergia.com.co/blog/energia-p2p>
- España, J. M. (2020). *Explorando los mercados de energía Peer-to-Peer en Colombia*. <https://medium.com/neu-energy-blog/explorando-los-mercados-de-energía-peer-to-peer-en-colombia-f3b57b8b315b>
- Gil, M. M. (2018). *Nuevos horizontes del sector eléctrico y retos para Colombia*. 1–34.
- Hincapié, J. E., & Castro, S. (2019). *Digitalización de la Energía*. <https://www.ercoenergia.com.co/blog/digitalizacion-de-la-energia>

- Hunt, S. (2002). Making Competition Work in Electricity. In *Energy Law Journal* (Vol. 23, Issue 2).
- José Manuel, M. R. (Ed. ., David, R., Cecilio, S., Miguel Ángel, S., Sergio Ayuso, Gascón Hamada, A., Sander, C., Geert, D., Eloisa, P. M., Ari, P., Tuomo, H., Konstantin, M., Juusi, H., Jianzhong, W., Chenghua, Z., & Chao, L. (2017). *Description of the implemented real test beds*. 646469, 1–75.
- Kalms, A., Usunáriz, I., Estévez, M., Sarobe, C., Aguado, M., Martín, J. M., & Gascón, S. A. (2018). *Proyecto P2P Smartest: Plataforma de simulación de intercambio de energía en redes distribuidas siguiendo el esquema P2P (Peer to peer) • SMARTGRIDSINFO*. SMARTGRIDSINFO.Es. <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/proyecto-p2p-smartest-plataforma-simulacion-intercambio-energia-redes-distribuidas-siguiendo-esquema-p2p-peer-to-peer>
- Kirschen, D., & Strbac, G. (2002). Fundamentals of power system economics, 2004. In *Wiley*. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fundamentals+of+Power+system+economics#2>
- Li, F., Zhang, Z., Xu, Y., Ahokangas, P., Kopsakangas-, M., & Porras, E. (2020). *Specification of test bed architectures and test planning*. 646469, 1–74.
- LO3 Energy. (2020). *El futuro de la energía | LO3 Pando | Blockchain, cuadrículas transaccionales, microrredes, comercio de energía | Fichas e información LO3 | LO3 Energy*. <https://lo3energy.com/>
- Lüth, A., Zepter, J. M., Crespo del Granado, P., & Egging, R. (2018). Local electricity market designs for peer-to-peer trading: The role of battery flexibility. *Applied Energy*, 229(July), 1233–1243. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.004>
- Marti, Ma. A. P., & Cárdenas, J. C. (2019). *La matriz energética de Colombia se renueva - Energía para el Futuro*. Energía Para El Futuro. <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy*, 210, 870–880. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.054>
- MME, M. D. M. Y. E. (2017). *Decreto 348 de 2017*.
- NETWORK, P. (2018). *PYLON NETWORK. The energy blockchain platform*.
- NEU. (2020). *Comercializador Inteligente de Energía*. <https://www.neu.com.co/>
- ONU. (2020). *Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos « Sistema de las Naciones Unidas en el Perú*. <https://onu.org.pe/ods-7/>

- Ortega, S., & España, J. M. (2019). *Explorando los mercados de energía Peer-to-Peer en Colombia*. <https://www.ercoenergia.com.co/blog/Explorando-los-mercados-de-energia-Peer-to-Peer-en-Colombia>
- Palomo, N. (2002). *Ley 143 de 1994*. 1994(41), 347. [http://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley\\_143\\_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e](http://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e)
- Piclo. (2019). *Building software for a smarter energy future*. <https://piclo.energy/>
- René Bastián Silva Valdés. (2019). *DESARROLLO DE APLICACIÓN BLOCKCHAIN PARA PROYECTOS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN CHILE*.
- Rochina, P. (2019). *Blockchain o Cadena de Bloques. ¿Cómo funciona el bitcoin?* Revistadigital, INESEM. <https://revistadigital.inesem.es/informatica-y-tics/blockchain/>
- Romero-Grass, A., Mach, T., Guzmán, S., Velásquez, M. A., & Zambrano, Á. (2020). *Foco 3, fase I: Descentralización y Digitalización de la Industria y la Gestión Eficiente de la Demanda*.
- Tushar, W., Saha, T. K., Yuen, C., Smith, D., & Poor, H. V. (2020). Peer-to-Peer Trading in Electricity Networks: An Overview. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(4), 3185–3200. <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2969657>
- Wikström, P. (2020). *La industria musical en una era de distribución digital | OpenMind*. Open Mind BBVA. <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/la-industria-musical-en-una-era-de-distribucion-digital/>
- XM. (2020). *SICEP, nuevo sistema para convocatorias públicas del mercado regulado de energía*. <https://pruebasportal.xm.com.co/Lists/noticias/DispForm.aspx?ID=2030&ContentTy peld=0x010060BD47A5D614E84E9E3FFDBED2A72A9C00AFB418AFE810B14F8614540433AA0FA9>
- XM S.A. E.S.P. (n.d.). *Precio transacciones*. Retrieved October 22, 2019, from <https://www.xm.com.co/Paginas/Indicadores/Transacciones/Indicador-precio-volumen-transacciones.aspx>
- XM S.A. E.S.P. (2020a). *¿Qué hacemos?* <http://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Nuestra-empresa/que-hacemos.aspx>
- XM S.A. E.S.P. (2020b). *Demanda Comercial, Real y Pérdidas*. <http://portalbissrs.xm.com.co/dmnd/Paginas/Comercial/demcom.aspx>
- XM S.A. E.S.P. (2020c). *Pronóstico de demanda*. <https://www.xm.com.co/Paginas/Consumo/pronostico-de-demanda.aspx>
- XM S.A E.P.S. (2008). *El Mercado de Energía Mayorista y su Administración*. 1–48.

Zhang, C., Wu, J., Long, C., & Cheng, M. (2017). Review of Existing Peer-to-Peer Energy Trading Projects. *Energy Procedia*, 105, 2563–2568. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.737>