



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Propuesta de una Unidad de Negocio para la Venta de Energía Eléctrica derivada de Fuentes Renovables**

**Andrés Guzmán Valencia**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Administración  
Maestría en Administración  
Palmira (Valle), Colombia  
2020



# **Propuesta de una Unidad de Negocio para la Venta de Energía Eléctrica derivada de Fuentes Renovables**

**Andrés Guzmán Valencia**

Tesis presentada como requisito para optar al título de:  
Magister en Administración

Directora:  
Ph.D. Margot Cajigas Romero

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería y Administración  
Maestría en Administración  
Palmira (Valle), Colombia  
2020



*Dedicatoria*

*A Dios,*

*Mi padre celestial, por darme la vida y los  
dones que me hacen un hombre perfecto.*

*A mis padres.*

*Por su esfuerzo y su amor incondicional. Lo  
que soy y todo lo que puedo hacer, es gracias  
a ellos.*



## **Declaración de obra original**

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Andrés Guzmán Valencia

Nombre

Fecha 16/07/2020



## **Agradecimientos**

Mis sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia, por permitirme y ayudarme a ser un integrante más de esta gran institución.

Agradamientos a los profesores de la Maestría en Administración, en especial a mi Directora Margot, por sus enseñanzas y buenos consejos durante el desarrollo del programa.

Finalmente agradecimientos fraternos a los compañeros de programa, con los que compartí muy buenos momentos, en especial a mis compañeros, Jasit, Juan Manuel, Orlando y Phanor.



## Resumen

### **Propuesta de una Unidad de Negocio para la Venta de Energía Eléctrica derivada de Fuentes Renovables**

Existe un interés mundial de las compañías dedicadas a la generación y comercialización de energía eléctrica, en producir su electricidad a partir de fuentes renovables, utilizando nuevas tecnologías amigables para el planeta. Además, el aumento de la producción de electricidad descentralizada, más el auge del pensamiento eficiente y medioambiental de los consumidores, son factores que en un futuro próximo, van afectar gravemente a estas empresas.

El tema central de este proyecto de grado tiene como objetivo principal, proponer la estructura de una nueva unidad de negocio para la venta de energía derivada de fuentes renovables. Inicialmente se ahondará en varios conceptos referentes a nuevas tecnologías, que impulsarán la transformación del sector eléctrico, como la Generación Distribuida, Energías Renovables, Smart Grid, Microrredes y Ciudades Inteligentes. Lo anterior ayudará a comprender la relación que existe entre cada uno de estos conceptos y como la tecnología BlockChain, que es objeto de estudio, facilitará su integración, para hacer que la distribución de la energía eléctrica se desarrolle con un mejor grado de eficiencia y universalidad. Desde lo teórico, las bases que sustentan este proyecto serán los desarrollos e innovaciones de modelos o unidades de negocios basados en la tecnología BlockChain, que posean un alto grado de madurez, implementados en países líderes en energías renovables.

Finalmente, se propondrá la estructura de la nueva unidad de negocio basada en tecnología BlockChain. Para su desarrollo se utilizará la plataforma Hyperledger de la empresa tecnología IBM, debido a que cuenta con una serie de ventajas para proyectos

## XII Título de la tesis o trabajo de investigación

---

corporativos de gran escala. La plataforma propuesta, se utilizará para la comercialización de energía verde en microrredes eléctricas y diferentes productos con características ambientales, en la zona de influencia de la Empresa Comercializadora de Colombia, bajo las modalidades de subastas y de igual a igual (Peer to Peer).

**Palabras clave:** Energías Renovables, BlockChain, comercialización, transacciones, unidad de negocio, Medio Ambiente.

## Abstract

### **Proposal for a Business Unit for the Sale of Electrical Energy Derived from Renewable Sources**

There is a worldwide interest from companies dedicated to the generation and commercialization of electrical energy, in producing their electricity from renewable sources, using new technologies that are friendly to the planet. In addition, the increase in decentralized electricity production, plus the boom in efficient and environmental thinking among consumers, are factors that in the near future will seriously affect these companies. The central theme of this degree project is to propose the structure of a new business unit for the sale of energy derived from renewable sources. Initially, it will delve into various concepts related to new technologies that will drive the transformation of the electricity sector, such as Distributed Generation, Renewable Energy, Smart Grid, Microgrids and Smart Cities. The above will help to understand the relationship between each of these concepts and how the BlockChain technology, which is the object of study, will facilitate their integration, in order to make the distribution of electrical energy develop with a better degree of efficiency and universality. From the theoretical point of view, the bases that support this project will be the development and innovation of models or business units based on the BlockChain technology, which have a high degree of maturity, implemented in leading countries in renewable energies.

Finally, the structure of the new business unit based on BlockChain technology will be proposed. For its development, the Hyperledger platform of IBM technology company will be used, because it has a series of advantages for large scale corporate projects. The proposed platform will be used for the commercialization of green energy in electrical microgrids and different products with environmental characteristics, in the area of influence of the Empresa Comercializadora de Colombia, under the modalities of auctions and peer to peer.

**Keywords:** Renewable energy, BlockChain, commercialization, transactions, business unit, Environment.



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XVII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del Problema</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Objetivo General</b> .....	<b>13</b>
2.1    Objetivos Específicos .....	13
<b>3. Metodología</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Marcos Referenciales</b> .....	<b>19</b>
4.1    Marco Teórico .....	19
4.1.1    Generación Distribuida.....	21
4.1.2    Energías renovables .....	24
4.1.3    Red inteligente (Smart Grid).....	27
4.1.4    Microrredes .....	30
4.1.5    Ciudades inteligentes (Smart cities) .....	33
4.1.6    Tecnología BlockChain .....	35
4.1.6.1    Ventajas de la tecnología BlockChain .....	36
4.1.6.2    ¿Cómo funciona la tecnología BlockChain? .....	40
4.1.6.3    Perspectivas y expectativas de la tecnología BlockChain .....	42
4.2    Marco Legal .....	43
4.3    Marco Contextual .....	46
4.3.1    Aplicaciones potenciales de la Tecnología BlockChain en Energías Renovables .....	51
4.3.1.1    Transparencia de activos .....	52
4.3.1.2    Gestión de activos y operaciones.....	54
4.3.1.3    Comercialización de Energía.....	57
4.3.1.4    Funcionamiento de red.....	60
4.3.1.5    Certificado para el comercio.....	63
<b>5. Resultados de la investigación</b> .....	<b>67</b>

5.1	Aplicaciones de BlockChain .....	67
5.2	Estructura actual del modelo de negocio .....	76
5.3	Propuesta de la nueva unidad de negocio para la Empresa Comercialización de Colombia.....	80
5.3.1	Segmentación del Cliente: .....	81
5.3.2	Propuesta de Valor .....	84
5.3.3	Relación con los clientes .....	87
5.3.4	Canales .....	91
5.3.5	Fuentes de Ingresos .....	94
5.3.6	Actividades Clave .....	98
5.3.7	Recursos Clave .....	99
5.3.8	Socios Clave.....	101
5.3.9	Estructura de costos .....	102
5.4	Arquitectura BlockChain para la plataforma de la nueva unidad de negocio ..	105
5.4.1	Hyperledger Fabric .....	109
5.4.1.1	Hyperledger Composer.....	111
5.5	Estructura del Sistema BlockChain propuesto para la nueva Unidad de Negocio.	112
5.5.1	Usuarios de la plataforma BlockChain .....	113
5.5.2	Funcionamiento de la plataforma de BlockChain .....	115
5.5.3	Cadena de bloques de ingreso de datos personales.....	119
5.5.4	Cadena de bloques de mercado .....	121
5.5.5	Cadena de bloques de registro de parámetros eléctricos .....	124
5.5.6	Cadena de bloques de liquidación de los pagos .....	126
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>129</b>
6.1	Conclusiones .....	129
6.2	Recomendaciones .....	130
	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>133</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Consumo final por país de Energías Renovables. ....	2
<b>Figura 1-1.</b> Matriz de Generación Eléctrica en Colombia año 2018 .....	8
<b>Figura 3-1.</b> Plantilla típica para el modelo Canvas. ....	17
<b>Figura 4-1.</b> Cadena de valor de la energía eléctrica. ....	19
<b>Figura 4-2.</b> Esquema de evolución a la Generación Distribuida.....	24
<b>Figura 4-3.</b> Esquema de una ciudad inteligente.....	29
<b>Figura 4-4.</b> Esquema conceptual de una microrred .....	31
<b>Figura 4-5.</b> Concepto de una ciudad inteligente.....	34
<b>Figura 4-6.</b> Sistema Distribuido.....	37
<b>Figura 4-7.</b> Inmutabilidad .....	38
<b>Figura 4-8.</b> Disponibilidad .....	39
<b>Figura 4-9.</b> Datos estructurados .....	39
<b>Figura 4-10.</b> Reactividad.....	40
<b>Figura 4-11.</b> Hype Cycle para BlockChain Technologies, 2019 .....	42
<b>Figura 4-12.</b> Configuración de mercado en una microrred .....	50
<b>Figura 5-1.</b> Modelo de negocio NGRcoin .....	73
<b>Figura 5-2.</b> Distribución de Generación de Energía Eléctrica del SIN .....	82
<b>Figura 5-3.</b> Matriz de Capacidad de Generación Eléctrica 2018 .....	83
<b>Figura 5-4.</b> Matriz de Capacidad de Generación Eléctrica 2022 .....	84
<b>Figura 5-5.</b> Regla de Hotelling en generación de electricidad con tecnologías de relevo	85
<b>Figura 5-6.</b> Evolución del coste final de kWh de almacenamiento en baterías de Ion-Litio .....	86
<b>Figura 5-7.</b> Mapa de oferta de energía. Fuente: elaboración propia.....	91
<b>Figura 5-8.</b> Modelo propuesto para intercambios de energía .....	95
<b>Figura 5-9.</b> Aplicaciones en energía de la tecnología BlockChain.....	106
<b>Figura 5-10.</b> Algoritmos de programación más utilizados.....	107
<b>Figura 5-11.</b> Algoritmos de consenso más utilizados .....	108
<b>Figura 5-12.</b> Estructura del sistema BlockChain Propuesto .....	113

## Lista de tablas

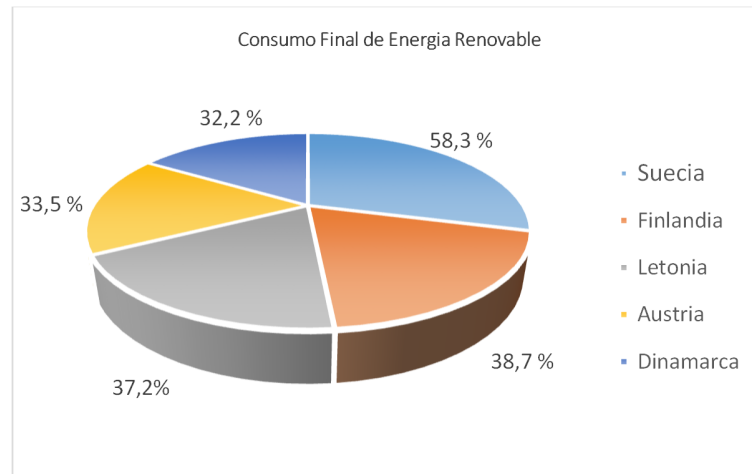
	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Síntomas causas, Pronóstico, Control del Pronóstico.....	10
<b>Tabla 4-1:</b> Comparativo de una red actual y Red Inteligente. ....	28
<b>Tabla 4-2:</b> Aplicaciones potenciales de la tecnología BlockChain.....	51
<b>Tabla 5-1:</b> Modelo Cavas, propuesto para la nueva unidad de negocio.....	80
<b>Tabla 5-2:</b> Tipos de Tokens existentes actualmente. ....	96
<b>Tabla 5-3:</b> Ingresos de la Unidad de negocio propuesta.....	102
<b>Tabla 5-4:</b> Balance económico de la unidad de negocio propuesta. ....	103

## Introducción

La energía renovable incremento en el 2017 un 8,3 % en todo el mundo, con un aumento de 167 GW respecto al año anterior, es decir, con 2.179 GW en todo el mundo. El crecimiento se sitúa en un 8,3% y está dentro del promedio evaluado en los últimos siete años según datos oficiales de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA). Cabe destacar que entre todas las fuentes sostenibles que existen a día de hoy, la energía fotovoltaica es la que predomina, con un 32% de la producción total y un crecimiento del 10% respecto al último año. Este crecimiento e interés creciente de la energía fotovoltaica es consecuencia de la reducción del precio que ha experimentado la instalación de paneles solares o kits solares. En segundo lugar se encuentra la energía eólica.

Para enero de 2018 y como se ilustra en la Figura 1, en términos de consumo final de energía eléctrica de un país, Suecia es el país donde más energía renovable se produce con un 58,3 %, seguido por Finlandia con un 38,7 %, Letonia (37,2%), Austria (33,5 %) y Dinamarca (32.2 %). En América Latina, Chile es el país que lidera con una inversión de más de USD 7.000 millones, en el desarrollo de proyectos renovables. Le siguen países como Argentina y México (Renovables Verdes, s.f., p. s/p).

Es importante mencionar que la incorporación de energías renovables en la matriz de generación de un país, representa un valor fundamental para la sostenibilidad ambiental, cuya función a largo plazo se deriva en la de preservar la especie, facilitando la creación de sociedades más inclusivas y equitativas, por el solo hecho de que la energías renovables, son libres y asequibles a cualquier persona.

**Figura 1.** Consumo final por país de Energías Renovables.

**Fuente:** elaboración propia con información de página Web [www.renovablesverdes.com](http://www.renovablesverdes.com)

Entre los beneficios sociales y económicos que se reflejan con la incorporación de las tecnologías en energías renovables, se encuentra los siguientes:

- La reducción de las emisiones de partículas que contribuyen al efecto invernadero y perjuicios a la salud humana.
- La creación de nuevos empleos especializados, relacionados con estas nuevas tecnologías.
- Ahorro de recursos y dependencia de los combustibles fósiles.
- Aumento del acceso de la energía y sostenibilidad energética.
- Reducción del precio de la energía debido a la diversificación de la matriz de generación y por la reducción de los costos de transporte de la energía. Los centros de generación estarán cerca de los potenciales consumidores.
- Disminución del gasto nacional debido a la reducción en el consumo de combustibles fósiles como el carbón, gas natural, petróleo con sus derivados.
- Ahorro de costos de inversión en infraestructuras de largas líneas de transmisión, que ya no serían necesarias.
- Los costos de operación y mantenimiento de activos para generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica serían menores, dividido a la disminución de los mismos (Barroso & Ferreiro Leyva, 2017, p. 69-90).

Así entonces, conscientes de los beneficios mencionados, diferentes países del mundo se mueven hacia la búsqueda de alternativas de generación de energía, y las compañías dedicadas a la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía no son ajenas a esa búsqueda.

Existe un interés por parte de compañías de energía eléctrica en generar electricidad a partir de fuentes alternativas renovables, utilizando nuevas tecnologías amigables para el planeta, debido a fuertes cambios en los factores económicos y ambientales. De igual manera, el cambio climático (Fenómeno del Niño y la Niña), la competitividad tecnológica entre las empresas del mismo sector y la baja remuneración del negocio actualmente establecido.

Lo anterior, propone crear nuevas unidades o modelos de negocios que permitan generar valor a las organizaciones, conservando o mejorando su posicionamiento en el mercado energético.

Por consiguiente, este proyecto tiene como propósito la formulación y evaluación de una nueva unidad de negocio, para venta de energía eléctrica derivada de fuentes renovables, que pueda ser adoptada por Empresa Comercializadora de Colombia. Todo ello, dentro de las políticas energéticas implementadas en Colombia, que abre la puerta para introducir nuevas tecnologías, haciendo que los proyectos en energías renovables sean atractivos para los clientes y rentables para los accionistas e inversores. A continuación se mencionan algunas normas en la regulación colombiana, que sustentan la política energética

La Ley No 1715, 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, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (Minenergía, s.f., s/p).

En el Decreto 348 de 2017, estableció los lineamientos para tal fin en autogeneradores a pequeña escala y con base en esto la CREG debía definir

condiciones simplificadas para esta actividad, relacionadas con la medición, la conexión, el contrato de respaldo y la entrega de excedentes y su respectiva liquidación (XM, 2017, s/p) .

Resolución CREG 121 de 2017, “por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional” (CREG, 2017, s/p).

El decreto número 0570 de 2018, “por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector de Minas y Energía, 1073 de 2015, en los relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones” (Minenergía, 2018, s/p).

Resolución CREG 030 de 2018, “mediante la cual se regulan los aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional” (CREG, 2018, s/p).

Recordemos que un modelo de negocio, es una representación abstracta de una organización, ya sea de manera textual o gráfica, de todos los conceptos relacionados, acuerdos financieros, y el portafolio central de productos o servicios que la organización ofrece y ofrecerá con base en las acciones necesarias para alcanzar las metas y objetivos estratégicos ( Al-Debei, Haddadeh, & Avison, 2008, p. 8).

Uno de los objetivos principales de la nueva unidad de negocio que se pretende proponer en este trabajo de grado, es el de general valor a la empresa con la implementación de las nuevas tecnologías para la comercialización y venta de energía derivada de fuentes renovables.

Por su parte, los cambios en el mercado debido a la globalización, pueden afectar el concepto de modelo de negocio actual y como la introducción de la innovación es un factor fundamental para aprovechar los desafíos creados por la globalización, haciendo surgir los

---

llamados Modelos de Negocios Globalizados (GBM), que ayudan a aumentar la competitividad de economías emergentes y las impulsan a estar encaminadas en las nuevas tendencias mundiales (Pedersen, Svarre, Slepnirov, & Lindgren, 2013, p. 3-4).

En el desarrollo del proyecto de grado, se abordarán unidades y modelos de negocios implementados en otros países que actualmente son potencias mundiales en generación de energías limpias, los cuales serán las bases para la implementación de otras unidades o modelos de negocios. Así pues, este proyecto aportará visiones que se pueden adaptar al ambiente y entorno social y cultural de Colombia.

En el contexto actual mundial, se están implementando estrategias para la integración de las energías renovables, que mitiguen los impactos negativos al medio ambiente, adoptando tecnologías que funcionan con fuentes renovables. Sin embargo, Colombia tiene un atraso considerable respecto a países como Alemania, Brasil, China, y países vecinos como Perú y Chile. Aunque las fuentes de generación de energías renovables diferentes a la hidráulica no han tenido un desarrollo importante en Colombia, se espera que la tendencia a nivel mundial en el uso de otras fuentes renovables impulse el desarrollo de las mismas, tanto por inversiones locales como a través de la participación de inversión extranjera. Por tal razón Colombia empezó a sumar esfuerzos, direccionados a fomentar la inversión de la empresa privada y desarrollar proyectos de gran magnitud, perfilándose para el futuro, a un mercado energéticamente sostenible.



# 1. Planteamiento del Problema

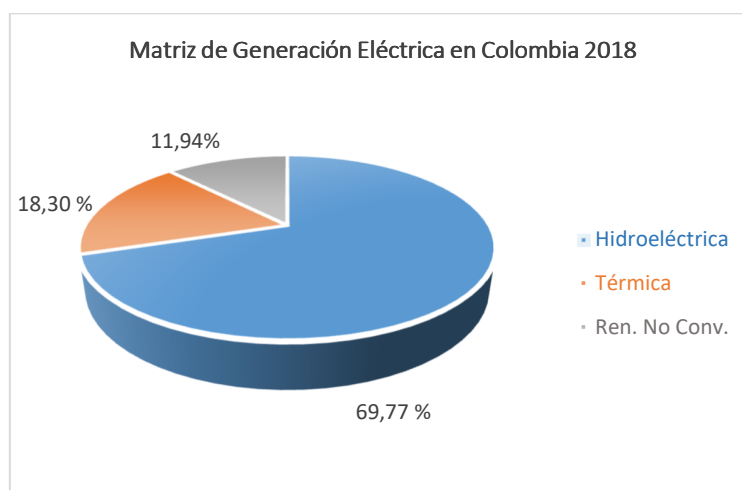
El campo de la generación y distribución de energía eléctrica, caracterizado en Colombia como un servicio público y derecho fundamental para todos los ciudadanos, ha tomado importancia la introducción de nuevas tecnologías que aprovechen fuentes de energía renovables como el sol, el viento y las olas de mar, entre otras. Lo anterior ha surgido debido a los cambios climáticos, como fenómenos naturales como “el Niño” que producen una reducción en las lluvias, lo cual es desfavorable para el parque de generación eléctrica en Colombia, que depende en un 70% del agua de los ríos y embalses, sumado a la escases de gas natural y los altos costos de combustibles líquidos que usan los generadores térmicos de electricidad, impactando negativamente en un costo mayor de la energía que consume cada colombiano.

Por su parte, la demanda de energía eléctrica en Colombia desde el año de 2001 ha venido con una tasa de crecimiento alta, que oscilan entre el 1,5% y el 4.1 % anual, para un total de demanda de energía en el 2019 de 71,925 GWh, donde creció un 4.02 % respecto al año 2018 (Asociación COCIER, 2019, s/p). Así mismo, y de acuerdo con el plan de expansión de generación 2015- 2029, en un corto plazo (2015-2020) no se observan requerimientos de generación adicional a los ya establecidos por el mecanismo del Cargo por Confiabilidad, pero en el largo plazo (2021-2029) se requerirá del aumento de la capacidad instalada de generación en donde se contempla la segunda etapa de Hidroituango con 1200 MW, adicional a 396.8 MW en energía hidroeléctrica distribuidos en los departamentos de Antioquia y Tolima con una proyección de crecimiento de 796. MW en plantas menores de generación. Teniendo como base la anterior expansión se incluirán 5790 MW en nuevos proyectos de generación hídrica y térmica, donde 1185 MW de generación térmica a base de carbón podrían ser sustituidas por la incorporación de 3131 MW de parques eólicos y 574 MW de generación renovable no convencional, específicamente geotérmica, biomasa (palma africana y bagazo de caña) y generación

solar fotovoltaica distribuida. Pudiéndose concluir que se deben hacer esfuerzos para la implementación de fuentes de energías renovables alternativas, que sustituyan las fuentes de energía a base de carbón, las cuales son altamente contaminantes (Unidad de Planeación Minero-Energética, 2015, p. 3).

Como se había mencionado, el sistema eléctrico colombiano tiene como principal componente de generación eléctrica el hídrico, que representa en la matriz de generación de un 69,77 % contra un 18,30% en energía térmica y un 11,94 % en otras tecnologías como las renovables no convencionales. Una de las primeras y principales iniciativas se encuentra la del parque eólico Jepirachi, ubicado en la Guajira y puesto en servicio en el 2004, el cual durante los primeros 15 meses inyectó a la red unos 70GWh (Asociación COCIER, 2019, s/p).

**Figura 1-1.** Matriz de Generación Eléctrica en Colombia año 2018



**Fuente:** elaboración propia con información del artículo “Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía “

Otra iniciativa la tiene la Empresa Comercializadora de Colombia, con la construcción de la más grande Granja Solar de Colombia; un proyecto de 9,9 MVA, conformado por 35 mil paneles solares en 18 hectáreas del municipio de Yumbo, Valle de Cauca, que generó aproximadamente 16 GWh en el año 2016. La generación de energía eléctrica, vista como pilar del desarrollo económico del país, se ha puesto en riesgo, por los últimos avisos de racionamiento que se presentaron a finales de 2015 e inicios de 2016, ha hecho que el

estado Colombiano implemente políticas que favorezcan a la introducción de las nuevas tecnologías para la generación de energía limpia.

Entre las nuevas tecnologías de generación renovables no convencional se encuentran las derivadas de la energía solar, como la Fotovoltaica y Termoeléctrica. La energía fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar con ayuda de elementos denominados paneles fotovoltaicos. La Energía termoeléctrica por el contrario aprovecha las altas temperaturas que se pueden generar, concentrando la luz solar en un solo punto específico, donde se produce vapor de agua y este a su vez sirve para mover turbinas y generadores eléctricos. Otras de las tecnologías con mayor desarrollo en mundo es la energía eólica, que aprovecha los vientos para mover grandes rotores que están acoplados a generadores eléctricos. Estos generadores eólicos pueden ser ubicados tanto en tierra o en el mar donde las corrientes de viento son los suficientemente fuertes y estables.

Las tecnologías como la mareomotriz, geotérmica en Colombia, aunque no tendrán un mayor desarrollo a corto y mediano plazo, por el elevado costo de su implementación, es de vital importancia que se desarrollen estudios más especializados, debido al potencial que se tiene por estas rodeados de dos mares y por tener “una posición geográfica privilegiada y una geología favorable, dado que parte del territorio se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, zona donde la gradiente de temperatura natural del subsuelo, cerca de la superficie, es normalmente alto y se manifiesta con la actividad volcánica actual” (Marzolf, 2014, p. 9). Introducir estas nuevas tecnologías y hacer que los proyectos sean rentables por los altos costos que en la actualidad aún representan, es el mayor reto para las empresas de energía eléctrica en Colombia y el mundo. La Empresa Comercializadora de Colombia, siendo la primera empresa de servicios públicos que ha iniciado proyectos de gran envergadura en Colombia, con la instalación de paneles solares sobre grandes superficies, suministrando energía a otras empresas (clientes). Esta empresa tiene como primer modelo de negocio los contratos PPAs, acrónimo de Power Purchase Agreement (En español, acuerdo de venta de energía), el cual es un contrato de venta de energía a cinco o más años, en el cual se ofrecen proyectos de granjas solares fotovoltaicas montados dentro de áreas acordadas, en las instalaciones del mismo cliente. La Empresa de Comercializadora de Colombia incurrirá con todos los gastos que implican

el montaje y puesta en servicio a cambio de un contrato de compra de energía por determinado tiempo y valor, hasta lograr la recuperación de la inversión total.

En la tabla 1, muestra el resumen donde se plantean los síntomas, causas, pronóstico y control del problema a desarrollar en el Proyecto de Grado.

**Tabla 1-1:** Síntomas causas, Pronóstico, Control del Pronóstico.

1. SINTOMAS	2. CAUSAS	3. PRONOSTICO	4. CONTROL DEL PRONOSTCO
Poca aceptación para la incorporación de nuevas tecnologías de energías renovables.	Desconocimiento de las nuevas tecnologías para generar a partir de fuentes renovables.	Pérdida de clientes.	Es necesario implementar nuevas unidades u modelos de negocio y tecnología en generación de energía eléctrica derivadas de fuentes renovables.
Degradación del Medio Ambiente, por los usos de fuentes de energía NO renovables.	Uso de las fuentes no renovables.	Obligará a realizar cortes de personal.	
Altos costos de la energía en determinados años, por el uso de combustibles líquidos para la generación de energía eléctrica.	Poca diversificación de la matriz de generación de energía eléctrica.	El posicionamiento de la empresa en el sector eléctrico decaerá drásticamente.	
Racionamientos de Energía Eléctrica, por déficit de lluvias y elevados costos de los combustibles líquidos.			

**Fuente:** elaboración propia.

**Pregunta base de la investigación:**

¿Cómo debe estar estructurada una propuesta de unidad de negocio para la venta de energía eléctrica derivada de fuentes renovables?

Adicionalmente es necesario responder a las siguientes preguntas adicionales:

- ¿Cómo son las unidades de negocios que han sido implementados en otros países que están a la vanguardia de las tecnologías de generación de energía limpia?
- ¿Cuál es la estructura de las diferentes unidades de negocio con que cuenta una de las empresas líder del sector, la Empresa Comercializadora de Colombia?



## **2. Objetivo General**

Proponer una estructura de una unidad de negocio para la venta de energía eléctrica derivada de fuentes renovables que se pueda ser adoptada en Empresa Comercializadora de Colombia<sup>1</sup>.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Analizar las unidades de negocios que han sido implementados en otros países que están a la vanguardia de las tecnologías de generación de energía limpia.
- Estudiar la estructura de las diferentes unidades de negocio con que cuenta una de las empresas líder del sector en el área de comercialización de energía eléctrica, específicamente la Empresa Comercializadora de Colombia.

---

<sup>1</sup> Para efectos de la confiabilidad de la información la empresa para la cual se desarrolla la propuesta de negocio, se ha cambiado el nombre por Empresa Comercializadora de Colombia.



### **3. Metodología**

Desde lo teórico las bases que sustentan este proyecto, serán los desarrollos e innovaciones de Modelos o Unidades de negocios que posean un alto grado de madurez, implementados en países líderes en Energías Renovables, como China, Alemania, Japón y Dinamarca. Se tomarán como referencia, publicaciones de autores de alta citación y con un impacto significativo, en el desarrollo de proyectos aplicados a empresas del sector energético.

El trabajo es de tipo descriptivo, ya que busca describir el funcionamiento y operación de las unidades o modelos de negocios que actualmente se encuentran implementadas en el mundo. Además de utilizar técnicas de carácter mixto, ya que involucra datos cualitativos y cuantitativos.

Para recolectar la información, se hace uso de fuentes primarias y secundarias: de tipo documental, haciendo una exploración de artículos, tesis y revistas de fecha reciente, de bases de datos confiables como Scopus, Web Of Science, Google Académico, cuya temática se focalice en las nuevas tendencias y desarrollos tecnológicos en generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Al igual de investigar y comprender modelos de negocios que estén implementados o estén por aplicarse en países líderes en el sector de energías renovables. Se estudiará la regulación actual e iniciativas futuras, impartida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), para que las ideas resultantes de la investigación se adapten al entorno colombiano.

De acuerdo con los objetivos planteados, se prevé que serán utilizados los métodos básicos: inductivo, deductivo, comparativo, cuantitativo y cualitativo. El método comparativo permitirá contrastar sistemas eléctricos y regulatorios de otros países con el de Colombia, países que tienen un gran avance en la implantación de modelos de negocios

derivados de la utilización de fuentes renovables para producción y comercialización de energía eléctrica. Los métodos cuantitativos y cualitativos de carácter deductivo que permitirán evaluar y adaptar modelos de negocios analizados, al entorno económico y cultural de Colombia, de carácter aplicado, puesto que se encontrarán nuevas estrategias para el sector energético, que pueden ser implementadas como modelos o unidades de negocio.

Se estudiarán los modelos de negocios actuales que tiene implementados la Empresa Comercializadora de Colombia, mediante entrevistas a las personas que participaron en la planeación e implementación, para conocer su estructura, los inconvenientes o lecciones aprendidas que se presentaron durante sus planteamientos, lo que generará aportes confiables para el buen desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo de la unidad de negocio para la Empresa Comercializadora de Colombia, se utilizará el método de Modelo Canvas de Osterwalder, propuesto por Alexander Osterwalder en el año de 2008, el cual ayudará a generar la plantilla de gestión estratégica de la nueva unidad de negocio y documentar los ya existentes.

Las etapas de implementación del modelo Canvas de Osterwalder son las siguientes:

- Visualizar el modelo: consiste en describir un modelo de negocio existente o formular uno nuevo.
- Evaluar: consiste en cuestionar el modelo, evaluar fortalezas y debilidades del mismo.
- Innovar: ejercicios de co-creación con grupos de personas, como tormenta de ideas sobre mejoras y oportunidades, desarrollo de prototipos, entre otros.
- Planear: consiste en estructurar un proyecto para materializar el modelo de negocio diseñado.
- Comunicar e implementar: se debe refrendar la decisión de ejecutarlo por parte de la gerencia a fin de garantizar la asignación oportuna de los recursos.

El modelo Canvas es un esquema visual, con nueve (9) cuadros unidos, en los que se deben describir cómo se va a llevar a cabo cada acción específica, que nos va a permitir conformar la estructura de la idea de negocio. Es un sencillo lienzo se presenta

como una plantilla para poder desarrollar la Gestión Estratégica, en momentos claves como la creación de un modelo de negocio, o cuando sea necesaria su reestructuración (Polo Moya, 2019, s/p).

En la Figura 3-1, se presenta una plantilla típica con los nueve planteamientos que se deben desarrollar, para una buena estructuración del modelo o unidad de negocio.

**Figura 3-1.** Plantilla típica para el modelo Canvas.



Fuente: página de internet, <https://www.emprender-facil.com/modelo-canvas/>



## 4. Marcos Referenciales

### 4.1 Marco Teórico

La transformación del sector eléctrico, diseñada para una producción sostenible basada en energías renovables, va a cambiar la estructura de la industria, como se aprecia en la Figura 4-1. En consecuencia, las empresas prestadoras de servicios públicos, principales interesadas en esta transformación se enfrentarán a nuevos desafíos en su forma de hacer negocios. A continuación, se describen dos tipos de modelos de negocios, que los gerentes pueden emplear para dirigir sus empresas: “los modelos de negocios basados en la utilidad, o modelos de negocios del lado del cliente. El primero se enfoca en la creación de un pequeño número de proyectos de gran dimensión, el segundo en un gran número de proyectos pequeños” (Richter, 2012, p. 4). Si las empresas de verdad quieren un cambio que les permitan afrontar los retos actuales y futuros, es de gran importancia que empiecen a optar por los negocios del lado del cliente, en busca de un futuro sostenible.

**Figura 4-1.** Cadena de valor de la energía eléctrica.



**Fuente:** elaboración propia con información del artículo “Utilities business models for renewable energy A\_review “

En la actualidad las empresas en general deben evolucionar y promover fuentes integrales de energía que les permitan reducir sus costos de consumo, para conseguir nuevas

fuentes de ingresos. Estas nuevas soluciones y servicios energéticos podrían basarse en la energía distribuida renovable, eficiencia energética o nuevas tecnologías como las redes inteligentes y gestión de la demanda (Richter, 2012, p. 4).

Una de las opciones de las tecnologías más eficientes en el momento, es la generación de energía a través de la ayuda del viento. La energía eólica se ha utilizado desde la antigüedad para la molienda de los granos, los barcos de vela y el bombeo de agua para el riego de cultivos. En la actualidad la energía eólica es la tecnología que tiene más capacidad instalada alrededor del mundo. Durante la última década se ha visto un crecimiento anual promedio de 30% de la capacidad de energía eólica instalada y varios países europeos están obteniendo un 10% o más de electricidad a partir de la energía eólica.

Por otra parte, la generación de electricidad distribuida está ganando cada vez mayor interés en la investigación para resolver problemas actuales del servicio eléctrico y el costo de la energía. Una de las ventajas de mayor relevancia de la generación distribuida, es que las centrales de generación por ser de tamaño reducido se pueden instalar en lugares cercanos al consumidor y permiten la interconexión en cualquier punto del sistema de energía.

Partiendo de la premisa del significado del modelo de negocio, el cual se define como la lógica de cómo se crea una organización, entrega y captura valor a los clientes, se debe actualizar ciertos procesos internos cada cierto periodo, para ir de la mano de cambio tecnológico y los gustos cambiantes de los clientes.

Recordemos que un modelo o unidad de negocio está basado en cuatro elementos: la propuesta de valor, el servicio al cliente, la infraestructura y el modelo de ingresos. La propuesta de valor, se refiere al conjunto de productos y servicios que crea valor para el cliente y permite a la empresa obtener ingresos. El servicio al cliente, comprende la interacción general con el cliente que se compone de las formas de relación con los clientes, los segmentos de los clientes y los canales de distribución. La infraestructura describe la arquitectura de la empresa, el proceso de creación de valor, donde se incluyen los activos, información y conocimiento. Los modelos de ingresos representan la relación que existe entre los costos asociados para generar la propuesta de valor y los ingresos

que se captan, una vez la propuesta de valor se ofrece a los clientes (Daim, Amer, & Brenden, 2011).

Debido al aumento de la producción de electricidad descentralizada con energías renovables, más el auge del pensamiento eficiente y medioambiental de los consumidores, como es el caso del uso cada vez más fuerte de vehículos eléctricos, las empresas generadoras y comercializadoras de energía eléctrica, se va a afectar gravemente. Para hacer frente a estos cambios y para garantizar el funcionamiento eficaz de la red eléctrica, las empresas de energía están implementando las llamadas redes inteligentes para la distribución de energía, es decir, redes en las cuales se integran tecnologías de información y las comunicaciones. Actualmente existen una gran variedad de tecnologías que se pueden implementar para desarrollar una red inteligente, como son los contadores inteligentes e infraestructura avanzada de medición (Floortje Alkemade, 2015). Con el ánimo de desarrollar esta tecnología, la Empresa Comercializadora de Colombia inicio un proyecto piloto en un barrio de ciudad de Palmira, Valle del Cauca, donde se implementaron medidores de energía con una tecnología llamada AMI, la cual es un sistema con medidores inteligentes, gestionado centralmente, para la toma y envío de información, con capacidad de desconexión automática de la carga.

A continuación, se ahondará en varios conceptos mencionados anteriormente en este documento, como la Generación Distribuida, Energías Renovables, Smart Grid, Microrredes y Ciudades Inteligentes. Lo anterior ayudará a comprender la relación que existe entre cada uno de estos conceptos y como la tecnología BlockChain, que es objeto de estudio y aplicación en este trabajo de grado, facilitará su integración, para hacer que la distribución de la energía eléctrica se desarrolle con un mejor grado de eficiencia y universalidad.

#### **4.1.1 Generación Distribuida**

En generación de energía eléctrica, los modelos productivos han cambiado con el tiempo, donde podemos encontrar dos principales clasificaciones, la generación centralizada y la generación distribuida. Se iniciará explicando el modelo clásico de generación centralizada, que actualmente impera y es la base de producción energética más empleado.

La generación centralizada se refiere la producción de energía eléctrica en grandes cantidades (MWh), en centrales de gran tamaño (elevada potencia), normalmente alejadas de los núcleos de consumo. Para transportar y distribuir la energía producida a los consumidores, es necesario la construcción de líneas eléctricas de alta tensión (500, 220 y 115 kV) y media tensión (34.5 y 13.2 kV). Esta generación es comúnmente conocida como convencional, se alimentan generalmente de combustibles fósiles como el carbón, gas natural, fueloil, o combustible nuclear. A continuación, se presentan algunas de las características principales:

- Con excepción de las que se alimentan con energía nuclear y las grandes centrales hidroeléctricas, las demás son consideradas como generación contaminante, con emisión a la atmosfera de gases de efecto invernadero. Algunas de las razones por la cual este tipo de generación normalmente es ubicado en sitios alejados de los centros de consumo pueden ser las siguientes:
- La energía primaria que sirve como combustible para la central de generación se encuentra alejada de la demanda, siendo el factor para su localización: como es el caso de las grandes centrales hidroeléctricas y las centrales de combustión, cuyo combustible es el carbón o combustible nuclear.
- Existen condiciones medioambientales que exigen ubicar las centrales a cierta distancia de los núcleos de población: emisiones, ruidos, riegos industriales. Por motivos de seguridad, como, por ejemplo, en el caso de las centrales nucleares.

Una vez dado una explicación de la generación centralizada, se dará una definición a generación distribuida, de acuerdo a varias organizaciones internacionales de energía:

- Según del Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE) “Generación distribuida es el término utilizado cuando la electricidad se genera a partir de fuentes, a menudo fuentes de energía renovables, cerca del punto de uso en lugar de fuentes de generación centralizadas de plantas de energía” (DOE, s.f., s/p).
- “El concejo internacional sobre Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE) define la generación distribuida como, todos los generadores con capacidad máxima entre 50 MW a 100 MW, conectados al sistema eléctrico de distribución, y que no están diseñados ni despachados de forma centralizada” (Mateu, 12, s/p).

- “El IEA (International Energy Agency) considera como Generación Distribuida, únicamente a la energía que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, microturbinas eólicas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica” (CPS, s.f., s/p).

La generación distribuida se define en forma general, como una modalidad de generación eléctrica compuesta por un conjunto de unidades de generación eléctrica de pequeña potencia, ubicados cerca del lugar de consumo y conectadas directamente a la red de distribución, de forma que la energía puede ser inyectada directamente en la red ya que ésta se genera a la tensión de distribución.

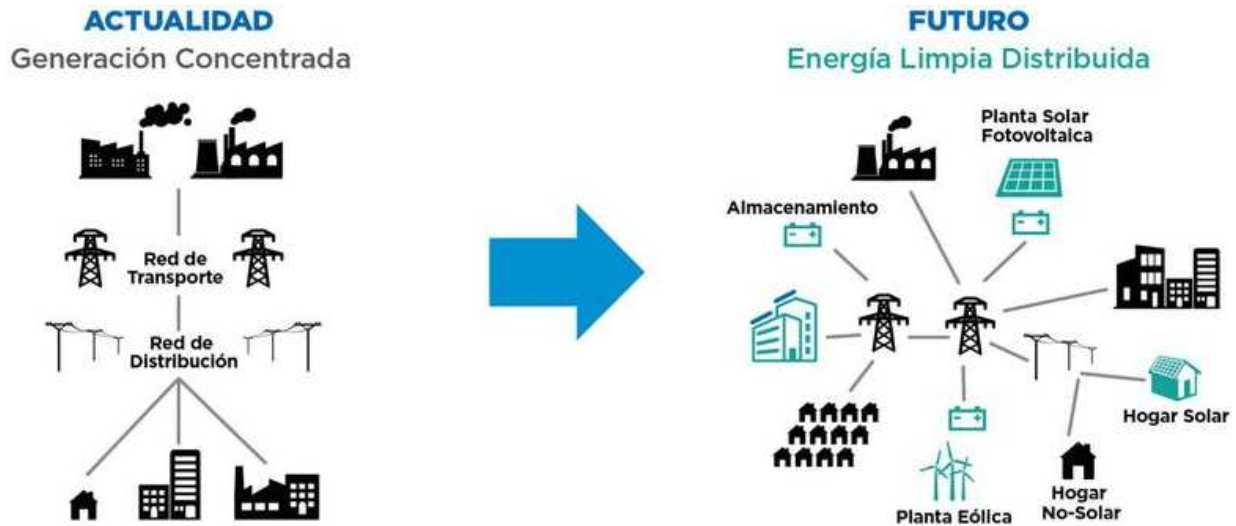
Para el caso colombiano, con la aprobación en el año 2014 de la Ley 1715, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, se define el concepto del término Generación Distribuida (GD) como:

- Es la producción de energía eléctrica, cerca de los centros de consumo, conectada a un Sistema de Distribución Local (SDL). La capacidad de la generación distribuida se definirá en función de la capacidad del sistema en donde se va a conectar, según los términos del código de conexión y las demás disposiciones que la CREG defina para tal fin (Mieneregía, 2014, p. 5).

Se puede evidenciar que el concepto de generación distribuida es muy diferente al de autogeneración y al ser una actividad de generación de energía destinada a usuarios de consumo, tal servicio solo podrá ser desarrollado por un agente generador, constituido como Empresa de Servicios Públicos (ESP). Por tal motivo, es incorrecto bajo las definiciones contenidas en la legislación colombiana, referirse al concepto de generación distribuida y autogeneración como sinónimos o similares, ya que cada uno tiene un tratamiento legal y regulatorio diferenciado.

En la Figura 4-2, se puede apreciar gráficamente las diferencias de la generación convencional y la distribuida. Es notable que la generación convencional tiene pocos participantes, y es por eso que en la generación distribuida, se introduce el concepto de liberación del mercado, donde más participantes pueden tomar decisiones relacionadas al proceso de la energía.

**Figura 4-2.** Esquema de evolución a la Generación Distribuida



Fuente: página de internet <https://slideplayer.es/slide/15736453/>

En el caso de la generación distribuida, la energía será remunerada según los beneficios que brinde al sistema de distribución al cual se conecte, como las pérdidas de energía que se evitan por las cortas distancias que hay entre el punto de generación y los centros de consumo, y la mayor disponibilidad de energía reactiva cuando se requiera.

Para el caso concreto colombiano, la Resolución CREG 030 de 2018, define al generador distribuido así: “Persona jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al Sistema de Distribución Local (SDL) y con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW” (CREG, 2018, s/p). Lo anterior sustenta aún más la teoría que dice que un generador solo podrá ser considerado distribuido, en la medida que este se constituya como una empresa, formalizándose jurídicamente frente a las entidades regulatorias de comercio del país (Vidal Hernández, 2019, s/p).

#### 4.1.2 Energías renovables

En lo relativo a la energía renovable, podemos afirmar que todo tipo de generación renovable puede ser considerada generación distribuida, a pesar de que en algunos casos se encuentre no demasiado cerca de los núcleos urbanos donde se encuentra la demanda,

pero está sujeta a los límites de las regulaciones energéticas de cada país, que, en el caso de Colombia, los límites en potencia son inferiores o iguales 0,1 MW.

Toda energía que provenga de una fuente o recurso natural que en cierta forma sea inagotable, puede catalogarse como energía renovable. Los tres grandes tipos de energía renovable que existen en función de la energía que suministra, son la energía térmica, energía eléctrica y biocarburantes, este último principalmente utilizado en vehículos de combustión interna (APPA, 2018, p. s/p).







Entre las diferentes fuentes naturales que se utilizan para la generación de energía renovable se encuentran las siguientes:

- Hidráulica.
- Eólica.
- Solar Fotovoltaica.
- Solar Termoeléctrica.
- Solar Térmica.
- Geotérmica de Baja Entalpía.
- Geotérmica de Alta Entalpía.
- Minieólica.
- Eólica.
- Marina.
- Biomasa.
- Biocarburantes.

Una característica principal de las energías renovables tiene que ver que el recurso de la fuente de energía, se pueden conseguir en la misma zona de influencia, lo que contribuye a la disminución de la dependencia de suministros de otras regiones. Por ejemplo, en una zona que tenga alto índice de radiación solar, la tecnología que predomina es la generación fotovoltaica, por tanto, se puede decir que este recurso es prácticamente ilimitado. Además, por ser una fuente local, los costos de producción de energía son menores, favoreciendo al aumento del empleo y desarrollo de nuevas tecnologías (APPA, 2018, s/p).

Otra característica importante de las energías renovables que se utilizan para la generación de energía es la capacidad que tienen en regenerarse de manera natural. Esta regeneración en gran parte es gracias a la energía del sol, que actúa en el planeta de diferentes maneras, por ejemplo, hace posible los ciclos del agua y el origen de los vientos. Una de las aplicaciones más antiguas, es la utilización de los vientos para mover molinos de viento, utilizados en el bombeo de agua o procesos de agricultura. La utilización del viento en la navegación a vela, hizo posible la expansión del comercio y la transmisión de tecnologías y conocimiento (APPA, 2018, s/p).

Con la aparición de los combustibles fósiles, la energía nuclear y las grandes represas para la generación hidráulica, las aplicaciones para generar energía como las que usan el viento, quedaron relegadas durante un tiempo prolongado. Recientemente con el riesgo del agotamiento del suministro de los combustibles fósiles, los efectos negativos de los residuos nucleares y una creciente conciencia de las personas por el cuidado del medio ambiente se han incrementado los desarrollos tecnológicos en energías renovables, minimizando los costos de instalación y producción de energía. Lo anterior ha ayudado a disminuir las desventajas que se tenían frente la generación de energía convencional, por ejemplo, su elevado costo y la dependencia de fuentes de energías constantes (APPA, 2018, s/p). A continuación, se lista un comparativo, detallando las principales ventajas que tienen las renovables frente a las convencionales.

<b>RENOVABLES</b>		<b>CONVECIONALES</b>
Ilimitadas		Limitadas
Limpias		Contaminan
Sin residuos		Generan residuos
Autóctonas		Provocan dependencia exterior
Equilibran desajustes interterritoriales		Utilizan tecnología o recursos importados

Para enfatizar en las ventajas sociales y económicas de las energías renovables que son por lo general son menos conocidas, se listan a continuación:

- Las fuentes de energía que se utilizan en producción de energías renovables son las que se encuentran fácilmente y en abundancia en la zona de influencia, que por lo general están disponibles casi en todo el planeta. Lo anterior permite eliminar la

dependencia de distribuidores externos, que representan un sobre costo en la producción de energía.

- La generación de empleo en generación con tecnologías renovables, crean en promedio cinco veces más vacantes en relación que la generación convencional.
- Eliminan la dependencia que tienen las zonas rurales que están muy alejadas a los centros urbanos y masivos de consumo o en ocasión zonas no interconectadas a la red principal. (APPA, 2018, s/p).

### **4.1.3 Red inteligente (Smart Grid)**

Según el centro de iniciativas de políticas energéticas de Estados Unidos (EPIC) afirma que:

En una Smart Grid o Red inteligente se genera y distribuye electricidad de una forma más efectiva, económica, segura y en forma sostenible, donde se incorporan nuevas tecnologías, productos y servicios, de generación, transmisión y distribución, hasta el consumidor final, por ejemplo, utilizando tecnologías avanzadas de sensores, comunicaciones y tecnologías de control (Parra L., 2015, p. 26).

Una Red inteligente se caracteriza principalmente por tener flujos de energía bidireccionales, lo que obliga a disponer por parte de los usuarios contadores de nueva tecnología, capaces de leer energía tanto de consumo y de aporte a la red de distribución. Estos contadores son llamados Contadores Inteligentes, que brindan tanto al operador de red (OR) y al usuario, suficiente información para operar de una manera eficiente y ágil la energía por parte del OR y convertir al usuario pasivo a un usuario activo, que pueda tomar sus propias decisiones respecto a la energía que consume y genera.

En una Red inteligente se utilizan tecnologías de alto desarrollo, haciendo uso de fuentes renovables para generación de energía de un área específica, como micro-generación eólica, hídrica, térmica y solar y centros de almacenamiento de energía, donde el pilar fundamental lo define el hecho de que todas las tecnologías usadas se encuentren interconectadas con sistemas avanzados de tecnologías de la información.

La implementación de una Red inteligente maximiza la gestión de la energía, logrando altos estándares de eficiencia al responder rápidamente ante fallos de la Red eléctrica, llegando a la mínima pérdida del suministro de energía a los usuarios. Administra ágilmente los activos de generación locales manteniendo un balance energético adecuado. La Red Inteligente soportará la revolución 4.0, donde encuentran tecnologías, como la comunicación 5G y la internet de las cosas. A continuación, se mostrará un comparativo entre la red convencional o actual y la red inteligente, detallando sus principales características (CENER, s.f., s/p).

**Tabla 4-1:** Comparativo de una red actual y Red Inteligente.

<b>RED ACTUAL</b>	<b>RED INTELIGENTE</b>
Flujo de potencia Unidireccional	Flujo de potencia bidireccional
Comunicación unidireccional	Comunicación bidireccional
Sensores limitados	Sensores en todo el sistema
Monitoreo limitado	Amplio monitoreo
Restauración manual	Restauración automática e inteligente
Supervisión semiautomática o manual	Supervisión remota
Control limitado	Control avanzado
Consumidor pasivo	Bastantes opciones del consumidor

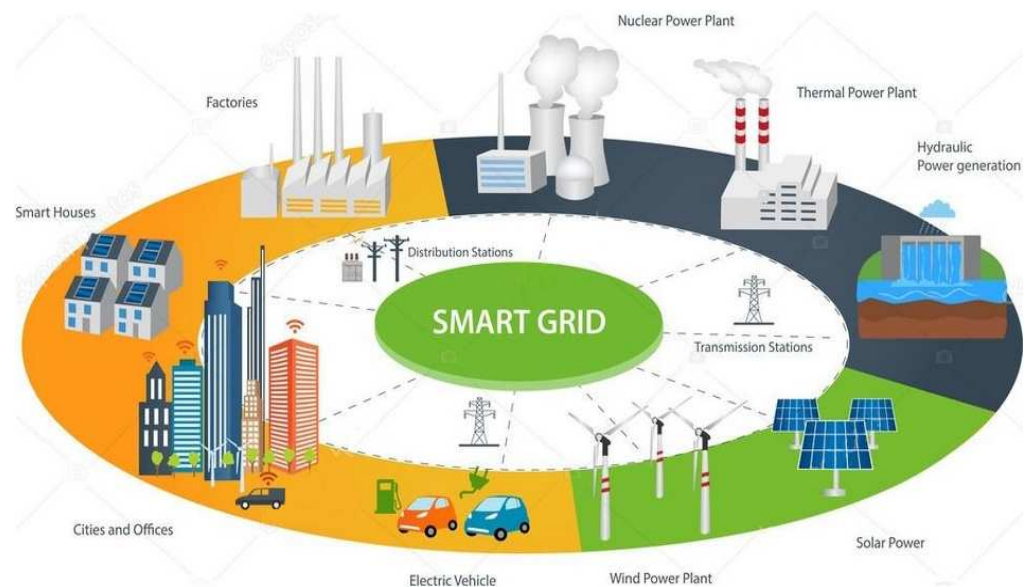
**Fuente:** página Web, <http://www.cener.com/introduccion-a-las-microrredes>.

Ampliando en mayor grado los beneficios de una Red inteligente, con respecto de la convencional, se listan a continuación los siguientes:

- Incremento de uso de nuevas tecnologías en almacenamiento de energía, que permite aplanar la curva de carga suministrada por el operador de red, durante un periodo determinado.
- Permite al operador de red, optimizar de manera eficiente todos los recursos de generación distribuida disponible, especialmente de tipo renovable.
- Contribuye al impulso de nuevas tecnologías avanzadas en comunicaciones, siendo estas la base de la interconexión de los activos de generación y usuarios, logrando una alta eficiencia en la gestión de la información.
- Permite que los usuarios que siempre habían sido pasivos se conviertan en usuarios activos, que participan en la gestión de su energía.
- Difusión de otras tecnologías como medición inteligente, automatización de la distribución e internet de las cosas (IoT), necesarias para la implementación de la Red Inteligente.
- Disminución de los cortes de energía y respuesta oportuna ante fallos en la red de energía (CENER, s.f., s/p).

Los anteriores beneficios y características se pueden apreciar en la Figura 4-3.

**Figura 4-3.** Esquema de una ciudad inteligente.



**Fuente:** página de internet. <https://javiermarques.es/smartgrid> Microrredes.

#### **4.1.4 Microrredes**

El Centro Nacional de Energías Renovables de España (CENER) define la microrred como:

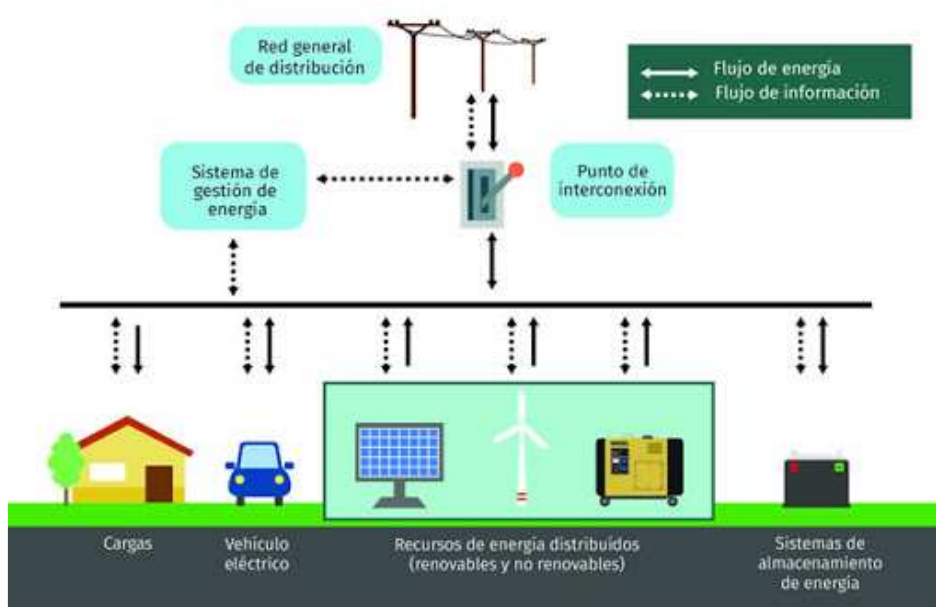
Una agregación de cargas y microgeneradores operando como un sistema único, que provee tanto energía eléctrica como energía térmica. Una definición más exhaustiva es la que se da dentro del proyecto Microgrids del VI Programa Marco: Las microrredes comprenden sistemas de distribución en baja tensión, junto con fuentes de generación distribuida, así como dispositivos de almacenamiento. La microrred puede ser operada tanto en modo no autónomo, como autónomo (CENER, s.f., s/p).

Según lo anterior, una microrred se puede definir como una Red Inteligente que gestiona usuarios y pequeños generadores de una zona delimitada, que por lo general son generadores renovables.

Una microrred se puede considerar como una pequeña área, donde conviven diferentes usuarios y microgeneradores de tipo solar, eólico, bancos de baterías, autos eléctricos, que se conectan a la red principal de distribución mediante un interruptor de potencia ubicado en el punto de conexión, el cual es controlado por el centro de control del operador de red (OR). Esta microrred puede funcionar en modo desconectado o conectado, de acuerdo al estado abierto a cerrado del interruptor de potencia. Cuando el interruptor de potencia está cerrado (modo conectado), la microrred deberá tener la capacidad de suministrar energía a la red principal para compensar fallas temporales en el sistema, sin que ningún usuario interno de la microrred se vea afectado, por ejemplo, los autos eléctricos que estén cargando, o los bancos de baterías pueden suministrar su energía almacenada muy rápidamente. También cuando el interruptor de potencia en el punto de conexión se encuentre abierto (modo desconectado o en isla), la microrred debe tener la capacidad de brindar el servicio de energía a sus usuarios durante un tiempo, hasta que la red principal se restablezca totalmente. Con la implementación de microrredes en una red de distribución, se maximiza el uso de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales (CENER, s.f., s/p).

En la Figura 4-4, se aprecia un esquema conceptual de una microrred, donde hay varios usuarios conectados a la red de baja tensión, y tienen la particularidad de ser algunos consumidores, otros netamente generadores y otros la combinación de ambos, por ejemplo, el banco de baterías, que algunas veces puede entregar energía y otras consumir. Este pequeño núcleo de generación y consumo tiene como objetivo general, autoabastecerse de energía, lo cual supondría poder funcionar en modo desconectado de la red. Sin embargo, por confiabilidad de suministro de la energía, se recomienda disponer de un punto de conexión a la red principal.

**Figura 4-4.** Esquema conceptual de una microrred



**Fuente:** Página de internet <http://transicionenergetica.ineel.mx/Revista.mvc/CD3n1v1>

Como se aprecia en la figura 4.4, una microrred se compone principalmente de los siguientes elementos:

- Un punto de interconexión con la red principal.
- Una red de distribución en baja tensión, a la cual se conectan todos los usuarios o cargas, todos los microgeneradores, autos eléctricos y bancos de baterías.
- Una red de comunicaciones local.

- Contadores inteligentes bidireccionales con funciones de control de carga.
- Un sistema de control y gestión de las cargas y los microgeneradores.
- Microgeneradores eólicos y solar, sistemas de almacenamiento de energía y cargas inteligentes, que se pueden comportar en un momento dado como generadores.
- Movilidad eléctrica con un sistema de supercargadores.

Como se mencionó anteriormente, en una microrred existen diferentes elementos que la componen, como fuentes de generación, sistemas de almacenamiento de energía, usuarios que puede ser residenciales, comerciales o industriales, los cuales representan las cargas para la microrred. Cada uno de estos elementos posee un sistema de control propio, el cual debe ser gestionado y controlado por un sistema de control general de la microrred. Existen dos modos de funcionamiento de la microrred, que depende del interruptor de potencia ubicado en el punto de conexión. El primer modo es cuando está conectada a la red principal y el segundo modo resulta cuando el interruptor de potencia se abre y la microrred queda en modo isla (CENER, s.f., s/p).

En el modo conectado, la red de distribución principal suministra la referencia de tensión y frecuencia a todos los microgeneradores de la microrred, para que estos no pierdan sincronismo y no surjan problemas de estabilidad. El centro de control de la microrred funciona como un gestor del mercado encargándose de realizar el despacho económico de la generación hacia la red principal, teniendo en cuenta las ofertas de los microgeneradores, precios del mercado eléctrico y las ofertas de los usuarios consumidores, clasificándolos en alta y baja prioridad. Además de hacer el despacho económico de generación, el centro de control de la microrred se encarga de dar las directrices a los sistemas de control local de los microgeneradores, bancos de baterías y cargas inteligentes, para que generen potencia reactiva o activa, y se ejecute un deslastre de carga de acuerdo con la necesidad de sistema y el despacho económico previamente ejecutado. El centro de control debe tener presente que todas las acciones tomadas no incumplan las restricciones de la red principal, sin llegar a producir perturbaciones (CENER, s.f., s/p).

En el modo isla o desconectado de la red principal, la microrred pierde la referencia de tensión y frecuencia que permite dar estabilidad a la generación. Los sistemas de control de los diferentes microgeneradores por si solos, no son capaces de compensar estos desequilibrios entre la generación y el consumo de una forma rápida en el justo momento que la microrred se desconecta de la red principal, lo que causaría un deslastre de carga, dejando sin servicio a varios usuarios. Para compensar el anterior problema, la microrred dispone de los bancos de baterías y cargas inteligentes como los vehículos eléctricos conectados a un supercargador, que funcionan con inversores especiales con la técnica de control de pendiente, que pueden responder muy rápidamente, dando la referencia frecuencia y tensión, manteniendo la estabilidad del sistema de la microrred. En cierta forma los bancos de baterías y las cargas inteligentes se comportan como la red principal en caso de que esta última no esté presente (CENER, s.f., s/p).

Una red de distribución del futuro o red inteligente podrá contener varias microrredes que pueden conectarse entre sí y funcionar en modo isla. El funcionamiento en modo isla de dos o más microrredes mejora significativamente la estabilidad, cuando al menos una microrred posee un generador síncrono.

#### **4.1.5 Ciudades inteligentes (Smart cities)**

Una ciudad inteligente resulta de la integración de los conceptos vistos anteriormente, como la Generación Distribuida, Energías Renovables, Smart Grid, Microrredes, que garantizan lo siguiente (endesa, s.f., s/p):

- Aumento en la calidad de vida de los de los individuos que habitan determinada ciudad.
- Aumento de la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles, para promover un desarrollo más sostenible y cuidado del medio ambiente.
- Participación más activa de los ciudadanos, ejemplo, la gestión de la demanda.

Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, se estima que para el año 2050, el 68% de la población mundial vivirá en las grandes



En conclusión, una ciudad inteligente debe contar con avanzados subsistemas controlados y gestionados por un solo ente de control, los cuales se mencionarán a continuación:

- Sistema inteligente de medición: ubicados en las residencias y centros de consumo, con capacidad de gestión y control, los cuales pueden registrar energía en tiempo real en ambas direcciones.
- Una Red inteligente: la cual servirá para la toma de información de todos los activos que se permitan gestionar y controlar.
- Sensores inteligentes: son dispositivos electrónicos que pueden recopilar diferentes variables como la velocidad del viento, temperatura, congestión vehicular, sobrecargas de la red de energía y otra serie de información que permite al centro de control gestionar eficientemente la ciudad.
- Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): tecnologías de redes audiovisuales e informáticas con las cuales se procesa toda la información de los sensores inteligentes.
- Edificios o casa inteligentes: donde con ayuda de la tecnología y los materiales de construcción, son altamente eficientes en el consumo de energía y respetuosos con el medio ambiente.
- Movilidad eléctrica: introducción de vehículos, tranvías, trenes, ferris o cualquier vehículo que se alimente de energía almacenada en baterías, con sus respectivos puestos de recarga, distribuidos por toda la ciudad.
- Ciudadanos inteligentes: son personas que habitan la ciudad inteligente, que interactúan con el centro de control, que han interiorizado la cultura de eficiencia y medioambiental, los cuales participan activamente en la toma de las decisiones (endesa, s.f., s/p).

#### **4.1.6 Tecnología Blockchain**

Desde la introducción como tecnología subyacente del Bitcoin, la tecnología Blockchain surgió de sus usos, como verificación para las criptomonedas y se dirige a un campo más amplio de aplicaciones económicas. Blockchain tiene el potencial de beneficiarse con los sectores económicos, políticos, humanitarios y legales para figurar en el funcionamiento del reconocimiento de la sociedad y de las operaciones, a medida que cambian hacia participantes distribuidos, en lugar de autoridades centrales. Además, la tecnología

BlockChain puede mitigar el riesgo del doble gasto en el caso para una criptografía segura. Aplicaciones muestran que configuraciones de mercados descentralizados, incluso pueden trabajar en ambientes hostiles, negativos y de poca confianza (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 8-14).

La tecnología BlockChain, permite plataformas de mercado totalmente descentralizados, mediante la resolución de conflictos de interés y disponibilidad de una información simétrica para todos los participantes del mercado. Por lo tanto, gracias a las cooperaciones de confianza, se pueden construir con un sistema distribuido, sin una supervisión central. Además, la tecnología BlockChain puede proporcionar una arquitectura de software distribuido para los mercados de energía (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 8-14).

Una de las principales ventajas del uso de la tecnología BlockChain para los mercados de energía, es que permite el registro de transacciones de forma transparente y segura, además un rastreo completo y continuo, incluso de transacciones muy pequeñas de energía. Sin embargo, BlockChain es una tecnología emergente y sus aplicaciones al día de hoy, se encuentran con numerosos problemas, por ejemplo, la escalabilidad y carga de transacciones limitadas. Teniendo en cuenta los riesgos potenciales evidentes y los inconvenientes de libros distribuidos de acceso al público, un cambio a soluciones híbridas entre sistemas existentes y la tecnología BlockChain es viable (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 8-14).

#### **4.1.6.1 Ventajas de la tecnología BlockChain**

“La tecnología BlockChain es una gran innovación, por primera vez los datos pueden ser almacenados y verificados en una forma distribuida, caso contrario a la actualidad que las bases de datos tienen que ser gestionadas por un intermediario centralizado, el cual tiene el control total de las modificaciones, entradas y salidas del almacenamiento de la información” (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19).

Dejar de lado la centralización de datos, supone serias barreras para que todos los involucrados lleguen a un consenso común.

“Dejar que todas las personas involucradas mantengan su propia versión de una base de datos, resultaría en una separación rápida de todas estas versiones sin la posibilidad de poder sincronizarlas para poder llegar a un consenso acerca de cuál de las versiones es válida” (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19).

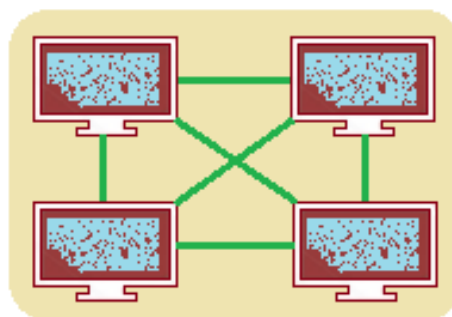
Sin una sincronización apropiada, todas las versiones tendrían diferencias entre sí, lo que resultaría fatal, para una segura verificación de la información,

“Es aquí donde entra en juego la tecnología BlockChain, la cual es una forma especial de base de datos gestionada por una comunidad de acuerdo con reglas preestablecidas y precisas. Cada participante tiene una copia de la base de datos, en donde puede añadir nuevas entradas, con reglas controlables para prevenir cualquier abuso. Se asegura que existe un consenso en relación con todos los contenidos, en todo momento y todas las diferentes versiones se encuentren sincronizadas. Todos los participantes pueden verificar cualquier cambio en la base de datos y lo rechazan si es fraudulento, y todos los participantes se comportan como una memoria colectiva, con un proceso asociado, para que para al final se llegue a un consenso grupal de determinado hecho” (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19).

La gestión de los datos con la tecnología BlockChain, tiene varias ventajas con respecto a la gestión clásica y se pueden resumir en las siguientes cinco cualidades:

### Sistema Distribuido

**Figura 4-6.** Sistema Distribuido



**Fuente:** elaboración propia con información de artículo “BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape”

La tecnología BlockChain se basa en una arquitectura de datos distribuidos, que se intercambian a través de una red, donde los actores participantes se comportan como nodos de dicha red, poseen los mismos derechos, ninguno nodo de la red adquiere un papel preferencial, lo que impide el abuso y aunque un nodo pierda la comunicación temporalmente, la información puede ser actualizada desde cualquier otro nodo (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19).

### **Inmutabilidad**

**Figura 4-7. Inmutabilidad**



Fuente: elaboración propia con información de artículo "BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape"

Una vez almacenada la información con un sistema de tecnología BlockChain, los datos no se pueden cambiar fácilmente, y para lograr grabar dicha información, primero debe pasar por un protocolo de consenso entre todos los participantes, que valida completamente que los datos a grabar sean los correctos. Una vez se guarda la información, los cambios que quiera hacer cualquier participante o un agente externo (hacker), se completamente imposible, gracias a los protocolos de consenso. Los estados de la base de datos están asegurados por un tipo de impresión criptográfica y esta secuencialmente ligado, a que cualquier cambio en la información, ya grabada en la base de datos de BlockChain, sea inmediatamente visible por los demás involucrados (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 20).

## Disponibilidad

**Figura 4-8.** Disponibilidad

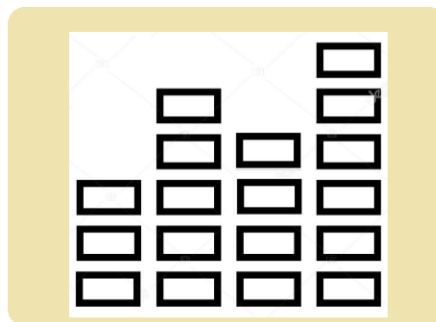


**Fuente:** elaboración propia con información de artículo “BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape”

En las bases de datos tradicionales, una gran cantidad de dinero debe ser invertido para disponer de varios centros de cómputo, para almacenar la información con cierta regularidad en copias de seguridad. En sistemas basados en BlockChain se ofrece una protección contra la pérdida de datos por el solo hecho que cada nodo (usuario), contiene una copia completa de la base de datos de todos los demás nodos y así se puede compartir con otros nodos. En el caso que un nodo pierda sus datos, este puede solicitarlo a otros nodos y verificar la legitimidad de los datos de forma independiente (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 20).

## Datos estructurados.

**Figura 4-9.** Datos estructurados



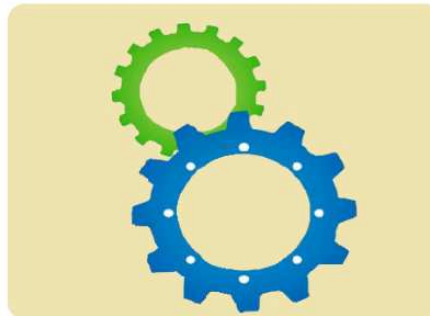
**Fuente:** elaboración propia con información de artículo “BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape”

Con el fin de procesar datos de una manera eficiente, la información debe estar disponible en forma digital y estructurada. La tecnología BlockChain ofrece ambos criterios, dado que

las bases de datos son gestionadas por varios participantes. Un formato estándar común, es mucho más fácil de aplicar, que en el caso de bases de datos aisladas (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 20).

## Reactividad

**Figura 4-10.** Reactividad



**Fuente:** elaboración propia con información de artículo “BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape”

Gracias a los contratos inteligentes la BlockChain tiene la capacidad de reaccionar al ingreso de información, de forma rápida y automática, gracias a acuerdos preestablecidos, para validar la legitimidad de las transacciones. Se puede ejecutar desde transacciones sencillas y hasta de alta complejidad, siempre manteniendo la veracidad de los datos (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 20).

### 4.1.6.2 ¿Cómo funciona la tecnología BlockChain?

La tecnología BlockChain, consta de transacciones de datos que se ejecutan a través de una red de información, las cuales se verifican para que luego puedan ser grabadas a una base de datos. Este proceso se divide en los siguientes pasos: capacidad transaccional, legitimidad de la transacción y consenso de la transacción, permitiendo un análisis por etapas de la estructura, en función de los componentes de la BlockChain (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 21).

#### **Capacidad transaccional**

Cada participante de la red puede iniciar nuevas transacciones en cualquier momento. Los diferentes nodos intercambian continuamente datos de las transacciones con otros nodos de la red. Hasta que la totalidad de los participantes de la red han sido informados de las

nuevas operaciones, la información no se podrá guardar en la base de datos (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 21).

### **Legitimidad de las transacciones**

Como se mencionó anteriormente, cada transacción se distribuye a todos los nodos que participan en la red, por lo que cada nodo hace las veces de juez y puede validar independientemente la legitimidad de la transacción. La verificación de la legitimidad asegura que las transacciones y si la información no tiene sentido o presenta alguna inconsistencia, esto puede ser detectado inmediatamente, y las transacciones involucradas son rechazadas. Durante la verificación de legitimidad de los datos, actúan algoritmos criptográficos, que se ejecutan para comprobar la identidad del participante y si está autorizado para emitir la información. Los nodos solo aceptarán las transacciones que pasen la comprobación, reconfirmando su legitimidad (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 21).

### **Consenso de la Transacción**

Con la legitimidad de las transacciones se demuestran que estas no eran fraudulentas, pero aún no hay garantía de que la información que se transmitió de nodo en nodo hasta su totalidad, no tengas ciertas diferencias. Además, no hay garantía de que una determinada transacción está presente en todos los nodos. Para solucionar este problema y garantizar que todos los participantes de los nodos estén de acuerdo con la información almacenada en la red, se necesita un mecanismo denominado de consenso o algoritmos de consenso (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 21).

Con el uso de la tecnología BlockChain, se pretende diseñar la red eléctrica del futuro, que podrá ayudar a resolver los siguientes interrogantes:

- ¿Cómo se puede garantizar la trazabilidad de la energía a través de la red?
- ¿Cómo certificar que la energía es 100% renovable?
- ¿Cómo se puede gestionar la demanda?
- ¿Cómo asegurar la cadena de suministro?
- ¿Cómo se puede asegurar que la energía consumida proviene de una instalación concreta?

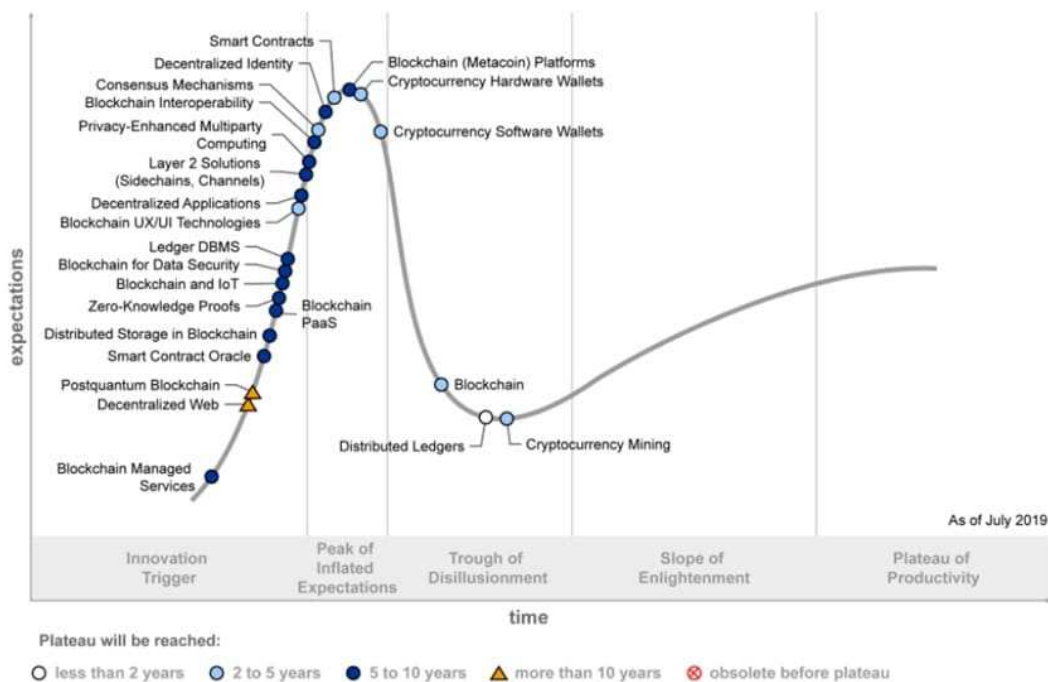
- ¿Cómo gestionar los certificados de origen de manera más eficiente?

#### 4.1.6.3 Perspectivas y expectativas de la tecnología BlockChain

Gartner Inc. es una empresa consultora y de investigación de las tecnologías de la información con sede en Stamford, Connecticut, Estados Unidos. El ciclo Hype de Gartner Inc. proporciona una representación gráfica de la madurez y la adopción de tecnologías y aplicaciones.

Según el ciclo Hype de Gartner Inc. Realizado de 2019 para la tecnología BlockChain, muestra que se está deslizando hacia el valle de la desilusión, como se evidencia en la Figura 4-11. Un mercado prometedor comenzará a salir de este panorama para el año de 2021, a medida que la tecnología avance y los casos de uso pragmáticos con el soporte exclusivo de BlockChain, continúen desplegándose. El valle de la desilusión que representa la figura 4.11, destaca las tecnologías y los mercados en los que el interés ha disminuido, a medida que los experimentos y las implementaciones no se entregan.

**Figura 4-11.** Hype Cycle para BlockChain Technologies, 2019



"Las tecnologías BlockChain aún no han estado a la altura de las expectativas y la mayoría de los proyectos empresariales de BlockChain están estancados en modo de experimentación" (Gartner, 2019, s/p), dijo Avivah Litan, distinguido analista y vicepresidente de investigación de Gartner. Como lo afirma Litan, La tecnología de "BlockChain aún no está permitiendo una revolución comercial digital en los ecosistemas empresariales y puede que no sea hasta al menos 2028, cuando Gartner espera que BlockChain se vuelva totalmente escalable técnica y operativamente" (Gartner, 2019, s/p).

Para que la cadena de bloques de BlockChain se convierta en la corriente principal, Gartner dijo que los usuarios no deberían tener que preocuparse por elegir la plataforma correcta, el lenguaje de contrato inteligente correcto, las interfaces de sistema correctas y los algoritmos de consenso correctos. Además, las preocupaciones sobre cómo los usuarios interactuarán con socios que usan diferentes plataformas de BlockChain para sus proyectos deben ser rectificadas (Gartner, 2019, s/p).

Avivah Litan de Gartner Inc. también dijo:

"Estamos presenciando muchos desarrollos en la tecnología BlockChain que cambiarán el patrón actual. Para 2023, las plataformas BlockChain serán escalables, interoperables y admitirán la portabilidad de contratos inteligentes y la funcionalidad de cadena cruzada. También admitirán transacciones privadas confiables con la confidencialidad de datos requerida. En conjunto, estos avances tecnológicos nos acercarán mucho más a la cadena de bloques convencional y a la Web descentralizada, también conocida como Web 3.0. Con el tiempo, las cadenas de bloques autorizadas se integrarán con las cadenas de bloques públicas, y aprovecharán los servicios compartidos mientras respaldan los requisitos de membresía, gobierno y modelo operativo de las cadenas de bloques autorizadas" (Gartner, 2019, s/p).

## **4.2 Marco Legal**

Colombia inicio a mediados de año de 2016 un cambio en la regulación de energía encabezada por el Ministerio de energía y liderada por la Comisión de Regulación de

Energía y Gas (CREG), la cual expidió una serie de resoluciones que impulsaron la magnificación de proyectos de energías renovables en el país.

La normativa que fue el inicio para el uso de las tecnologías Energías Renovables, es la Ley 1715 de 2014 “por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional” (Minenergía, s.f., s/p), que dan incentivos tributarios a las inversiones en energías renovables, entre las cuales está la generación a pequeña y gran escala, así como también la participación de energía eólica y solar. Para regular la autogeneración renovable a gran escala (plantas mayores a 1.0 MW), la CREG expidió La Resolución 024 de 2015, “por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)” (CREG, 2015, s/p).

Colombia ha sido prudente en la expedición de políticas que incentiven y liberen el mercado eléctrico hacia nuevas tecnologías renovables. Los reguladores como la UPME y la CREG se han basado en experiencias que han tenido otros países, por ejemplo, España para no cometer los mismos errores y para que los colombianos se vayan adaptado fácilmente al nuevo paradigma de la energía. A la fecha el Gobierno Colombiano, en cabeza del ministerio de minas y energía, y las demás entidades de regulación han expedido las siguientes normas:

- Decreto 2492 de 2014 "Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda" (Minenergía, 2014, s/p).
- Decreto 2469 de 2014 "Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración" (Minenergía, 2014, s/p).
- Decreto 2143 de 2015 "Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014" (Minenergía, 2015, s/p).
- Resolución 281 de 2015 con la cual define “el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala de un (1) MW, y corresponderá a la capacidad instalada del sistema de generación del autogenerador” (UPME, 2015, s/p).

- Resolución CREG 024 de 2015 "Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)" (CREG, 2015, s/p).
- Decreto 1623 de 2015 "Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas" (Minenergía, 2015, s/p).
- Resolución Ministerio de Ambiente 1312 de 11 agosto de 2016 "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 1).
- Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016 "Por la cual se establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, p. 1).
- Decreto 348 de 2017 "Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala" (Minenergía, 2017, s/p).
- Resolución Ministerio de Ambiente 1988 de 2017. PAI 2017 - PROURE (Programas para exclusión del IVA).
- Resolución UPME 585 de 2017 "por la cual se establece el procedimiento para conceptuar/gestión eficiente de la energía que se presenten para acceder al beneficio tributario de que trata el literal d) del artículo 1.3.1.14.7 del Decreto 1625 de 2016; con sus respectivas modificaciones" (UPME, 2017, s/p).
- Resolución Ministerio de Ambiente 2000 de 2017 "por la cual se establece la forma y requisitos para presentar ante la ANLA, las exclusiones de acreditación para obtener la exclusión del impuesto sobre las ventas" (Ministerio del Medio Ambiente, 2018, s/p).

- Decreto 1543 de 2017:  
“Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, FENOGÉ, adicionando una sección 5 al Capítulo 3 del Título III de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015” (Minenergía, 2017, s/p).
- Resolución CREG 167 de 2017 "Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas eólicas" (CREG, 2017, s/p).
- Resolución CREG. 201 de 2017 "Por la cual se modifica la Resolución CREG 243 de 2016, que define la metodología para determinar la energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas" (CREG, 2017, s/p).
- Resolución CREG 121 de 2017, “por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional” (CREG, 2017, s/p).
- El decreto número 0570 de 2018, “por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector de Minas y Energía, 1073 de 2015, en los relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones” (Minenergía, 2018, s/p).
- Resolución CREG 030 de 2018, “mediante la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional” (CREG, 2018, s/p).

En esta última resolución, se encuentra los más recientes lineamientos para establecer un nuevo mercado de energía en el sector colombiano y tiene como objetivo principal, definir los mecanismos fáciles y sencillos para que los pequeños productores de energía eléctrica puedan vender sus excedentes al Sistema Interconectado Nacional.

### **4.3 Marco Contextual**

A nivel mundial, países en Europa como España y Alemania, son pioneros en innovaciones tecnológicas en energías renovables. La comunidad europea presento un escenario para un sistema de energías renovables hasta el año 2050, de un 100% de dependencia de fuentes renovables. Los pasos para empezar dicha transición se empezó con el desmantelamiento de la energía nuclear, implementando tecnologías para el ahorro de

calor, creación centrales térmicas para llevar agua caliente y fría a zonas industriales, reemplazo de gas natural por metano. Como valor agregado y no menos importante está la creación de 10 millones de empleos adicionales en Europa, gracias a la diversificación de la generación de energía eléctrica (Connolly, Lund, & Mathiesen, 2015).

Para el caso colombiano, se introdujo generación de energía solar y eólica en su matriz energética, gracias a la primera subasta del cargo por confiabilidad en energías renovables, que garantiza y suple la energía necesaria en los momentos de escasez, por ejemplo, en la presencia de fenómenos naturales como El Niño.

El gobierno colombiano, tiene proyectado entre los años 2022 y 2023, que el país con ayuda de inversiones públicas y privadas contará con una capacidad instalada cercana a los 1.400 megavatios (MW) de plantas de generación alimentadas con fuentes renovables no convencionales de energías renovables. Lo anterior será aproximadamente 28 veces más que la capacidad actual instalada. El proyectado es pasar de menos de 50 megavatios (MW) a 1.500 megavatios (MW) de capacidad instalada en este tipo de generación de energías renovables.

El principal objetivo de la entrada de generación eléctrica derivada de fuentes renovables no convencionales es el poder promover la formación de precios eficientes y la diversificación de la matriz energética, en la que predomina la generación hidroeléctrica. El año de 2019 fue muy favorable, porque 23 empresas comercializadoras resultaron opcionadas para presentar oferta económica en la subasta de energías renovables. Los requisitos fundamentales para resultar escogidas, era el poder generar electricidad derivada de fuentes renovables no convencionales y que los proyectos fueran de una capacidad mayor o igual a 5 megavatios, los cuales comenzarán a suministrar el servicio entregando su energía generada, a partir del 1 de enero de 2022, por un periodo de 15 años.

Como una estrategia para avanzar en materia de sostenibilidad y mitigación del cambio climático, el artículo 296 de la ley 1955 de 2019, incluyó incentivos y normas de control para implementar e impulsar a la energías renovables destacándose la norma que obliga a los comercializadores de energía, de atender el 10 % de su demanda regulada con

compras de fuentes no convencionales de energía renovable a través de contratos a plazos a plazo a mayor de 10 años.

En los artículos 174 y 175 de la ley 1955 de 2019 se establece beneficios adicionales como la inclusión de partidas arancelarias que están exentas de IVA, para los proyectos de energía solar y un incentivo que extendió el incentivo tributario de deducción de renta que tenían todas las inversiones de generación eléctrica derivada de fuentes no convencionales de 5 a 15 años. Entre otros beneficios para estos mismos proyectos, se encuentra una disminución de las transferencias económicas de las ventas de energía, para plantas con capacidad instalada mayor a 10 MW, del 1% en contraste del 6% y 4% que tiene la generación hidroeléctrica y las generaciones con centrales térmicas respectivamente (artículo 289). Además, se podrían beneficiar soluciones empresariales que incorporen generación renovable para electrificar las comunidades más apartadas del país, cuando en el artículo 21 se extiende la vigencia del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas no interconectadas- FAZNI hasta 2030, (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2019, p. 1-36).

En la segunda subasta en la que se convocaron proyectos de energía solar y eólica se logró adjudicar una capacidad total de 1.298 MW, lo que representa cerca del 8% de la capacidad instalada actual del sistema de generación de energía en Colombia. En total fueron adjudicados 7 generadores y 22 comercializadores, de los cuales cinco, son proyectos eólicos de generación y los otros tres restantes son de energía solar, que representan un 83% y 17% respectivamente (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2019, p. 1-36).

Para el caso de la movilidad eléctrica se estableció en la ley 1964 de 2019, los incentivos para fomentar el uso de los vehículos eléctricos, entre los cuales podemos evidenciar una menor tasa de impuesto de 1% del valor del vehículo en comparación del 3.5 % de los vehículos con otras fuentes de energía. Adicionalmente se implantan nuevos incentivos como es el caso de menores costos de pólizas de SOAT, parqueaderos preferenciales, no restricción de movilidad en las ciudades, y se establecen normas obligatorias a las entidades públicas para que inicien proyectos a mediano plazo de reemplazo del parque automotor, por ejemplo iniciando con los vehículos de servicios públicos, taxis y transportes máximos (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2019, p. 1-36).

El tema central de este proyecto de grado, tiene como objetivo proponer una nueva unidad de negocio para la Empresa Comercializadora de Colombia, que tiene como principal negocio la Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de energía eléctrica, que está dispuesta y comprometida en impulsar la creación e implementación de nuevas unidades de negocio, gracias a la implementación de nuevas leyes y resoluciones impartidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que tienen como propósito fundamental incentivar el uso de tecnologías de generación de energía derivada de fuentes renovables. En Colombia la Empresa Comercializadora de Colombia es líder en el mercado, inauguro en el 2017 la granja solar fotovoltaica más grande de país, ubicada en el municipio de Yumbo, con una capacidad instalada de 9.8 MW y con una generación aproximada de 16.5 GWh en el año, que equivalen al consumo de 8.000 hogares. Además, inicio la construcción de techos fotovoltaicos en zonas industriales, comerciales y residenciales de las principales ciudades de Colombia. Está incursionando en la venta de motos eléctricas, electrodomésticos de bajo consumo y nuevas tendencias mundiales como centrales térmicas, iluminación eficiente y uso racional de la energía, que tienen como eje principal la innovación y la preservación del medio ambiente. La Empresa Comercializadora de Colombia lanzo la línea de negocio en donde implementa generación Fotovoltaica a particulares y es la empresa líder en Colombia en Generación Fotovoltaica.

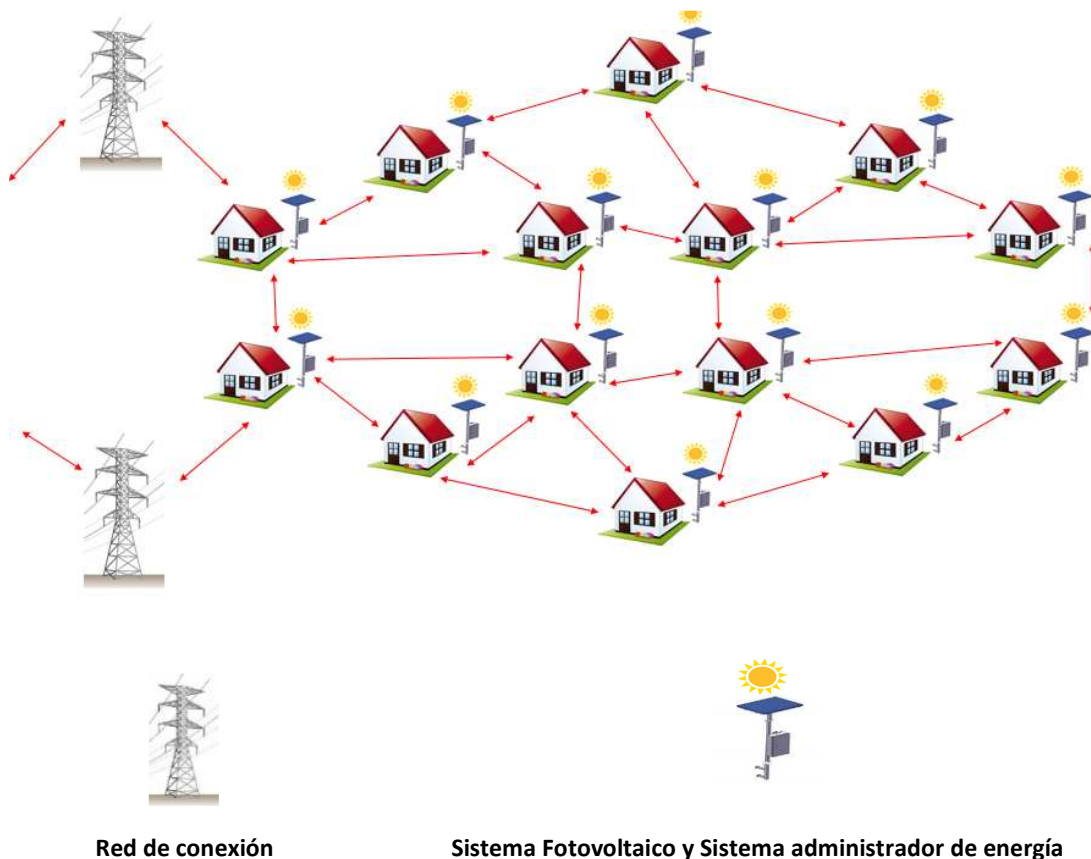
Toda la generación de energía distribuida se debe gestionar de una manera rápida, confiable y segura, para que pequeños productores puedan vender su energía sin tantos protocolos. En países como Estados Unidos y Australia se expiden actualmente certificados de consumo de energía verde con sus siglas en ingles REC (Remedable Energía Certificate), de esta forma cualquier empresa puede certificar que está consumiendo energía producida por fuentes renovables. Pero para expedir los REC ya sea de generación o de consumo, se requieren costosas, largas y complejas auditorias, lo que complicaría la aplicación en producción y consumo a pequeña escala.

Con la entrada de la tecnología BlockChain, se lograría reducir los costos y los tiempos para la expedición de los REC, logrando un mercado de Electricidad más eficiente y ágil. Los generadores y consumidores pueden intercambiar la energía producida de un modo peer-to-peer en microrredes de mercados energéticos. El funcionamiento eficiente de estos mercados de energía en una microrred requiere de sistemas de información innovadores para que la integración de los participantes en el mercado sea manera fácil

de usar y completa. Como se observa en la Figura 4-12, las microrredes se componen de generadores de energía a pequeña escala que se instalan en el mismo lugar, con un solo punto de consumo y que es utilizado por un grupo reducido de personas. Estas logran que el suministro de energía sea confiable operando en modo isla o conectados a la red principal, promoviendo el consumo de energía cerca de la generación y fomentando el uso eficiente de los recursos locales.

Con las microrredes se reduce la necesidad de transportar la energía de grandes distancias con pérdidas sustanciales que son costos transferidos a los consumidores vía tarifa, además de la latencia para la gestión de fallos se puede disminuir. Todo lo anterior se traduce en el fortalecimiento en términos de autosuficiencia y la posibilidad de reducción de costos de energía.

**Figura 4-12.** Configuración de mercado en una microrred



Red de conexión

Sistema Fotovoltaico y Sistema administrador de energía

Fuente: elaboración propia

### 4.3.1 Aplicaciones potenciales de la Tecnología BlockChain en Energías Renovables

La tecnología BlockChain, recientemente se está empezando a emplear en el área de las energías renovables, para ayudar a solucionar problemas que actualmente tienen las empresas de energía, como la eficiencia, calidad y costo en el servicio de distribución de energía. En la actualidad países como Alemania, Japón, España y Australia, están ejecutando pruebas piloto de aplicaciones basadas en BlockChain. Haciendo un análisis de los proyectos piloto impulsados por diferentes empresas, se llegó a la conclusión que actualmente no hay sistemas productivos y de alta penetración de mercado, pero se tiene un enfoque determinado en las investigaciones, que a futuro se puede esperar resultados positivos y prometedores. A continuación, se listan en la tabla número 4-2, las aplicaciones potenciales, organizadas en seis (6) grupos destacados por su relevancia en el sector eléctrico y que han surgido por los casos de uso y pilotos que han desarrollado diferentes entidades de investigación y empresas eléctricas.

**Tabla 4-2:** Aplicaciones potenciales de la tecnología BlockChain.

Aplicaciones Potenciales					
Transparencia de activos	Gestión de activos y operaciones	Comercialización de Energía	Operación de redes	Certificación para el comercio	Otros
Historia de activos	Estandarización y automatización	Al por menor y de liquidación	Monitoreo y medición	Certificado de emisiones	Servicios al cliente
Gestión de cadena de suministro	Seguros y cobertura	De igual a igual (Peer to Peer)	Servicios auxiliares	Certificados de energía renovables	Incentivos para eficiencia energética
	Gestión de contratos	Carga de vehículos eléctricos	Centrales eléctricas virtuales		
	Tokenización de activos				

Fuente: artículo, BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape.

#### **4.3.1.1 Transparencia de activos**

En la actualidad y gracias a las innovaciones tecnológicas que han permitido digitalizar gran parte de la información, se permite que los procesos en general se optimicen, con alto grado de eficiencia, haciendo que la información sea más fácil de encontrar y distribuir.

“La tecnología BlockChain, es una innovación que promete ganancias de eficiencia en la cooperación B2B (Peer to Peer) y en las transacciones diarias, además de facilitar la interacción entre las partes, sin que tengan que confiar el uno en el otro, y gracias a la inmutabilidad del historial de las transacciones, permite ofrecer una plataforma segura para la información que se va a almacenar” (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Debido a su estructura distribuida, la tecnología BlockChain también puede simplificar la cooperación entre los actores, logrando que sea más segura y transparente, posibilitando el desarrollo de las cadenas de suministro y equipamiento, para un mundo cada vez más global y flexible.

#### **Historia de activos**

En los mercados con problemas de información, debido a la información asimétrica, los activos de buena calidad, no son siempre tan evidentes hacia el comprador, estos se dejan convencer por información que no está debidamente certificada, lo que puede ser parcialmente contrarrestado por los sistemas de reputación, que usualmente necesitan de gran personal y equipos de computación costoso. Un mejor enfoque sería contar con información fiable sobre el estado actual y la historia del activo. Los sistemas basados en la tecnología BlockChain, están protegidos contra la manipulación y los datos se almacenan cronológicamente, registrando todo el ciclo de vida de un activo en una base de datos BlockChain. Si un activo tiene que ser reparado, por ejemplo, un transformador de potencia de una subestación eléctrica, que requiera un servicio de mantenimiento o reparación mayor, toda la información de la actividad y sus resultados se almacena en la BlockChain, pudiendo ser verificada en cualquier momento, sin ninguna duda de la información (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Se debe tener presente, que la información que se guarda se debe grabar de forma correcta y certificada, para este fin, las entradas en el BlockChain deben ser realizadas por actores autenticados por un regulador aprobado por instituciones legales. La certificación

en el caso de los mantenimientos o sustituciones de equipos de potencia en una subestación eléctrica debe ser realizada por el líder de la cuadrilla de mantenimiento con un dispositivo de lectura en sitio, al momento que finalice la actividad correctiva. Adicionalmente esta información debe ser cortejada y validada por el líder del área (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Los contratos inteligentes de BlockChain, se pueden emplear para asignar números de identificación únicos a los activos. En este caso se habla de una representación o identidad digital, que puede ser enriquecido con información fuera de la cadena. En el caso de las energías renovables, sería posible almacenar continuamente los datos de los sensores de una turbina de viento en la BlockChain y al momento de reemplazarla, se podría brindar toda la hoja de vida al comprador potencial (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

### **Gestión de la cadena de suministro**

“Gracias a la estructura distribuida de la tecnología BlockChain, ofrece una serie de soluciones en la cadena de suministro que también pueden ser utilizados en el sector de energía. Todos los actores en el ecosistema pueden ser integrados en el proceso de valor agregado y por lo tanto reciben una visión más completa de la cadena de suministro” (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Para el caso de suministros habituales en una empresa de energía, como transformadores, seccionadores e interruptores de potencia y para los nuevos suministros para energía renovable, como paneles solares, inversores, generadores eólicos, se puede almacenar todo el proceso de producción y transporte en el BlockChain, donde la inmutabilidad de los datos permite la trazabilidad segura del producto.

Con el uso de la BlockChain se puede garantizar el origen de un activo. Toda la cadena de valor de un activo se almacena en la base de datos de BlockChain, registrando cada paso incluyendo su estampa de tiempo y creando así un registro de auditoría completo, disminuyendo la cantidad de recursos necesarios. Esto hace que sea posible trazar todo el proceso de producción del activo y proporcionar, por ejemplo, la posibilidad de verificar cuales empresas estaban involucrados en su producción, localizando posibles errores o averiar en el proceso de construcción y transporte del activo hasta el cliente final (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

La ineficiencia causada por la cantidad de documentación que se deben gestionar y diligenciar por los diversos actores involucrados en la cadena de suministro de un activo, por ejemplo, agencias estatales de regulación y de aduanas, empresas de logística, resulta en la reducción de la transparencia y la cooperación, aumentando los costos y los tiempos de entrega de un producto, ocultando durante todo el proceso posibles defectos y errores en la fabricación. Estas ineficiencias se mitigan usando las transacciones digitales en conjunto con la tecnología BlockChain, logrando que la comunicación entre los actores involucrados se más simple y segura (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Cabe destacar que el uso de la tecnología BlockChain trae muchos beneficios en el ámbito de la transparencia y mejora la coordinación. En la actualidad industrias transportadoras de productos, han usado soluciones y aplicaciones en BlockChain con resultados prometedores, las cuales se pueden aplicar a la industria de la energía eléctrica y sus nuevos negocios en energía renovables.

#### **4.3.1.2 Gestión de activos y operaciones**

Debido al periodo de transición de sector de la energía eléctrica por la aparición de las nuevas tecnologías y cambio de paradigma, ha obligado a las empresas hacer procesos que aumenten la eficiencia del intercambio de información con alto volumen de datos, por ejemplo, la introducción en el mercado eléctrico de muchos Prosumidores hace que una empresa distribuidora de energía empiece a gestionar muchos parámetros al mismo tiempo. Lo anterior requiere un alto nivel de automatización, estandarización de medios de información e interfaces de toma de datos. Muchas Empresa de energía han iniciado este cambio que ha contribuido en mejorar su eficiencia, eliminando muchos procesos manuales que generaban variada documentación física (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

La tecnología BlockChain puede ayudar a mejorar aún más los procesos internos, atacando problemas remanentes y contribuir al aumento significativo de la eficiencia, tanto en el área de operaciones y gestión de activos. Conjuntamente con bases de datos, se pueden crear normas implícitas en la comunicación, ejecutándose directamente a través de la red de BlockChain y gracias a su inmutabilidad, registrar los pasos del proceso en una forma a prueba de manipulación. Con la ayuda de los contratos inteligentes, se pueden

automatizar muchos procesos que aún no estaban estandarizados (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Se pueden tokenizar equipos de potencia, líneas de transmisión y subestaciones enteras, para que la gestión de activos de una empresa de energía se simplifique. Por ejemplo, se podría representar acciones de activos con tokens (cripto-activos) y comercializarlos en mercados digitales con una plataforma basada en BlockChain, donde pueden interactuar grandes y pequeños inversores.

### **Estandarización y automatización**

La estandarización es la base para crear una automatización de procesos para el intercambio de los datos. Un problema frecuente que tiene las industrias y sobre todo las del sector energético, se debe a las diversas aplicaciones computacionales que existen y se deben gestionar en cada uno de los procesos. Estas aplicaciones son a menudo muy complejas y no existen intercambio de la información entre ellas. Los resultados se tienen que analizar en forma manual, para poder compararlos con los otros resultados de las otras aplicaciones, haciendo de esto una labor extenuante, poco productiva y que este expuesta a errores de interpretación. Hay un riesgo de dependencias, así como los altos costos de operación y mantenimiento (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

La tecnología BlockChain, permite almacenar los datos, con un formato normalizado de alto grado de eficiencia para el intercambio de datos. Hay que tener presente que la tecnología BlockChain no va reemplazar a las aplicaciones existentes en una compañía, sino que garantiza la estandarización de los modelos de datos, gracias a contratos inteligentes, crea las condiciones ideales para que las interfaces de las aplicaciones, intercambien los datos a través del protocolo nativo de la BlockChain, permitiendo reducir significativamente los gastos de mantenimiento y funcionamiento de los activos de la empresa.

En la Actualidad los desarrollos en la tecnología BlockChain tienen problemas de escala y un límite determinado de manejo de información, pero gracias a los continuos desarrollos en los protocolos de consenso, proyectos piloto han podido aumentar significativamente el número de transacciones, sin recurrir a gastos adicionales en la compra o actualización de equipos computacionales más potentes (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

**Gestión de contratos**

La tecnología BlockChain se puede usar para la gestión de contratos del sector energético de dos formas diferentes, la primera de una forma clásica utilizando una firma o contraseña digital, asignándole código hash a cada contrato, de tal forma que cada transacción con un código hash de contrato, puede ser firmada criptográficamente por ambas partes contractuales. De este modo, si cualquiera de las partes trata de cambiar el contrato, esto resultaría en un valor hash diferente de asignación al contrato, llevando a descubrir cualquier irregularidad.

La segunda forma de utilización de la tecnología BlockChain, es mediante el uso de los contratos inteligentes que se ejecutan automáticamente, los cuales se almacenarán directamente en la base de datos de la BlockChain. Los contratos inteligentes se ejecutan en la BlockChain según acuerdos o cláusulas definidas previamente entre las partes, lo que permite asegurar la ejecución del contrato, cuando no se tiene un alto nivel de confianza entre las partes contractuales y un intermediario (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

**Seguros y coberturas**

En el sector de la energía, es importante tener garantías por parte de los proveedores de los activos, que en algunos casos son demasiado costosos, un ejemplo, los transformadores y generadores de potencia. Además, se debe contar con seguros de daños o robos desde el momento en que caduquen las garantías. En ciertas ocasiones estas garantías y seguros no son cumplidos a cabalidad por los responsables, que puede ser la empresa que suministra el transformador o la agencia con quien se contrató el seguro. Como solución a lo anterior, la tecnología BlockChain, usan nuevamente los contratos inteligentes, contrarrestando los problemas de confianza y responsabilidad, haciendo cumplir automáticamente las cláusulas de las garantías y disminuyendo los procesos y tiempos de reclamaciones ante las agencias de seguros (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

### **Tokenización de activos**

Los activos de una empresa de energía, tales como plantas de energía renovable solares o eólicas, se pueden representar, gestionar y negociar con la ayuda de la tecnología BlockChain, gracias al uso de tokens. La tokenización de activos se basa en el estándar token de ERC-20 o ERC-223, que puede ser a través de la herramienta Ethereum BlockChain. Recordemos que los tokens son representaciones criptográficas de valor, la cual es una manera segura y practica de representar propiedad.

En una empresa y en especial las de energía, existen activos que tienen las mismas características eléctricas y mecánicas, como es el caso de los descargadores de sobretensión o los aisladores de tensión, que pueden ser reemplazados en cualquier momento por un similar que se encuentre almacenando. Los anteriores activos pueden ser representados por tokens de tipo fungible. Los Tokens de activos no fungibles son elementos particulares y de especiales características, por ejemplo, reactores eléctricos cuya capacidad el Kilovares (kvar), difieren por su ubicación de operación en el sistema eléctrico (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

#### **4.3.1.3 Comercialización de Energía**

La liberación de mercado eléctrico pretende que los pequeños generadores puedan participar directamente en los mercados sin intermediarios. Con la expansión de la generación distribuida de pequeña escala, como los techos solares residenciales, la tecnología BlockChain tiene un amplio potencial para crear aplicaciones que les permitan a estos nuevos actores del mercado, hacer transacciones de energía directamente entre sí, como hoy en día lo está haciendo el mercado de las criptomonedas. La tecnología BlockChain tiene la característica de ser distribuida y nuevamente con el uso de contratos inteligentes se pueden hacer transacciones de energía entre pares, haciendo posible la automatización de procesos más complejos, permitiendo la ejecución de mercados en tiempo real, donde los participantes se benefician con la confirmación rápida de compra o venta de energía. Con el auge de la introducción de vehículos eléctricos que deberán ser cargados constantemente en estaciones similares a las actuales, aplicaciones basadas en BlockChain se encargarán de facilitar al dueño del vehículo poder cargar en cualquier estación registrada en un BlockChain, sin necesidad de celebrar un contrato con el

proveedor local de energía por adelantado o tener que pagar altos costos de transacción (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

### **Al por menor y liquidación**

La medición clásica que usan las empresas comercializadoras de energía en países como Colombia, consiste en tener personal para que se dirija a cada casa de los diferentes usuarios y registrar la medida. Estos registros de la medida tienen que ser validados por varios procesos y personal de la empresa de energía, haciendo ineficiente la labor. Aunque se han implementado proyectos piloto con medida inteligente, que consisten en instalar a cada usuario medidores inteligentes comunicados directamente al centro de medida, aún hay ciertos procesos y verificaciones que se deben de gestionar por personas, para generar la liquidación y envío de facturas. La tecnología BlockChain promete simplificar los procedimientos, sin dejar de lado la infraestructura de medida inteligente, por el contrario, ser un complemento donde sea posible guardar la información de manera segura y confiable. El consumo se puede registrar con ayuda de contadores inteligentes, que cada 15 minutos guardan los registros automáticamente en la base de datos de la BlockChain, llegando al punto de cobrar instantáneamente el costo de la energía consumida, deduciéndola de una cartera personal criptográfica (criptomonedas) de cada usuario.

Para evitar problemas de escalabilidad provocada por problemas de capacidad de la BlockChain públicas que procesan transacciones consecutivas individualmente, se sugiere utilizar las transacciones parcialmente firmadas, las cuales se intercambian bilateralmente a través de un canal de estado por separado para la liquidación, donde las transacciones pueden ser añadidos a la BlockChain en forma agregada. Entonces el concepto de hacer micro-transacciones y confirmación inmediata es posible y puede reducir los costos de transacción, ya que sólo dos transacciones son necesarias, una para abrir y otra para la negociación (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Como se mencionó anteriormente, la introducción de la tecnología BlockChain en el procesos de facturación de las empresas comercializadoras, no implica el reemplazo de tecnologías existentes, por el contrario trabajarán en conjunto para permitir los procesos de pago automático y una mayor flexibilidad, que puede resultar en aumentos de la eficiencia, permitiendo a los consumidores finales tengan acceso a un mercado casi en tiempo real, ayudando a optimizar el consumo en relación a los precios actuales. Esto se

traduce en mercados más eficientes y competitivos, que se basan en los precios de mercado.

### **Peer-to-peer comercio**

El comercio peer-to-peer es en la actualidad, la aplicación más usada y posiblemente el caso de uso más obvio de la tecnología BlockChain en el mercado de la energía eléctrica, estableciendo mercados casi en tiempo real entre Prosumidores y consumidores, sin la necesidad de un intermediario, que en el caso de este trabajo de grado, sería la empresa comercializadora de energía. Los dos actores, Prosumidor y consumidor interactúan directamente. La tecnología BlockChain sirve como una plataforma sobre la cual los participantes interactúan dentro un comercio de microrredes locales de energía, que dependiendo del diseño, también puede funcionar de forma autónoma, independiente de la fuente de principal (modo de isla) (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Los desarrollos en BlockChain se basan básicamente, en que los contadores de energía inteligentes de los Prosumidores productores o consumidores envían a través de la red, las ofertas y las demandas de energía, en común acuerdo a los volúmenes de generación y precio de venta acordados, en un contrato inteligente de la BlockChain. Este contrato inteligente actúa como cartera central de pedidos y está configurado para realizar una doble subasta en intervalos regulares. Lo anterior ayuda a establecer precios razonables de la energía sin llegar a superar el precio de escasez. Los Prosumidores que no alcancen a ser seleccionados en las subastas, pueden tomar la decisión de almacenar la energía en bancos de baterías, hasta que puedan venderla en otra subasta futura. Una de las ventajas principales del comercio peer-to-peer, es que permite estimular la utilización de la generación distribuida en un mercado local de una microrred. Además establece un comercio de electricidad directamente entre los vecinos, logrando un equilibrio local entre la oferta y la demanda, reduciendo las pérdidas de transmisión.

### **Carga de vehículos eléctricos**

El uso masivo del vehículo eléctrico es relativamente nuevo, porque en el pasado los altos costos de fabricación, su autonomía, vida útil reducida, hacían que no pudiesen competir con los autos convencionales de gasolina o diésel. Gracias a los desarrollos tecnológicos en baterías y motores eléctricos de alta eficiencia, empresas nuevas como Tesla, desarrollaron y lanzaron al mercado vehículos eléctricos con prestaciones comparables

con los vehículos convencionales. Esto obliga a otras empresas automotrices de vieja data, en empezar a desarrollar sus propios vehículos eléctricos, tanto que actualmente ya existen gran variedad de vehículos eléctricos disponibles en el mercado. El inconveniente actual, se debe al pequeño número de estaciones de carga para los vehículos eléctricos, puesto que la mayoría de las estaciones de carga requieren que los usuarios firmen un contrato anticipadamente con un proveedor local de electricidad, lo que hace que la carga de un vehículo en otra ciudad sea un reto casi imposible. Una solución sería pagar con tarjeta de crédito, lo cual se incurriría en aumento de gastos o por el contrario pagar en la forma tradicional, en efectivo, pero no sería una forma de innovar.

Con la implementación de un comercio de electricidad peer to peer, visto anteriormente, los vehículos eléctricos podrán recargar sus baterías en puntos de venta privados. Por ejemplo, en el momento que un usuario estacione su vehículo y lo conecte en cualquier estación de carga gestionada por una red BlockChain, se empieza un proceso de ejecución de micro-transacciones de forma continua a través de un canal abierto de la red, casi en tiempo real, hasta completar la carga requerida. Lo anterior asegura que el propietario del vehículo recibe toda la electricidad necesaria sin tener que confiar en la estación de carga o viceversa. Si la persona que está cargando su vehículo deja de pagar, el flujo de electricidad también se detiene (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

#### **4.3.1.4 Funcionamiento de red**

Los centros de control para una empresa de energía son el núcleo de operaciones donde se gestionan la mayoría de los activos de la red eléctrica. En la actualidad estos centros de control están altamente automatizados, pudiendo registrar todas las alarmas de fallos de un activo instantáneamente, operar de forma remota todos los equipos de maniobra, para las diferentes configuraciones de red, ante la presencia de una falla, pudiendo restablecer el servicio a todos los usuarios o aislar la zona de falla en el menor tiempo posible. La gran apuesta del uso de la tecnología BlockChain, reside en que se pueden mejorar los procesos en este campo altamente automatizado, llegando a un nivel más alto en seguridad y un aumento significativo de la eficiencia.

Hay un potencial desarrollo del uso de BlockChain en el internet de las cosas (IoT), que “es una red de objetos físicos, vehículos, máquinas, electrodomésticos y más, que utiliza sensores y APIs para conectarse e intercambiar datos por internet” (SAP, s.f., p. s/p).

Gracias a la estructura distribuida de la tecnología BlockChain, podría ser utilizado como una plataforma para el tráfico de datos y para la automatización, además para crear un mercado para la respuesta de la demanda, ágil y confiable.

### **Monitoreo y medición**

Con la evolución de la IoT, en paralelo con el uso de la tecnología BlockChain, se puede obtener más posibilidades de supervisión de las máquinas y dispositivos que interactúan y comunican entre sí, se abren nuevas posibilidades para el monitoreo de los sistemas, por ejemplo, las subestaciones eléctricas y la recolección de los datos de medición de energía de los usuarios (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

En los centros de control es importante el constante monitoreo de todas las variables, como el voltaje, frecuencia y potencia de los diferentes circuitos que componen la red de energía. Estos datos medidos deben ser procesados y validados de forma segura y rápida, para tomar acciones ante una contingencia o fallo en la red. Con la ayuda de los contratos inteligentes de BlockChain, programados previamente con instrucciones de maniobras de equipos de potencia, al momento de percibir si hay desviaciones significativas de los datos medidos y monitoreados, se podrían despejar fallas en la red para retomar el servicio de energía en un área determinada. Además, se podrían dar avisos a cuadrillas de mantenimiento y dotarlos con información relevante, para que atiendan la falla.

En conclusión, la tecnología de BlockChain sería una herramienta poderosa para la toma de decisiones de forma automática, muy eficiente y segura, para atención de contingencias de la red eléctrica.

### **Servicio auxiliar**

Los operadores de red son los encargados de mantener el servicio de energía en su zona de influencia, con los estándares normativos que regulan la prestación de servicio eléctrico. Entre esos estándares normativos se encuentra, la disponibilidad ininterrumpida del servicio eléctrico, que genera penalidades hacia el operador de red, cuando se supera un valor límite de horas de indisponibilidad. Gracias al desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía, como los bancos de baterías de litio para el almacenamiento de grandes cantidades de energía, los tiempos de respuesta para el restablecimiento del servicio, se pueden reducir sustancialmente, debido a que estos bancos de baterías esta

disponibles todo el tiempo y tienen una respuesta inmediata. Lo anterior beneficiará en la estabilización de la red eléctrica y tiempos de reacción más rápidos de lo que sería posible, con la alternativa de almacenamiento por bombeo de agua para producir energía (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Con una red IoT basada en tecnología BlockChain, los equipos de los hogares se podrían utilizar para hacer una gestión de la demanda. En el momento de una falla en la red, los usuarios podrían contribuir en sus hogares reduciendo el consumo de energía con ayuda de un deslastre temporal de cargas no esenciales, como aires acondicionados, y calentadores, de una forma automática y en estos casos, el operador de red puede retribuir económicamente a los usuarios.

Otra aplicación de una red IoT de BlockChain, consiste en crear aplicaciones que deslastren cargas no esenciales en momentos del día en que las tarifas de energía sean altas y las conecten nuevamente cuando los valores de la energía este por debajo de un límite preestablecido, en lo cual entraría en juego nuevamente los contratos inteligentes de la BlockChain.

Para el almacenamiento de energía en baterías por parte de un Prosumidor, una red IoT de BlockChain, podría indicarle al inversor desconectarse de la red de distribución en momentos que la tarifa de la energía tenga valores bajos, para llevar la energía hacia los bancos de batería hasta que los valores de mercado este altos y se pueda del comando de conectar el inversor a la red. De la anterior forma, un Prosumidor podría maximizar sus ganancias.

### **Centrales eléctricas virtuales**

Una de las limitantes que tiene aún la generación de energía renovable es su intermitencia, la capacidad de generar energía continuamente. Un ejemplo usual es la generación de energía con paneles fotovoltaicos, los cuales dependen de la intensidad solar y en muchas ocasiones, días nublados pueden reducir significativamente la producción de energía y a mediodía que se aproxima la noche la producción tiende a disminuir a cero. Las granjas de energía con molinos eólicos pueden generar de día y de noche, pero en ocasiones la variación del flujo del viento hace que esta generación no sea constante (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Para resolver la limitante de las energías renovables, se pueden combinar varias generadoras de diferente tipo de fuente de alimentación, como solar, eólicas, pequeñas centrales hidroeléctricas, biogeneradores, y con la ayuda de una red IoT basada en tecnología BlockChain, gestionar y controlar por medio de los contratos inteligentes, consiguiendo automatizar todas las generadoras como si fuera una sola, alternando la generación de las que estén disponibles, lo cual puede lograr una generación constante en una determinada área local de influencia.

#### **4.3.1.5 Certificado para el comercio**

A nivel industrial las empresas tienen ciertos beneficios tributarios por parte de los gobiernos y mejora la imagen hacia sus clientes, cuando tienen generación renovable dentro de sus instalaciones, que reemplazan parte de la energía producida por fuentes convencionales como el diésel, gas natural, combustibles, que generan gran CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Esta reducción de gases de efecto invernadero debido a la utilización de la energía renovable en sus procesos productivos, debe ser comprobada con la generación de certificados de emisiones, que por lo general son costosos y demorados debido a los costos asociados al pago de empresas de auditoria. Nuevamente con el uso de la tecnología BlockChain, se pueden generar estos certificados a un menor costo, de manera inmediata y sin el requisito de confianza, eliminando el uso de dichas empresas auditoras (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

Por otro lado, las empresas de energía renovable, necesitan certificar que su generación de energía es derivada de fuentes renovables. Muchos clientes potenciales se están concientizando del cuidado del medio ambiente y como requisito, le exigen a su comercializadora de energía, que les comprueben que la energía que consumen es derivada de una fuente renovable.

#### **Certificación de emisión**

En el medio industrial, hay sectores de producción que pueden disminuir sus emisiones a un costo relativamente bajo, pero hay otros sectores que tendrían que hacer grandes inversiones en tecnologías renovables, para reducir el porcentaje mínimo exigido por el gobierno de sus emisiones totales. Con la ayuda de la BlockChain se puede generar valor a los certificados de emisiones, y establecer un nuevo comercio donde empresas les

venden certificados de emisiones a otras empresas, por ejemplo, una central eléctrica hidráulica le podrá vender a una generadora de energía a base de carbón (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

El sistema de comercio de emisiones fácilmente podría organizarse a través de una aplicación en BlockChain, usando tokens virtuales, que reemplazarían los certificados de emisión tradicionales de papel, con la ayuda de un comercio peer to peer a través de un BlockChain, sin tener confianza entre los actores de la negociación, ni el uso de un intermediario. Con la utilización de dispositivos de medición que compensan las emisiones generadas directamente en la BlockChain, se puede lograr un alto grado de automatización y por lo tanto un aumento de la eficiencia (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).

La tecnología BlockChain se podría utilizar para la generación y comercialización de certificados de reducción de emisiones (CER) que equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmosfera, los cuales pueden ser vendidos a países del Anexo I, del Protocolo de Kioto, en general a todos los países industrializados. Adicionalmente pueden ser vendidos a individuos y empresas que están interesadas en reducir su huella de carbono, ya sea voluntariamente o por cumplimiento de reducción de carbono de la regulación de su país.

### **Certificados de energías renovables**

Como se mencionó anteriormente, con el uso de los certificados de energía renovables, tanto como el generador y el consumidor pueden demostrar que su consumo de energía eléctrica, proviene de fuentes de energías renovables. Con el método de expedición convencional, donde se necesitan auditorias certificadas, dicho certificado eventualmente no ofrece ninguna garantía de que en realidad los electrones que se consumen, vengan de una fuente verde, debido a que se transmiten a través de una red eléctrica, donde muchas fuentes de generación están aportado energía. Entre más garantía se requiera, mayor serán los costos de tramitación.

La tecnología BlockChain puede simplificar y automatizar este proceso utilizando contadores inteligentes que registran la electricidad suministrada a la red en forma de tokens que equivalen a Kilovatios hora (kWh) se efectúan en tiempo real y de forma automática con ayuda de contratos inteligentes, transacciones de energía con un

generador renovable de la preferencia del consumidor (Reichmuth, Schar, & Roth, 2018, p. 19-41).



## **5.Resultados de la investigación**

El siguiente apartado contiene los resultados finales, que permitieron proponer la estructura de una nueva unidad de negocio para la venta de energía eléctrica derivada de fuentes renovables no convencionales, adoptable a empresas de comercialización de energía. Esto gracias al cumplimiento de los dos objetivitos específicos del proyecto de grado, uno de los cuales está orientado al análisis de las unidades de negocios que han sido implementados en otros países que están a la vanguardia de las tecnologías de generación de energía limpia y el otro al estudio de la estructura de las diferentes unidades de negocio con que cuenta una de las empresas líder del sector en el área de comercialización de energía eléctrica, específicamente la Empresa Comercializadora de Colombia. Así entonces, a continuación, se desarrolla cada uno de ellos y finalmente se presenta la propuesta del proyecto de grado.

### **5.1 Aplicaciones de BlockChain**

Se presentan como una serie de aspectos que se podrían realizar en un futuro para emprender investigaciones similares o fortalecer la investigación realizada.

Gracias al avance de la tecnología BlockChain, las empresas en especial las dedicadas a la generación y comercialización de energía eléctrica, han desarrollado e implementado proyectos piloto, para ir explorando posibles soluciones a problemas que actualmente cuentan. A continuación, se expondrán los más importantes desarrollos y aplicaciones pilotos implementadas en el mundo.

#### **Proyecto Brooklyn Microgrid de LO3 de Energy**

LO3 Energy, Inc. es una empresa de tecnología energética ubicada en la ciudad de Nueva York, que ha desarrollado el proyecto Brooklyn Microgrid (BMG) en colaboración con la empresa Siemens. Este proyecto piloto fue lanzado en abril de 2016. El comercio de

energía del consumidor fue posible mediante el uso del software seguro 'Ethereum BlockChain' con pagos a través de PayPal. A futuro pretende construir una plataforma para permitir modelos comerciales descentralizados y tecnologías innovadoras relacionadas con la energía, tecnología limpia y sistemas de servicios públicos.

Combinando la tecnología de contabilidad digital descentralizada de BlockChain, con métodos innovadores para capitalizar la energía y los datos, crearon una plataforma de datos autorizada para desarrollar mercados localizados, para realizar transacciones de energía a través de la infraestructura de red existente.

Entre las posibilidades de negocio que descubrieron, se encuentra el comercio de igual a igual (P2P) que permite a los Prosumidores realizar transacciones de energía de forma autónoma en tiempo casi real, con los consumidores de la plataforma, en su mercado local. Recordemos que un Prosumidor es un usuario que decide instalar generación de energía en su casa para autoabastecerse y vender energía a la red en casos de tener excedentes. Además, gracias a la arquitectura en Microrred, la energía se genera, almacena y transita localmente, creando comunidades más eficientes, resistentes y sostenibles. El operador del sistema distribuido (DSO) tiene acceso a los datos del consumidor, como los sistemas de gestión de edificios. Utilizando el precio como proxy, el DSO gestiona el uso de energía, el equilibrio de carga y la respuesta de la demanda a las tarifas negociadas. Tiene un gran potencial en estaciones de carga públicas o privadas de vehículos eléctricos. Cuando un vehículo eléctrico tiene un excedente de energía, este estará disponible para su compra en la red local. Los consumidores pueden establecer presupuestos y recibir alertas sobre la disponibilidad a través de la aplicación móvil (LO3 ENERGY, 2016, s/p).

### **Moneda criptográfica “Solar Token”**

Es una iniciativa ambiciosa basada en tecnología BlockChain de la empresa chilena Belinus, que permitirá comercializar energías derivadas de fuentes renovables no solo local, sino internacionalmente a todos los países del mundo. La unidad por comercializar será el Solar Token, que equivaldrá a un kilowatts-hora de energía producida solo de energías renovables y amigables para el planeta.

Este proyecto fue lanzado al mercado mundial el 8 de octubre de 2019, con la criptomoneda llamada Solar Token, diseñada por la empresa Génesis Zero de la ciudad

de Dubái. Hasta el momento de su lanzamiento no existían monedas criptográficas solo enfocadas a las energías renovables. Lo anterior ayudará a impulsar el uso de estas. Cabe aclarar que la primera versión beta de la plataforma para explotación comercial real no está disponible, sus desarrolladores estimaron que estaría para el presente año 2020.

La empresa Belinus asegura que este proyecto, permitirá que las transacciones de energía entren en un mercado liberalizado, otorgando mayor poder a los usuarios para acceder a nuevos mercados, no solo locales, sino internacionales utilizando la criptomoneda Solar Token (Marchetti M., 2019, s/p).

### **La empresa Endesa y transacciones en el mercado mayorista**

Las empresas españolas Endesa y Gas Natural Fenosa realizaron en febrero de 2018, la primera compra venta de energía en un mercado mayorista, gracias a la utilización de la tecnología BlockChain. La transacción represento en suministro de gas natural para la producción de energía por parte de Endesa para un total de energía de 5,95 GWh.

La plataforma de BlockChain utilizada es llamada Enerchain, que fue desarrollada por la empresa alemana PONTON, la cual cuenta hasta en día de hoy con más de 39 empresas energéticas asociadas de toda Europa. Dicha plataforma permite realizar transacciones de electricidad y gas, y abarca todas las zonas de influencia de las empresas asociadas.

Un proyecto más actual basado en la tecnología BlockChain es el llamado CONFIA, que es una iniciativa de carácter social que permite a los servicios sociales de Ayuntamiento de la ciudad de Málaga España, detectar de manera anticipada a los consumidores que estén en situación de extrema pobreza energética y poder gestionar de una manera ágil los bonos sociales que pueden acceder de acuerdo a la ley (endesa, 2018, s/p).

### **La empresa Iberdrola y la acreditación de las energías renovables**

En el año de 2019, Iberdrola culmino un proyecto piloto que les garantiza a sus usuarios, en tiempo real, que la energía que consumen proviene de plantas de generación alimentadas con fuentes renovables. Una de las primeras transacciones de energía acreditada en tiempo real, se realizó con las diferentes sedes del banco Kutxabank con sede principal en Bilbao España. El proyecto piloto consistió en conectar la generación de la energía renovable producida por tres centrales de generación ubicadas en diferentes

lugares, donde la primera fue la central hidroeléctrica de San Esteban Ubicada en la ciudad de Orense y los parques Eólicos de Oiz y Marranchón, ubicados en las ciudades de Vizcaya y Guadalajara respectivamente. Estas plantas de generación establecieron contratos en la plataforma de BlockChain para suministrar energía eléctrica a la sede del banco Kutxabank, la empresa de comunicaciones Euskaltel y la torre de Iberdrola ubicadas en el país vasco, y el campus Iberdrola en la ciudad de Madrid (Iberdrola, 2019, s/p).

Iberdrola sustenta que el uso de la tecnología BlockChain, permite eliminar intermediarios en la cadena del suministro de la energía, gracias a que los contratos inteligentes de BlockChain con acuerdos previamente establecidos, se ejecutan automáticamente al momento de efectuarse la transacción, lo que se traduce en una mayor eficiencia de los procesos y en un menor costo de la energía para el usuario. También permite asignar en una forma apropiada los activos de generación, de acuerdo con la demanda y a los costos de generación. Las ventajas son muchas entre las cuales se encuentran, el mayor grado de la trazabilidad en cada certificación, los usuarios se sienten más confiados al percibir mayor transparencia y seguridad en cada transacción, pudiendo fiscalizar la información en cualquier momento, gracias a la propiedad de los datos almacenados en la BlockChain, los cuales son seguros e inalterables.

Para desarrollar la plataforma de BlockChain, Iberdrola contrato a la empresa en Energy Web Foundation, la cual desarrollo de infraestructura de software abierta y descentralizada, escalable diseñada específicamente para el sector eléctrico, para temas regulatorios y operación de un mercado eléctrico. Los clientes podrán visualizar en una página web, lo datos relacionados con su consumo, validando de donde viene la energía (Iberdrola, 2019, s/p).

Iberdrola expresa que para la firma de contratos de venta de energía verde a largo plazo (PPA) es importante garantizar la acreditación de la energía, lo que impulsa el crecimiento del consumo de esta energía limpia. Un ejemplo es otro contrato adicional a largo plazo logrado, con el mismo banco Kutxabank para el suministro de energía verde, generada por el mayor proyecto fotovoltaico de Europa, llamado planta solar Nuñez de Balboa localizado en la ciudad de Extremadura (Iberdrola, 2019, s/p).

Iberdrola ha desarrollado otros proyectos relacionados con tecnología BlockChain en conjunto con otras empresas, como es el caso del proyecto con otras empresas de sector energético, para la compraventa de energía y gas natural en los mercados mayoristas. Este proyecto permitirá realizar transacciones de energía entre dos agentes (generador-comercializador) bajo la modalidad peer to peer, sin la necesidad de ningún intermediario. Una plataforma de BlockChain permitirá a los agentes comprar y vender energía de forma directa, sin la necesidad de un mercado organizado, donde todas las transacciones de energía serán validadas y guardadas de forma segura en las base de datos de BlockChain. Los agentes podrán validar solo la información relevante y propia, manteniendo oculta la información de los demás agentes (Iberdrola, 2019, s/p).

### **La empresa Acciona y la trazabilidad de la energía**

En febrero de 2019 la compañía eléctrica Acciona presento en España, al vicepresidente de Desarrollo Económico del Gobierno de Navarra, Manu Ayerdi, y a una representación del Cluster Eólico de Navarra (Enercluster), la plataforma Greenchain, aplicación que permite a los clientes de la compañía, comprobar en tiempo real, a través de la tecnología BlockChain, cuánta electricidad de origen renovable se les asigna de la producida por la compañía y de qué planta renovable proviene. Dicho de otro modo, Greenchain (cadena verde en inglés) es una plataforma que permite conocer en tiempo real la cantidad y el origen de la energía renovable que consumen los clientes (ENERGÍAS RENOVABLES, 2019, s/p).

El Centro de Control de Energías Renovables de Acciona (CECOER) gestiona la operación de 13.700 megavatios en instalaciones renovables. Concretamente, el año pasado gestionó 33,7 teravatios hora de electricidad, el equivalente al consumo de 9 millones de hogares en 20 países. Según explican desde Acciona, en términos de operación y mantenimiento, el CECOER es uno de los principales centros de control de energías renovables del mundo, pionero en soluciones técnicas relacionadas con la integración en red, adaptación a huecos de tensión y modelos de alta fiabilidad de predicción (ENERGÍAS RENOVABLES, 2019, s/p).

### **La empresa Axpo y su proyecto Elblox**

Elblox es un proyecto que opera bajo la tecnología BlockChain, desarrollado por la empresa de servicios energéticos Axpo Holding AG con su sede principal en la ciudad de

Baden, Suiza. Axpo en asocio con la empresa comercializadora local Wupper-taler Stadtwerke (WSW), pretende poner a disposición de los clientes de WSW, la posibilidad de escoger su tipo de energía, mediante una plataforma de BlockChain que muestra la energía ofertada por diferentes generadores con plantas eólicas, biomasa, solares e hidroeléctricas. Los clientes una vez decidan su mix de energía para un periodo en particular, podrán negociar directamente con cada uno de los generadores (elblox, s.f., s/p).

Los clientes o consumidores de electricidad de WSW, tienen la posibilidad de visualizar en un entorno amigable, las diferentes ofertas de energía, clasificadas según el tipo energía verde, su precio, el lugar de producción (elblox, s.f., s/p). Adicionalmente la plataforma ayuda a gestionar la energía a pequeños generadores de energía para autoconsumo y a comercializar excedentes ocasionales.

La plataforma ofrece otros servicios adicionales, como la fácil integración a desarrollos de redes inteligentes, ofreciendo a los clientes total transparencia sobre su consumo de energía. Además, puede integrar fácilmente casas inteligentes permitiendo gestionar los equipos que la componen, para lograr un autoconsumo optimizado, controlando todas las cargas según el precio de la energía en un periodo determinado (elblox, s.f., s/p).

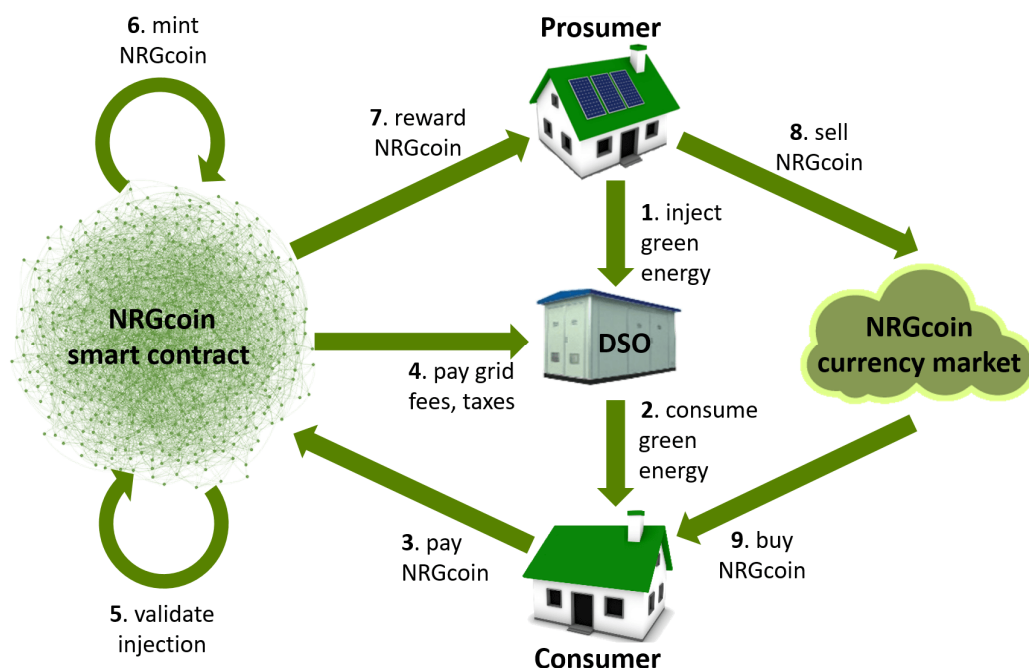
### **La empresa PONTON y su plataforma BlockChain**

En el mercado mayorista de energía, la empresa PONTON tiene como objetivo desarrollar soluciones comerciales de productos de energía inteligentes, para mercados regionales utilizando tecnologías BlockChain. La plataforma BlockChain desarrollada, se utilizó con éxito para el comercio de energía entre las empresas Yuso y Priogen en 2016. Después de la prueba, PONTON se asoció con más de 40 empresas de comercialización de energía europeas y empresas de servicios públicos para desarrollar una plataforma de comercio al por mayor de la energía P2P, que soportará una amplia gama de negocios de productos con entrega física y también se centrará en los mercados regionales y los diferentes marcos de tiempo con un día de antelación, de carga base mensual, trimestral y anual de energía y gas. Además, PONTON es un socio clave del proyecto alemán Norddeutsche Energiewende 4.0, con el objetivo de lograr una negociación inteligente, flexible, con equilibrio de la energía local a través de su plataforma de EnerChain (PONTON, s.f., s/p).

### La empresa Enervalis y su proyecto NRGcoin

NRGcoin es un proyecto de la industria y la academia, que se desarrolló originalmente en la Vrije Universiteit Brussel y actualmente está siendo ampliado a un contexto industrial por la empresa Enervalis. El mecanismo NRGcoin reemplaza las políticas tradicionales de soporte renovable de alto riesgo, con un nuevo contrato inteligente basado en BlockChain, que recompensa mejor la energía verde (NRGcoin, s.f., s/p).

**Figura 5-1.** Modelo de negocio NRGcoin



**Fuente:** página de internet, <https://nrgcoin.org/about>.

Por cada kilovatio-hora de energía verde, los consumidores pagan un (1) NRGcoin directamente al Smart Contract. Esta relación (1kWh = 1NRGcoin) siempre se mantiene, independientemente del valor minorista de la electricidad. El Contrato Inteligente, luego paga todas las tarifas e impuestos de la red al DSO de las monedas pagadas por el consumidor. El Smart Contract luego valida la inyección informada de energía verde por parte de los Prosumidores, utilizando una variedad de métodos (NRGcoin, s.f., s/p).

Si todos los informes se verifican, el Smart Contract acuña nuevas NRGcoins y recompensa a los Prosumidores por su energía verde inyectada. Los Prosumidores pueden vender esas monedas en un mercado de divisas o usarlas para pagar la energía verde más adelante. El mercado de divisas es donde los consumidores compran sus

NRGcoins para pagar su consumo. Cuando se paga energía, las monedas asociadas no se destruyen, sino que permanecen en circulación. Para evitar una inflación excesiva, la tasa de acuñación disminuye con el tiempo.

### **Ventajas.**

- Elimina el riesgo de cambio de política para los Prosumidores. La remuneración por la energía verde se rige por un contrato inteligente inmutable, que los actores del mercado no pueden cambiar. Por lo tanto, los Prosumidores tienen garantías a nivel Blockchain en sus recompensas por la energía que inyectan.
- Resulta una energía verde más barata para los consumidores. Una unidad de NRGcoin es siempre igual a un kilovatio-hora de energía verde, independientemente del precio de la electricidad en moneda fiduciaria. Cuando el precio de la electricidad aumenta, 1 NRGcoin comprado a un precio más bajo, aún se comprará 1kWh de energía.
- Ofrece un flujo de caja más rápido para los servicios públicos. En lugar de recibir el pago por la energía una vez al mes, la moneda basada en Blockchain puede pagar automáticamente el consumo cada 15 minutos a costos generales prácticamente nulos. Además, NRGcoin reduce los costos de los servicios públicos, ya que no necesitan pagar a los Prosumidores por su energía. En cambio, el Smart Contract acuña la moneda y paga a los Prosumidores.
- Reduce la necesidad de esquemas de apoyo renovable del gobierno. El Smart Contract genera una nueva moneda y recompensa a los Prosumidores por su energía verde. Por lo tanto, NRGcoin puede ahorrar el presupuesto del gobierno, sin reducir los incentivos para las energías renovables.
- Dado que NRGcoin hace que la energía verde sea más barata para los consumidores, ahora tienen incentivos para cambiar su consumo a períodos en los que se produce energía verde. Este cambio da como resultado una demanda máxima más baja, que ayuda a estabilizar la red y minimizar el estrés en la infraestructura de la red (NRGcoin, s.f., s/p).

### **Desventajas**

- Si bien NRGcoin ofrece numerosas ventajas a diferentes partes interesadas, existen varias deficiencias. El concepto se basa en la tecnología Blockchain y los contratos inteligentes, que son tecnologías muy nuevas y que cambian

rápidamente. Son bastante diferentes de las tecnologías establecidas y son relativamente complejas de entender. Además, la regulación no está clara y, por lo tanto, la adopción es lenta. Estos factores hacen que el concepto NRGcoin sea demasiado temprano para la adopción masiva. Sin embargo, la tecnología BlockChain y los contratos inteligentes evolucionan y mejoran constantemente.

- Con respecto a las deficiencias del concepto NRGcoin en sí, todavía hay algunos aspectos del mecanismo que deben resolverse adecuadamente. Algunos de estos están relacionados con el modelo económico, la seguridad de las transacciones y la prevención de manipulaciones, entre otros (NRGcoin, s.f., s/p).

### **La Startup Power Ledger**

Power Ledger es un startup tecnológico de rápido crecimiento, que ha desarrollado una primera plataforma de comercio de energía habilitada por BlockChain, para hacer que los mercados de energía sean más eficientes. Ayudan a las personas a realizar transacciones de energía, comerciar con productos ambientales e invertir en energías renovables. El software propietario de Power Ledger, se está utilizando actualmente en varios países, incluidos Australia, Tailandia, India, Japón y Estados Unidos.

Este software opera en tres mercados clave:

#### **Comercio de energía**

El software de comercio de energía se puede utilizar para comprar y vender electricidad en tiempo real. Un Prosumidor puede usar nuestra plataforma para vender el exceso de energía a su vecino. Si dispone de almacenamiento de batería, puede almacenar su energía y venderla cuando la tarifa de la energía esta alta, para maximizar sus ganancias de la energía que genera (Power Ledger, s.f., s/p).

De manera similar a la negociación de acciones en una bolsa de valores, puede establecer precios de compra y venta para poder intercambiar energía al precio adecuado. Se brinda seguridad y tranquilidad, al registrar todas las transacciones en la base de datos de BlockChain.

#### **Comercio de productos ambientales**

Esta tecnología se puede utilizar para hacer que el comercio de productos ambientales y créditos de energía renovable sea más transparente, seguro y eficiente. El mercado para

el comercio de productos básicos ambientales está evolucionando rápidamente, y existe una presión creciente para garantizar que los créditos, no se cuenten doblemente o se malversen.

La tecnología desarrollada de BlockChain, se puede usar para rastrear energía de fuentes renovables para compensar las emisiones, así como rastrear la multitud de transacciones relacionadas con productos ambientales y créditos de energía renovable (Power Ledger, s.f., s/p).

## **5.2 Estructura actual del modelo de negocio**

La Empresa Comercializadora de Colombia, inicio con los Contratos de Compra de Energía (Purchase Agreement) con sus siglas en Ingles (PPAs), cuya principal característica, es que garantiza a los clientes por un periodo a largo plazo, normalmente a 10 años, un precio estable de la energía consumida. Las grandes y pequeñas empresas están recurriendo cada vez más a los PPAs, por motivos varios, como el incremento de la conciencia medioambiental o por el impulso de una eficiencia económica con el uso eficiente de la energía. Estos contratos le garantizan a las empresas de forma segura el retorno de la inversión y un buen índice de utilidades, en desarrollos de proyectos en energías renovables.

### **Contratos PPAs**

Los contratos PPAs ofrecen variadas ventajas, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Incrementa la reputación ambientalista y sostenible de la empresa, cumpliendo los objetivos trazados.
- Reduce el precio de energía que percibe el cliente.
- Permite ejecutar proyectos a largo plazo.
- Minimiza los riesgos asociados a la volatilidad del mercado eléctrico.
- Mejora los procedimientos y cronogramas, permitiendo un ahorro en la inversión y posteriores mantenimientos.
- Asegura la disponibilidad de energía en periodos futuros.

Otra ventaja inherente, es que reduce la temperatura de las instalaciones donde se implementan techos solares, al servir como otra barrera que no permite que la radiación solar, caliente los tejados o techos convencionales.

### **Contratos EPC**

Otro modelo de contrato que esta implementado la Empresa Comercializadora de Colombia, es el EPC (Engineering, Procurement and Construction) también llamado "llave en mano". La Empresa Comercializadora de Colombia, desarrolla la ingeniería, se encarga del suministro y construcción de determinado proyecto, donde asume las obligaciones propias del proyecto, la mayoría de los riesgos y se encarga de conseguir todos los suministros y desarrollar toda la ingeniería básica y detallada del proyecto.

En esta modalidad de contratación se elimina la relación convencional cliente-ingeniero auditor o supervisor y contratista, que se presenta en ejecución de proyectos, quedando solo una relación empresario o cliente y contratista, donde inicialmente se acuerdan unos requisitos o características del proyecto, y el contratista debe cumplir a cabalidad asumiendo la mayor parte del riesgo.

El cliente y el contratista que este caso en la Empresa Comercializadora de Colombia, pactan inicialmente todas las características del proyecto, con un precio que por lo general es mayor a un contrato convencional. La Empresa Comercializadora de Colombia debe asumir todos los riesgos y puede estar expuesto, por ejemplo, a variaciones en precios de los suministros, penalidades por incumplimientos. El cliente podrá hacer auditorías al avance del proyecto, sin llegar hacer tan riguroso en los procedimientos internos de la Empresa Comercializadora de Colombia, solo deberá estar supervisando que los hitos del proyecto se cumplan en los tiempos determinados y suministrar información o gestionar los permisos necesarios, que requiera el contratista. Es decir, la intervención del cliente es mínima, puesto que el ingeniero que disponga para las auditorias no tendrá el perfil de un ingeniero residente de obra, solo tendrá un perfil con funciones de vigilancia y control respecto de la adecuada ejecución de la obra. De no cumplirse lo anterior el contrato pierde su esencia de EPC, haciendo que la Empresa Comercializadora de Colombia no tenga cierta autonomía y que el cliente no se libere de parte de la responsabilidad (Prado, 2014, s/p).

Al momento de la firma de contrato, la Empresa Comercializadora de Colombia tendrá el compromiso de asumir la mayoría de los riesgos, pero sin llegar a asumir los riesgos de fuerza mayor como catástrofes naturales o sociales.

En conclusión, en los contratos EPC o llave en mano, la Empresa Comercializadora de Colombia tendrá la responsabilidad de realizar toda la ingeniería, suministro de todos los materiales y equipos, contratación y manejo de todo el personal, ejecución de obras civiles, mecánicas y eléctricas, gestión de permisos y licencias ante la autoridad local con el debido aval del cliente, puesta en marcha o en servicio del proyecto, con todos los requerimientos técnico, ambientales y administrativos pactados en el contrato. En la ejecución de la obra solo podrá realizar una limitada subcontratación para actividades menores, no para actividades principales del proyecto.

El cliente o contratante solo debe limitarse a realizar las inversiones de dinero necesarias para el financiamiento de las obras, solo comprometiéndose a entregar de forma oportuna los terrenos o servidumbres donde se construirá el proyecto y la gestión de permisos área de construcción en caso de requerirse. El contratante podrá acordar con el contratista la entrega de un anticipo de dinero al inicio del proyecto y pago total cuando el proyecto se entregue a satisfacción y sin ningún pendiente (Prado, 2014, s/p).

#### Proyectos Retail Solar

Gracias al creciente interés de los consumidores de tipo residencial o comercial en generar su propia energía y vender sus excedentes a la red, ya sea por simpatía ambiental y por un negocio rentable, el vender soluciones integrales donde se instalan techos solares a la medida del cliente, es otra línea de negocio que está implementando la Empresa Comercializadora de Colombia.

De acuerdo con la necesidad del cliente y a las limitaciones técnicas que pueda tener el punto de conexión eléctrica, se diseña, suministra y se pone en servicio una instalación fotovoltaica, regularmente sobre los techos de las casas. Entre las limitaciones técnicas se encuentran la capacidad de cargabilidad de los techos, que se define como la capacidad en kilogramos por metro cuadrado que puede soportar el techo existente. Otra limitante es la capacidad de potencia de instalación en kilo Watios (kW), que pueda soportar el circuito de conexión a la red, en el caso de venta de excedentes, cuya información debe ser

suministrada por el operador de red. La oportunidad de producir y vender todos los excedentes de energía a la red de distribución, los cuales deben ser comprados por el comercializador de energía a una tarifa regulada por la CREG, hace que un consumidor establezca la figura de Prosumidor.

Entre otras condiciones mínimas que deben cumplirse para la instalación de proyectos fotovoltaicos de tipo residencial o comercial, se encuentran las siguientes:

- La vivienda debe estar conectada a la red de distribución.
- Si no es dueño de la vivienda debe tener permiso notariado del verdadero dueño.
- La compañía efectuará visitas periódicas para validar que las instalaciones cumplen con los requisitos mínimos.
- Si el proyecto se instala sobre el techo de la vivienda, este debe tener la capacidad se soportar el peso de los paneles solares.

La solución solar para hogares se compone de un kit fotovoltaico que va desde un (1) kW hasta siete (kW) pico, que incluye la instalación y puesta en servicio, mantenimiento y hasta la financiación. Los kits suministrados por la Empresa Comercializadora de Colombia constan de lo siguiente:

- Un sistema solar compuesto por paneles fotovoltaicos, con una capacidad mínima 1.0 kilo Watio (kW); un inversor de DC a AC y un sistema de monitoreo que permite el monitoreo de las variables de consumo y generación, vía señal celular.
- El suministro cuenta con la instalación, asesorías y mantenimiento durante la vida útil del proyecto.
- Permite a los clientes financiación del sistema solar hasta del 100%, entre 1 y 6 años.
- Ofrece garantías sobre la instalación de sistema y sus equipos hasta un año gratis del mantenimiento preventivo.
- Entrega Certificación RETIE del sistema solar.
- Asesoría al cliente para que trámite los requerimientos ante su Operador de Red y pueda vender sus excedentes de energía.

### 5.3 Propuesta de la nueva unidad de negocio para la Empresa Comercialización de Colombia.

La Energía 4.0 es un término muy usado actualmente y muy ligado a la cuarta revolución Industrial. Es por este motivo, que buscar nuevas formas para que los procesos sean eficientes y rentables, es el gran objetivo de todas las empresas relacionadas con el sector energético. La Energía 4.0 se entiende, como la respuesta de qué forma, como las empresas de energía deben adaptarse y reinventarse a los nuevos modelos de negocio. Es lo que se conoce como la Revolución Industrial 4.0 en el sector energético, una transformación que viene de la mano de la digitalización a todos los niveles. Es por estas razones que la propuesta de la nueva unidad de negocio va muy ligada a las nuevas tecnologías, específicamente a la tecnología BlockChain.

A continuación se presenta el desarrollo de la nueva unidad de negocio, estructurada con la ayuda del método Canvas, que nos permitirá mantener una constante visión de la unidad de negocio, desde diferentes perspectivas: comercial, mercado, canales de distribución, etc.

**Tabla 5-1:** Modelo Cavas, propuesto para la nueva unidad de negocio.

<p><b>Socios Clave</b></p> <p>IBM SAP Comerciantes PowerLedgers</p>	<p><b>Actividades Clave</b></p> <p>Plan comercial Desarrollo de la plataforma. Incentivos para el uso de energías limpias</p> <p><b>Recursos Clave</b></p> <p>Red BlockChain, Red de medidores inteligentes. Programadores</p>	<p><b>Propuesta de Valor:</b></p> <p>Mercado de Energía Renovables con ayuda de la tecnología BlockChain, que permitirá al cliente comercializar sus excedentes de energía con su Operador de Red y a otros usuarios de la Red, de una manera confiable, rápida y segura.</p>	<p><b>Relaciones con Clientes</b></p> <p>Redes sociales Correos, Electrónicos, Visitadores comerciales</p> <p><b>Canales</b></p> <p>Internet, APP´s Plataforma de BlockChain.</p>	<p><b>Segmentos Clientes</b></p> <p>Clientes regulado y No regulados. Usuarios con pensamiento ambientalista. Generadores distribuidos, Prosumer, Medianos y Grandes Generadores de electricidad Limpia.</p>
<p><b>Estructura de Costes</b></p> <p>Costos asociados a la Red BlockChain Costos de Comercialización y Marketing Costos de equipo de medición Costos asociados al desarrollo de la plataforma de BlockChain y APP's.</p>		<p><b>Fuentes de Ingreso</b></p> <p>Transacciones P2P, Trading de Energía Compra y venta de energía Tokenización de la energía Certificados Verdes.</p>		

Fuente: elaboración propia.

### **5.3.1 Segmentación del Cliente:**

#### **Clientes Regulados y No Regulados**

Los clientes regulados de mercado de energía colombiano, tiene una característica especial, que siempre es atendido por el Operador de Red de la zona, son usuarios pasivos dentro de los cuales se encuentran clientes, residenciales, comerciales e industriales, pero su demanda de energía debe ser inferior a 55 MWh de consumo o su potencia instalada máxima no debe superar los 100 kW. Otra característica especial, se debe a que la tarifa que se les cobra por la energía consumida está regulada por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG). En esta segmentación de clientes, se encuentra un porcentaje alto de los usuarios de energía de todo el país.

El gran interés sobre estos clientes se basa en que están expuestos a cambios en el precio de la energía, debido a que los precios se fijan, en las subastas de energía, donde concursan grandes generadores por obtener un porcentaje de venta de la llamada bolsa de energía. La anterior subasta es administrada por una compañía de Expertos de Mercados (XM), entidad filial de la firma colombiana de transmisión ISA.

Con el crecimiento de los Prosumer y Generadores Distribuidos, el comercio de energía en la modalidad P2P, tendrá una tendencia de crecimiento constante que resultará en un atractivo negocio. Los clientes no regulados se caracterizan por tener demandas de energía superiores a 55 MWh de consumo o demanda máxima de 100 kW y los precios de compra de energía, siempre son acordados inicialmente entre el cliente y el comercializador.

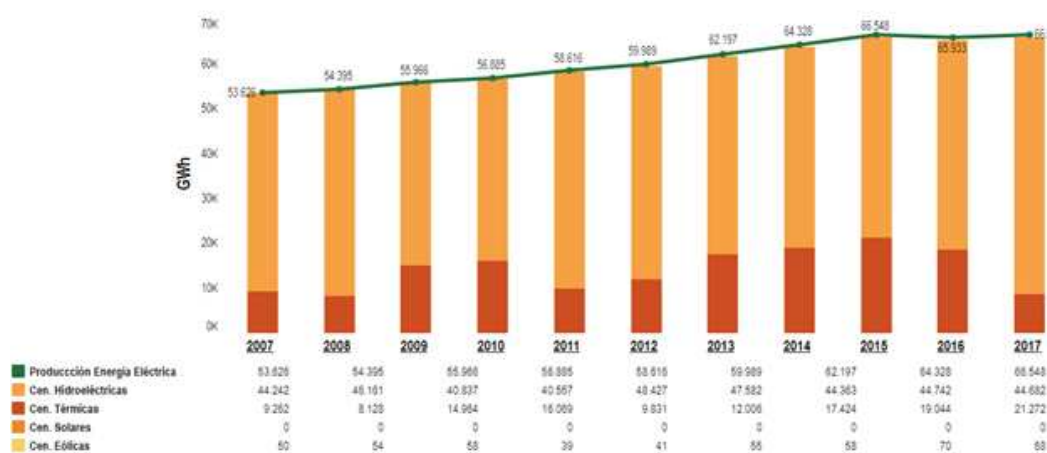
#### **Usuarios con pensamiento ambientalista:**

Otro segmento de clientes, son todas las personas que estén interesadas en proteger al medio ambiente y que estén dispuestos a cambiar sus hábitos de consumo, para reducir el impacto al medio ambiente. Estos consumidores que están comprometidos con el medio ambiente y que lo hacen por convicción, no solo podrán ayudar el medio ambiente si no que notarán una reducción en su consumo de energía, cuando afiancen todas las buenas prácticas de ahorro energético y el uso de energía derivada de fuentes renovables no convencionales.

Aunque el uso de fuentes renovables no es nuevo, como es el caso las grandes centrales hidroeléctricas, estas representan un gran impacto ecológico y ambiental en su fase de construcción y de operación. Es por eso por lo que esta unidad de negocio está enfocada en potencializar el uso de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER).

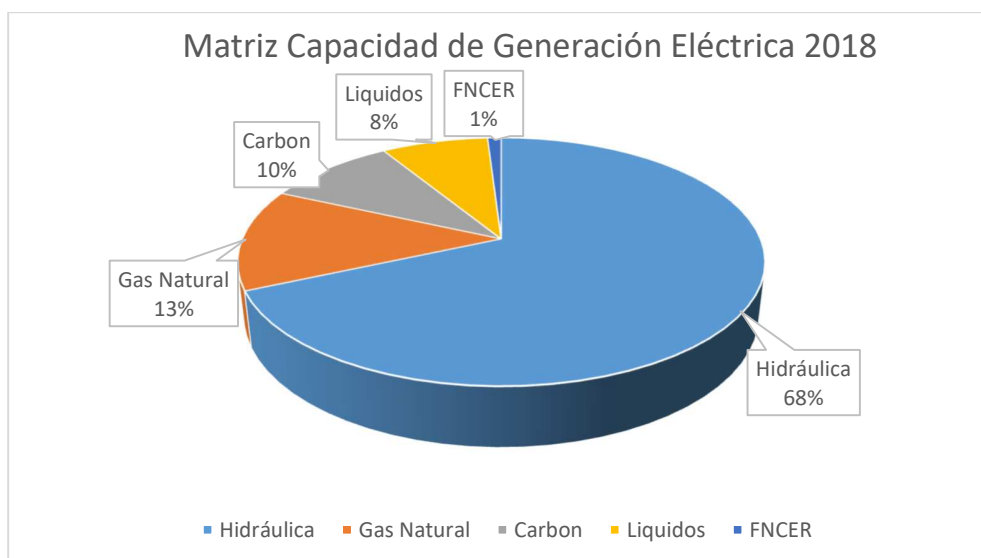
Como se evidencia en la Figura 5-2, hasta el año 2007 Colombia no contaba con generación Fotovoltaica conectada al Sistema Interconectado Nacional. Disponía de tan solo 68 MW de potencia Eólica instalada y gran parte de esta energía era consumida por la Minera de Carbón El Cerrejón Ubicada en la Guajira. Este panorama hacía que los clientes potenciales no tuvieran un mercado de FNCER de dónde escoger.

**Figura 5-2.** Distribución de Generación de Energía Eléctrica del SIN



**Fuente:** <https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/PETROLEO.aspx>

Para el mes de diciembre de año de 2018, y como se aprecia en la figura 5-3, Colombia contaba con una capacidad instalada de generación de 17.312 Mega-watts (MW), de la cual el 68,4% correspondía a sistemas de generación hidráulica, aproximadamente un 30% en plantas de generación eléctrica térmica de la cuales 13,3 % a Gas Natural, un 7,8% con combustibles líquidos y 9,5% con planta de generación eléctrica a carbón) y solo un valor cercano al 1% de plantas de generación de eléctrica derivada de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), entre las cuales las más utilizadas estaban la solar, eólica y biomasa.

**Figura 5-3.** Matriz de Capacidad de Generación Eléctrica 2018

**Fuente:** elaboración propia con datos de XM

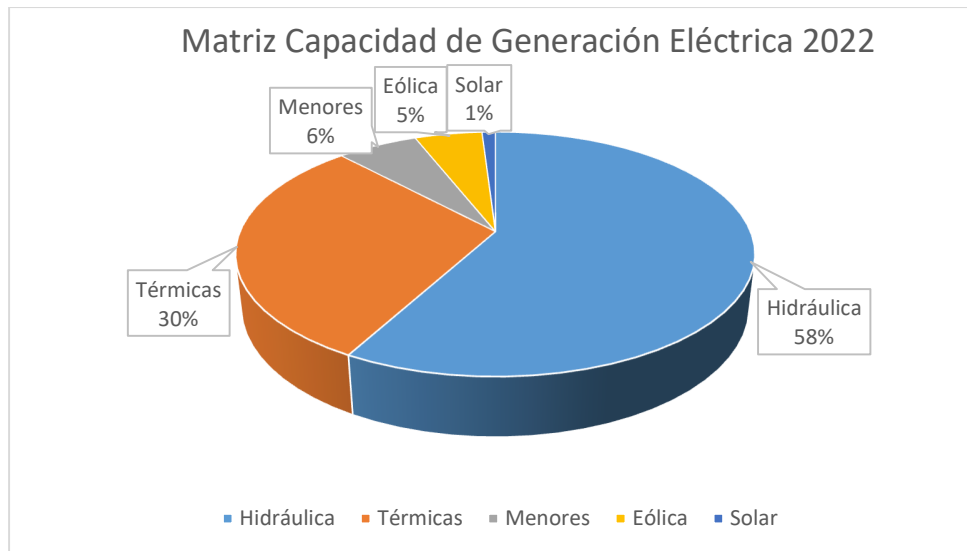
La primera subasta de energía eléctrica por Cargo por Confiabilidad para contratar Obligaciones de Energía en Firme (OEF), se realizó en Colombia el 28 de febrero de 2019, La OEF es el resultado de la subasta, el cual obliga a los generadores escogidos a entregar al Sistema Interconectado Nacional (SIN), una cantidad diaria de energía, según los precios y periodos estipulados en el contrato, solo cuando el Precio de Bolsa (PB), esté por encima el Precio de Escasez (PE). Por lo generar esta energía se entregará a largo plazo, cuando los proyectos hayan finalizado su etapa de construcción y puesta en servicio.

La energía resultada de la subasta para entregar en el periodo de 2022 a 2023, fue de 164.33 Gwh/día. Para ese periodo Colombia contará con 4010 MW de potencia instalada de proyectos FNCER, los cuales están distribuidos por proyectos hidráulicos, eólicos y solares, con una potencia instalada de 1371 MW, 1160 MW y 238 MW respectivamente. Se espera que para ese periodo las FNCER respalden la generación tradicional, con tarifas de energía más bajas.

En porcentajes de la potencia instalada de FNCER solar y eólica y como se puede apreciar en la figura 5-4, Colombia pasará de tener menos del 1% a tener aproximadamente, a un 6% para el año 2022. El panorama de Colombia para el año 2022 es atractivo para la unidad de negocio que se quiere implementar, debido a que se incrementarán los clientes

interesados en el uso de energías de FNCER, no solo por su interés en el medio ambiente, si no por el costo menor de la energía (Planas Marti & Cárdenas, 2016, s/p).

**Figura 5-4.** Matriz de Capacidad de Generación Eléctrica 2022



**Fuente:** elaboración propia con datos de XM

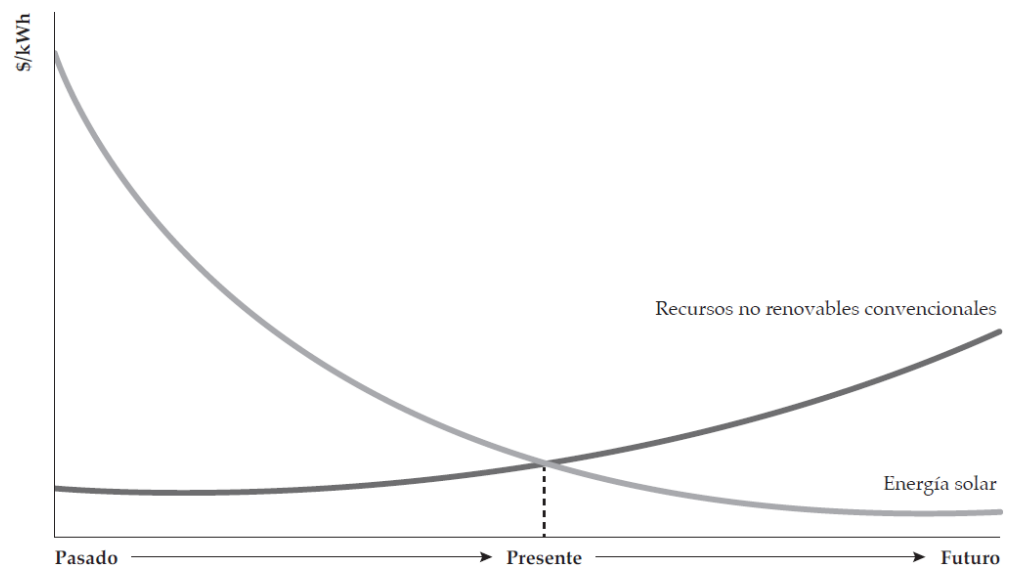
### 5.3.2 Propuesta de Valor

La propuesta de valor de la nueva unidad de negocio está intrínseca en las ventajas de la tecnología BlockChain y las redes eléctricas descentralizadas, lo cual se traduce que el nuevo comercio de energía y elementos será confiable, ágil, con seguridad, sin intermediarios y a corto plazo, de menor costo. Entre las diferentes ventajas se encuentran:

- Agiliza los procesos internos y los procesos compartidos con los participantes externos del mercado.
- Los contratos inteligentes pueden automatizar los acuerdos contractuales bilaterales o multilaterales, permitiendo una mayor diversidad de tipos de contratos y estructuras de mercado.
- Los costos serán reducidos de la electricidad derivada de las tecnologías fotovoltaicas y Eólica. De acuerdo con los estudios de la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA 2016), el costo para generar energía eólica y fotovoltaica, seguirán a la baja debido al incremento a nivel mundial de este mercado y a la reducción de los costos de los materiales necesarios, como

resultado de innovaciones tecnológicas. El estudio concluyó, que, si los países implementan políticas adecuadas, el costo de la energía se podría reducir desde un 26% a un 59% entre el periodo comprendido de 2015 y 2025. Actualmente en muchos países el precio de las energías FNCER son inferiores a los valores en contratos convencionales. Lo anterior se puede evidenciar en la figura 5-5, donde se muestra una tendencia a la baja del costo de la energía solar.

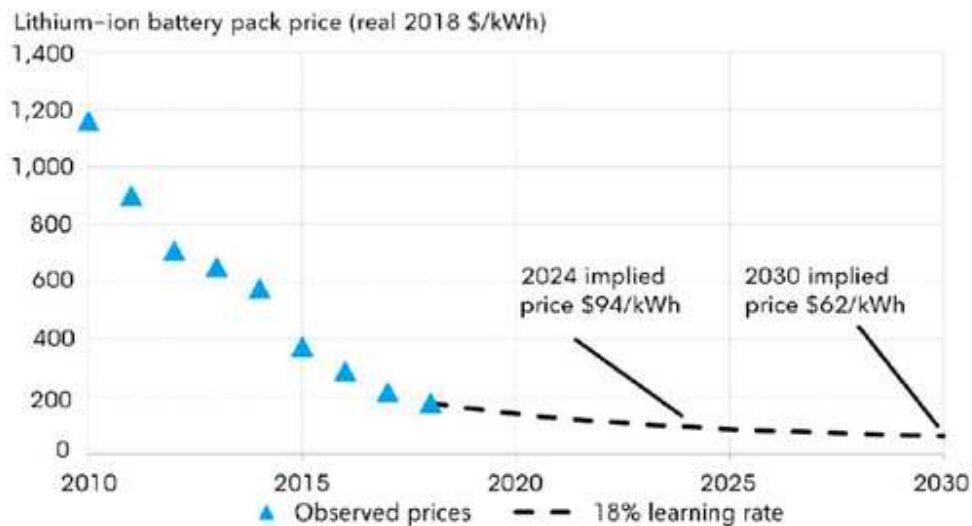
**Figura 5-5.** Regla de Hotelling en generación de electricidad con tecnologías de relevo



**Fuente:** artículo, Transición hacia una arquitectura descentralizada

Otro inconveniente que surge de las nuevas fuentes de energía es el almacenamiento de la misma cuando no se requiere. Se ha solucionado con el uso de baterías de almacenamiento, lo cual ha representado un elevado costo hasta la actualidad. Con el auge de la movilidad eléctrica, la tecnología de almacenamiento en baterías ha evolucionado fuertemente y se proyecta para el año 2030, tenga un precio promedio de \$ 62/ kWh como se detalla en la Figura 5-6.

**Figura 5-6.** Evolución del coste final de kWh de almacenamiento en baterías de Ion-Litio durante los últimos años y previsión de la evolución



Fuente: Bloomberg NEF.

Con las previsiones actuales, la disminución de los costos en instalaciones eléctricas fotovoltaicas será cada vez más atractivo para pequeños inversionistas y Prosumidores, es por eso por lo que se proyecta que el crecimiento de la generación distribuida se incrementará de manera exponencial. Para el control de la dicha generación, será indispensable la tecnología BlockChain que facilitará la labor del Operador de Red. Con la propuesta de la unidad de negocio, se podrá gestionar de manera óptima, segura y ágil, todas las transacciones de energía, pudiendo validar y certificar el origen real de la energía.

- El uso de la tecnología BlockChain le permitirá a los generadores distribuidos y a los consumidores, entrar en un mercado donde con el uso de tokens, transarán y comprarán su energía. Al no tener un beneficio económico en ningún momento, no se incurrirá en nada ilegal, lo que le permite a los generadores distribuidos prescindir del uso de las baterías para acumular energía, por el contrario el almacenamiento se realizará en una batería virtual en forma de tokens.

•

Los aspectos donde tendrá un mayor impacto la aplicación de la tecnología de cadena de bloques, en la propuesta de unidad de negocio, son los siguientes:

- Facturación: Mediante el empleo de contadores inteligentes, contratos inteligentes y la tecnología de cadena de bloques, las compañías eléctricas podrán beneficiarse de soluciones, como los pagos instantáneos, la facturación automática de forma transparente e inmutable.
- Comercio y mercados: mediante el empleo de plataformas de comercio distribuidas, se podrán realizar pujas/ofertas de energía desde cualquier lugar.
- Mercados locales: la creación de mercados locales de energía aumentará notablemente el autoconsumo, lo que repercutirá en la creación de microrredes autogestionadas y con pequeños intercambios de energía con el exterior.
- Transferencia de datos: al aplicar el BlockChain en la transferencia de datos para convertir la red eléctrica en una red inteligente, estos datos serán más seguros y transparentes, lo que repercute en mejores sistemas de control y motorización.
- Gestión de la red: al tener disponible la información de la capacidad de almacenamiento y de la energía disponible, se permite una gestión de la red más flexible y optimizada.
- Gestión de identidades: se producirán beneficios en la protección de la privacidad de las transacciones, al verificar quién puede ver cada uno de los datos que se almacenan en la cadena de bloques.
- Recursos compartidos: puede mejorar los sistemas usados por numerosos usuarios, como una infraestructura de recarga de vehículos eléctricos.
- Competencia: al permitir entrar a numerosos nuevos agentes en los mercados eléctricos, se producirá una disminución de los precios de la electricidad.

### **5.3.3 Relación con los clientes**

El relacionamiento con los clientes se efectuará con ayuda de internet, por medio de correos electrónicos y aplicaciones en torno al ecosistema de BlockChain. Para crear una buena relación con los clientes, no involucra solo los esfuerzos para captar lo nuevos clientes, si no de establecer con ellos una relación de confianza a largo plazo. Lo anterior se traduce que una vez se obtiene el cliente, la verdadera tarea es conservarlo con muy alto grado de satisfacción.

El objetivo principal es establecer relaciones con los clientes que tengan alto grado de satisfacción y sean rentables a largo plazo, donde ambas partes resulten beneficiadas. Las razones por la que se debe cumplir este objetivo son las siguientes:

- Los clientes satisfechos con el producto o servicio, siempre dará una buena recomendación, se presentará un voz a voz.
- La satisfacción del cliente, lo hará recordar y volverá a comprar.
- Creando una relación satisfactoria con el cliente, ayudará a crecer el negocio.

Para la unidad de negocio propuesta, se han identificado principalmente tres tipos de clientes, los que realmente tienen la convicción de preservar el medioambiente, clientes que están interesados en un beneficio económico o una combinación de las dos preferencias anteriores.

Para los clientes con convicción ambiental, las estrategias de mercadeo se enfocarán en presentar las ventajas y beneficios para el medioambiente, la unidad de negocio. Actualmente llamado el Marketing Verde, que se entiende como la comercialización de productos y servicios que contribuyan el cuidado del medio ambiente, y ayuden a fortalecimiento del mismo, en el cual se pueden desarrollar diferentes estrategias para atraer y retener a los clientes, como las siguientes:

- Demostrar que el producto, que ente caso en la energía verde, se produce realmente con el uso de fuentes renovables. El servicio prestado genera poco o ningún residuo que afecte al medio ambiente.
- Promover a la ciudadanía un consumo responsable, donde el cliente tenga la opción de elegir en función del impacto que pueda causar el medio ambiente y social, con una huella ecológica reducida.
- Promover campañas para la conservación de medio ambiente, por ejemplo, luchas contra la contaminación en los mares, ríos y el cambio climático. Estas pueden ser localizadas y dirigidas a una región específica, ayudando a asociaciones cercanas, promoviendo la protección de una determinada especie de la zona. Las acciones que se hagan localmente tienen una repercusión global.

- Trazar y certificar la energía que se suministra al cliente, sea 100 % de origen renovable. Con ayuda de la tecnología BlockChain se suministrará a los clientes la información, por medio de la plataforma o APP que se desarrolle. Se podrá recopilar los datos registrados por los diferentes contadores inteligentes. en los lugares de producción y consumo de la energía, logrando la trazabilidad de misma. Después estos datos serán almenados en la base de datos de la BlockChain, con su respectivo consenso para validación de los datos, que garantiza la veracidad de la información. La aplicación más interesante en la que se podrá desarrollar la tecnología BlockChain, es la carga de vehículos eléctricos, ya sea en estaciones de carga, en edificios o viviendas. Cada vehículo eléctrico contará con una identidad criptográfica, que permitirá validar las recargas de energía que realicen en cualquier estación de carga. Por otro lado, los vehículos eléctricos que se encuentren conectados a los cargadores podrán servir como una fuente de respaldo a la red de distribución, proporcionando mayor grado de estabilidad.
- Mostrar los beneficios de la unidad de negocio en el mundo digital. Difunde el mensaje verde del negocio haciendo un manejo eficiente de la Web, como redes sociales. Promover un objetivo de ser más sostenible año tras año y difundir los logros obtenidos, como porcentajes de reducción de Carbono.
- Participar, patrocinar y colaborar en eventos locales, regionales y nacionales relacionados con el medio ambiente, como ferias y eventos ambientales, donde se pueda mostrar en un stand, los productos y beneficios de la nueva unidad de negocio que ofrece la compañía.
- Dar un ejemplo con la conducta de todos los empleados de la compañía, facilita que la expansión de su entidad sea más sostenible. Promover que los productos y servicios que se consumen por los empleados de la misma empresa, sigan algún criterio de cercanía, favoreciendo la adaptación de los valores en proyectos sociales y ambientales. Se suele decir que es importante lo que haces, pero también que se difunda y se cuente, al hacer actividades para ser más sostenible con tus clientes, involucrando a los empleados y a la gente que los rodea.

Para los clientes con convicción económica y que estén interesados en negocios que sean rentables, la estrategia se enfocará en ofrecer información de los beneficios económicos que son asociados a la nueva tecnología y los beneficios otorgados por el gobierno a través de la regulación que decreta la CREG. A continuación, se listas los beneficios económicos:

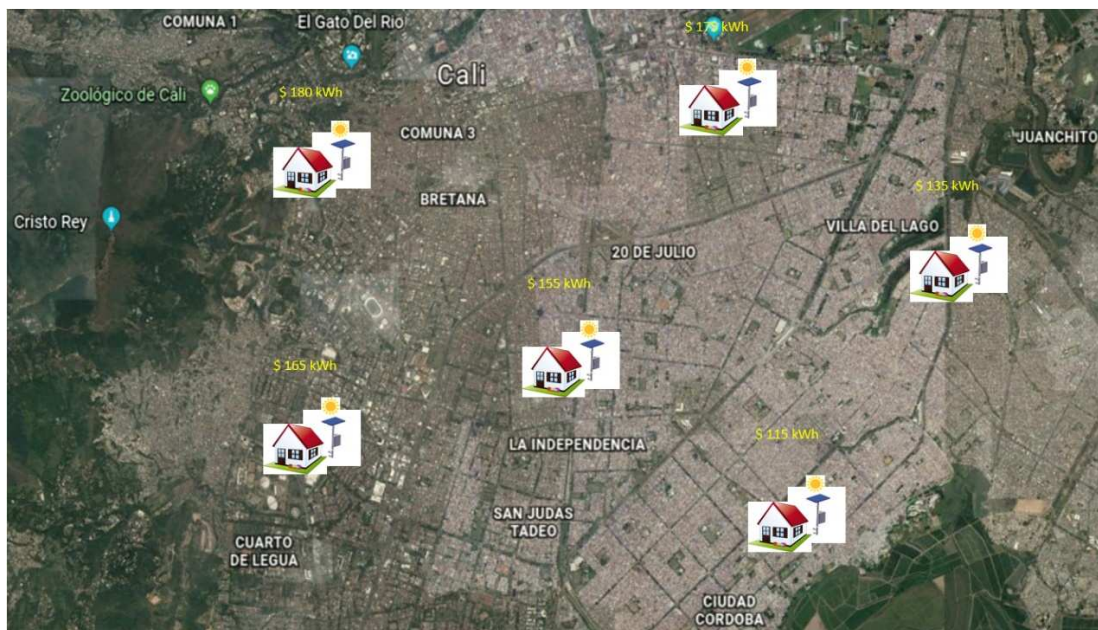
- Los excedentes que se entreguen la Red por generadores distribuidos serán remunerados por el operador de red con las tarifas de la regulación vigente.
- Los suministros como equipos, materiales, maquinaria y servicios de procedencia nacional o internacional, que se destinen para la ejecución de proyectos para la generación de energía a partir de las fuentes no convencionales, estarán excluidos de IVA y aranceles. Además, la exención del pago, debido a los derechos de importación de equipos, maquinaria, materiales e insumos destinados exclusivamente para actividades de preinversión.
- Se reducirá hasta en un 50% la base gravable para el cálculo del impuesto de renta sobre el valor de la inversión realizada, para los mismos proyectos de energías renovables de fuentes no convencionales. Esta deducción se puede aplicar desde uno hasta cinco años, desde el momento de se haya realizado la inversión.
- La depreciación acelerada de activos, que tienen los activos en la nueva regulación para la su respectiva remuneración, no será mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual.
- En el nuevo mercado P2P, donde los Prosumidores venderán su energía y los consumidores tendrán diferentes precios de energía de dónde escoger, las rentabilidades y los bajos precios de la energía en comparación de la energía convencional, resultará en un mercado muy atractivo donde todos quieran participar.
- Con la introducción de un Token de energía verde, que equivaldrá a un (1) kilo Watt /hora (kW/h), tanto los generadores y consumidores podrán rentabilizar sus ganancias, gracias a que los Tokens virtuales no son tan susceptibles al cambio de su valor, por circunstancias externas. En un futuro, estos Tokens podrán ser canjeados por dinero o por diferentes productos que los almacenes y comerciantes decidan ofrecer. Estos comerciantes y almacenes a su vez podrán canjear los token recolectados, por suministro de energía verde de su operador de Red. Lo anterior supondrá que los pagos con tokens, eliminará el problema que tenían establecimientos como almacenes de cadena, de estar pagando mes a mes diferentes costos de la energía debido a los cambios en los costos de los precios de bolsa.

### 5.3.4 Canales

#### APP.

La APP se desarrollará en entorno a los sistemas operativos de Android y IOS, será el principal canal de comunicación para llegar a los clientes, debido que en la actualidad la gran mayoría de los clientes potenciales utilizan los celulares para informarse. Con la ayuda de la tecnología BlockChain, se podrá almacenar los datos de consumos y producción de los usuarios del nuevo mercado energético y por medio de la APP, podrán decidir, si participar en subastas de energía o a quién comprar y vender su energía, pues dispondrán de un mapa con toda clase de información, donde podrán visualizar donde, como y quien produce la energía verde. Además, el precio establecido de venta de cada productor.

**Figura 5-7.** Mapa de oferta de energía. Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-7, se puede apreciar un ejemplo posible de comercio bajo la modalidad Peer to Peer, donde se mostraría en un mapa los diferentes Prosumidores con sus respectivos precios de oferta. El usuario de la APP podrá escoger de acuerdo con el costo y la reputación del pequeño generador. Por otro lado, la APP le servirá a los Prosumidores, para ofertar la cantidad de energía que tiene disponible, especificando el tipo de generación, la cantidad en kWh, el costo por kWh. La APP le asignará un índice de

reputación a cada Prosumidor, de acuerdo con una estadística de contratos cumplidos anteriormente, de esta forma se brindará confiabilidad a cliente, que su energía solicitada, se entregará con la calidad y en los tiempos establecidos en el contrato.

### **Medios y Redes Sociales**

Las redes sociales se utilizarán como una estrategia para estrechar a un más la relación con el cliente, y permitirán interaccionar de manera muy directa con el público, además de aumentar su involucramiento con la nueva unidad de negocio. Se responderán todos los comentarios, sugerencias y quejas de una manera ágil y oportuna. Además, se ofrecerán contenidos relevantes en diversos formatos audiovisuales, como fotos, vídeos y textos. Para cada cliente objetivo se creará contenidos relacionados a sus motivaciones y gustos, por ejemplo:

### **Blogs**

Se utilizará este medio para brindar información de contenido educativo sobre diversos asuntos, relacionados con la energía verde y productos que cuiden el medio ambiente, que se puedan comercializar. Se realizarán un ciclo de publicaciones y se crearán nuevas maneras de aproximación con la audiencia. Se expondrá el conocimiento que tiene la compañía, mostrando autoridad en el tema, abarcando temas generales de interés para el público.

Cuando se ofrece un contenido educativo se crea una relación con el público, ya que se responde a sus dudas respecto de distintos temas relacionados con este nuevo mercado. Esto también ayudará a la compañía a transformarse en una autoridad en el nuevo mercado. Se mantendrá el blog constantemente actualizado. De esta forma, se crea una dinámica, ya que el público sabe que siempre publicarás textos. Eso aumenta la visibilidad, fideliza a los visitantes y conquista la confianza de los clientes. Además, se insertará un banner con links patrocinados, espacios para que el cliente comente sus dudas y sugerencias relacionadas con el negocio.

### **Correos o Email Marketing**

Con la ayuda de correos, se permitirá entregar el mensaje de manera personalizada para una base de leads y clientes. Se utilizará para hablar sobre la nueva unidad de negocio, para enviar promociones, dar avisos u ofrecer contenido rico para los clientes. Con ayuda

de diferentes herramientas se generarán emails automatizados, desde la creación hasta la medición del resultado. Entre las herramientas que se utilizarán se encuentra el MailChimp, la cual es una aplicación Web, para enviar campañas de email o email informativos, en formato HTML, que son compatibles con todos los tipos de correos de los clientes. MailChimp permite crear folletos con la finalidad de emplear estrategias de mercado, como el Email Marketing, y atraer a nuevos clientes.

### **Atención al cliente**

Este canal va a ser la puerta de entrada del usuario, donde se solucionen todas las dudas de los clientes. Las locaciones físicas estarán ambientadas con maquetas de instalaciones eólicas y solares, con abundante información de energías renovables y sus beneficios.

Una atención con elevada calidad transforma una dificultad del cliente en una solución, y puede convertir al este en defensor férreo de la marca. A través de una buena atención al cliente se podrá identificar cuellos de botella y descubrir cuáles son sus principales dudas y necesidades. El servicio se ofrecerá esta vía email, teléfono o chat.

El equipo de trabajo será personal conocedor de la nueva unidad de negocio, con un alto nivel de conocimiento, no solo solucionando dudas y necesidades, proponiendo nuevas experiencias. En las locaciones físicas de atención, con ayuda de realidad virtual, se brindará un recorrido de las granjas eólicas y solares con que cuenta la compañía, o proyectos que otros clientes han empezado a operar. Se dictarán pequeños cursos de manejo de la aplicación APP, donde los usuarios podrán gestionar todas sus transacciones de energía y tokens.

### **Vídeos**

Los vídeos se utilizarán solo para la divulgación de los productos y servicios ofrecidos por la nueva unidad de negocio. Se crearán con material y contenidos didácticos y educativos. Deben ser rápidos y atractivos, facilitando la comprensión del mensaje, como pequeñas series con un sentido de humor y aventura, que capture al cliente y lo haga apropiarse del negocio.

### **Foros de discusión**

Se crearan foros de discusión en canales digitales enfocados a las ventajas y oportunidades que existen a la hora de consumir energías renovables y productos sostenibles. Por este motivo es interesante estar presente en este canal de comunicación, principalmente proponiendo foros enfocadas al negocio y a la marca.

Se debe gestionar de manera organizada y oportuna este medio de comunicación, mediando sobre las discusiones que tienes los clientes sobre determinado tema en particular, dando claridad a determinadas dudas, para hacer del cliente un usuario más cercano y confiado, resolviendo de forma eficaz, posibles problemas del cliente que le generan insatisfacción.

### **5.3.5 Fuentes de Ingresos**

Los principales ingresos que se obtendrán se derivan de las ventajas de la tecnología BlockChain. La descentralización y la autonomía, hace que los procesos e intermediarios para realizar una transacción o certificación de energía sean menores, lo que representa un costo inferior al comercio de energía tradicional. La Empresa Comercializadora de Colombia, cobrará un costo reducido por gestionar las transacciones de energía entre productores y consumidores, en el nuevo mercado de energía verde, que se representarán en tokens.

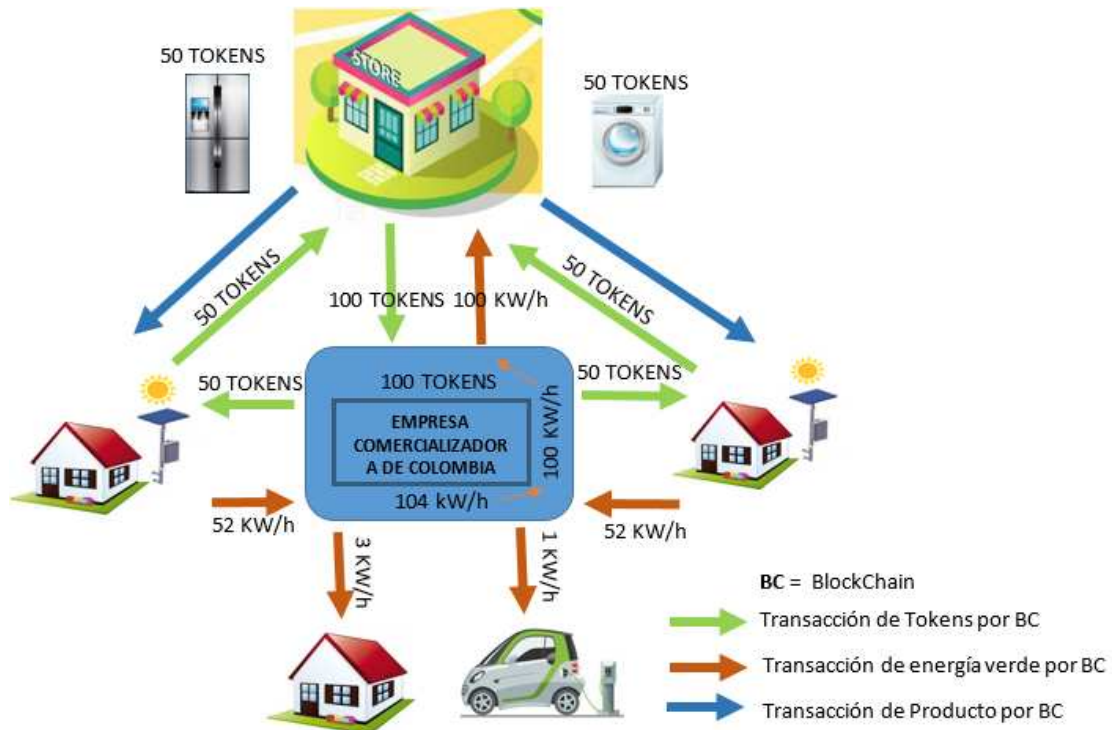
Otra forma de ingresos, la representa la aplicación (APP) basada en BlockChain, que suministrará la Empresa Comercializadora de Colombia a todos los usuarios. Esta aplicación tendrá una versión gratis, la cual ofrecerá solo servicios básicos y necesarios para que los usuarios puedan acceder en este nuevo mercado energético. También dispondrá de dos versiones adicionales con costo (Premium y Premium Pro), que ofrecerán a los usuarios ventajas adicionales que le ayudarán a obtener más rentabilidad y practicidad. Los costos asociados a estas versiones serán de 90.000 pesos anuales para versión Premium y 120.000 pesos para versión Premium Pro.

Se expedirán certificados de energía verde a un costo menor que en la actualidad, para que usuarios como fábricas, puedan presentar a sus clientes servicios y productos desarrollados a partir de la utilización de energía renovable. Con lo anterior la fábrica podrá agregar valor a las cualidades de sus productos y servicios, que van en línea con los

objetivos de sostenibilidad que se encuentran en la visión de toda empresa. Con la creación de un token que equivaldrá a un kilowatt/hora (1 kW/h) se establecerá un nuevo comercio entre la Empresa Comercializadora de Colombia, el Prosumidor y consumidor.

Se crearán alianzas con grandes almacenes de cadena o diferentes establecimientos que ofrezcan productos en su mayoría amigables para el planeta, con bajo consumo de energía, materiales reciclables y se comercializarán con un valor en tokens, por ejemplo, un aire acondicionado con motor Inverter a un valor de 450 tokens. El almacén de cadena pagará a la Empresa Comercializadora de Colombia, su consumo de energía mensual con los Tokens adquiridos por la venta de estos productos, lo cual lo podrá hacer cuando el precio de la energía tenga tarifas altas debido a la volatilidad en la Bolsa de Energía. Lo anterior representa un ahorro en los gastos de energía para el almacén de cadena y un buen negocio para los compradores de sus productos, pues los productos en relación en pesos colombianos tendrán un costo menor. Además, la Empresa Comercializadora de Colombia cobrará una pequeña comisión por ofrecer los productos a través de la plataforma o aplicación.

**Figura 5-8.** Modelo propuesto para intercambios de energía



Fuente: elaboración propia

En la Figura 5-8, se representa un mercado de tokens entre la Empresa Comercializadora de Colombia, Prosumidores, Almacenes de Cadena y consumidores, donde todos ganan. El Prosumidor comprará un artículo en tokens, que será de menor costo y tendrá beneficios tributarios, el almacén podrá liquidar su consumo de energía en tokens, sin estar expuesto a las variaciones de costos de la energía y la Empresa Comercializadora de Colombia cobrará en tokens por las transacciones y por la responsabilidad de mantener es sistema BlockChain a todos los usuarios, que en el ejemplo expuesto en la Figura 5-8, equivaldrá a un excedente de 4 kW/h que comercializará con sus clientes, como casas residenciales o recargas para vehículos eléctricos.

Los tokens con un valor financiero tienen similitud a un vehículo de inversión, como las acciones o bonos, que también pueden ser llamados “valores tokenizados” y están principalmente ligados al éxito de la empresa que emite los tokens, representando con una forma virtual, el producto principal. Los tokens tienen como objetivo principal, de servir como medios de intercambio, entre plataformas, en este caso basada en tecnología BlockChain y los mercados integrados a la cadena de valor de la electricidad, buscando digitalizar todas las transacciones de energía o productos, entre todos los actores de una red digital de energía. A continuación, se listan en la siguiente tabla, algunos ejemplos de tokens de energía, que han surgido recientemente en el mundo.

**Tabla 5-2:** Tipos de Tokens existentes actualmente.

Nombre	Token	Descripción
Energi Token	ETK	Los tokens se generan por ahorrar energía y se podrían comprar y vender energía, entre otros.
Grid+	GRID	Adquirir energía a precios de mercado mayorista y acceder a un mercado secundario.
WePower	WPR	Representa 1 kWh producido de manera limpia y brinda acceso

		prioritario a subastas de energía de proyectos que todavía no han sido desarrollados. Facilita el intercambio de energía y contratos de energía.
Hive Power	HVT	Acceso a la plataforma de Hive Power, que permite intercambiar energía P2P, agregar demanda y generación y gestionar la operación de micro redes y cooperativas energéticas.
Power Ledger	POWR	Acceso a la plataforma de Power Ledger, que permite intercambiar energía P2P, gestionar vehículos eléctricos, agregadores virtuales de demanda y generación, transacciones del MEM, entre otros.
Energo Labs	TSL	Acceso a la plataforma de Energo, que permite participar en micro redes energéticas usando este Token como medio de intercambio.
Pylon Network	PYLNT	Se obtiene mediante la generación de excedentes de energía limpia representando kWh generados y son usados para invertir en proyectos de energía.
SunContract	SNC	Facilitar intercambio de energía P2P y acceso a productos y servicios energéticos incluyendo paneles solares, entre otros.
Verv	VLUX	Facilitar intercambio de energía P2P.
Restart Energy	MWAT	Permite la adquisición de franquicias de energía.
SolarCoin	SLR	Se crea a partir de 1 MWh generado a partir de un sistema solar fotovoltaico y se puede usar como medio de intercambio a través de los afiliados a la fundación SolarCoin.

Envion	ENV	Unidades de cómputo móviles impulsadas por energía renovable para minería de criptomonedas. No es un token de energía, sino un token financiero.
--------	-----	--

Fuente: Página de internet: <https://www.eia.edu.co/tokens-energia>.

### 5.3.6 Actividades Clave

La unidad de negocio, propuesta en este trabajo final de grado tiene una visión a mediano plazo, debido a que recientemente en Colombia se inició la apertura a estos nuevos modelos de negocio en energía renovables. La regulación reglamentada por la CREG, ha dado sus primeros pasos para la descentralización de la energía, y la apertura total requiere de un proceso paulatino y planificado, para que todos los interesados en este nuevo mercado, dispongan de tiempo para tener una buena curva de aprendizaje.

Por la anterior razón, una de las principales actividades claves, es el estudio permanente de la regulación de Energía, que entregará el momento de partida apropiado, para el lanzamiento de la nueva unidad de negocio. La Empresa Comercializadora de Colombia dispone del área de asuntos regulatorios, la cual dará las directrices e informará mediante comités mensuales.

Una actividad clave secundaria y no menos importante, será el estudio y constante investigación en tecnología BlockChain, que permitirá el desarrollo e implementación de la base de datos y la APP basada en esta tecnología. La Empresa Comercializadora de Colombia tendrá el socio estratégico IBM, líder en la tecnología BlockChain y creará una nueva área en la compañía, llamada Aplicaciones BlockChain, que inicialmente tendrá un líder con dos asistentes. El primero tendrá conocimientos técnicos, con capacidades de programación, que liderará el desarrollo de la plataforma y la aplicación. El segundo asistente tendrá un enfoque administrativo y comercial, especialista en marketing, que se encargará de crear y ejecutar campañas para atraer los potenciales clientes, para hacer del nuevo mercado, una inversión rentable para todos los interesados. A parte de las actividades clave mencionadas, la Empresa Comercializadora de Colombia deberá

ejecutar otras actividades que le ayuden a implementar con éxito la nueva unidad de negocio, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- Acuerdos y alianzas con almacenes, tiendas o empresas que estén dispuestos a ofrecer su producto en general amigable para el planeta, a cambio de tokens.
- Desarrollo de la Front-End y Back-End de la aplicación (APP).
- Estudios permanentes de todas las opciones o ayudas fiscales, como beneficios tributarios, de IVA que ofrece el gobierno y comunidades internacionales para el desarrollo de proyectos sostenibles.
- Investigación de las especificaciones técnicas de los diferentes equipos necesarios para el desarrollo de microrredes eléctricas, como son los medidores inteligentes, lectores de códigos QR para la compra de productos, equipos de cómputo, etc.
- Desarrollo de la arquitectura de BlockChain, para la plataforma de intercambios de energía en una microrred.
- Ejecución de campañas con un marketing agresivo, que informe a los clientes potenciales, de la futura unidad de negocio, principalmente con información enfocada en los beneficios de la tecnología BlockChain, en servicio de las energías renovables. Esta actividad es fundamental para el inicio de la nueva unidad de negocio, pues garantizará un mercado con gran cantidad de transacciones.
- Participación constante en eventos nacionales e internacionales, relacionados a energías renovables y la tecnología BlockChain.

### **5.3.7 Recursos Clave**

Para la nueva unidad de negocio, se necesitará una Red BlockChain o red de nodos, en la que se gestiona y guardan los datos e información de las transacciones. Esta red de nodos podría ser propia, lo que representaría un alto costo de inversión y un riesgo en el inicio del proyecto. Para no incurrir en este riesgo, se utilizará la plataforma que ofrece la compañía IBM, una BlockChain empresarial abierta y disponible en cualquier lugar que otorgará los siguientes beneficios:

- Con ayuda una extensión de código Visual Studio (VS) permitirá la integración fluida entre el desarrollo de contratos inteligentes y la gestión de red.

- Realizar una transición perfecta entre el desarrollo, la prueba y la producción en un solo entorno con DevOps simplificado.
- Escribir contratos inteligentes en lenguajes JavaScript, Java y Go.
- Gestionar todos los componentes de red en un solo lugar, independientemente de dónde se implementen
- Mantener el control completo de las identidades, el libro mayor y los contratos inteligentes
- Desplegar solo los componentes de Blockchain que necesita (pares, solicitud de servicio, entidad certificadora).
- Iniciar con poco, luego, a medida que se crece, se pagará por lo que utiliza, sin inversión inicial y con actualizaciones fáciles a través de Kubernetes.
- Conectar un solo par a varias redes de la industria con facilidad.
- Conectar a nodos que se ejecutan en cualquier entorno (en las instalaciones, nube pública o híbrida) (Androulaki, y otros, 2018, p. 1-14).

Otro de los recursos clave es la red de medidores inteligentes, necesarios para recolección de información de la energía verde, tanto producida como consumida. Esta información es gestionada y grabada en la base de datos de Blockchain. Actualmente la infraestructura que existe en los centros de distribución residencial y gran parte de la comercial en Colombia es en media tensión (13.2 kV). Lo ideal es que en un futuro próximo se implementen redes de distribución en baja tensión (220 V) o microrredes eléctricas, como técnicamente se conocen. Como ya había sido mencionado en este documento, las microrredes eléctricas son un sistema de generación de electricidad bidireccional, que permite la distribución de energía hasta los consumidores, haciendo uso de las telecomunicaciones y la electrónica, que facilita la integración de generadores distribuidos de pequeño tamaño, con el objetivo de ahorrar energía, reducir costos e incrementar la confiabilidad y fiabilidad del suministro de energía. Por lo anterior es importante que se establezcan alianzas entre diferentes empresas del sector eléctrico y el gobierno, para establecer mecanismos que faciliten la transición a microrredes eléctricas de distribución.

Una de las actividades clave, es la captación de clientes, ya sea Prosumidores o consumidores, que interactuarán entre sí, realizando diversas transacciones por la

plataforma de BlockChain. Los clientes es un recurso clave, entre mayor sea la cantidad y diversidad, mayor serán las utilidades para la nueva unidad de negocio. El mayor reto no es solo atraerlos, sino fidelizarlos, que sientan que hacen parte del negocio y que ellos mismos atraigan a nuevos clientes.

Inicialmente la Empresa Comercializadora de Colombia, contará con un recurso limitado de personal para la nueva unidad de negocio, el cual fue mencionado como actividad clave. Al alcanzar la madurez del proyecto y su implementación, se contratará personal adicional, como programadores especialistas en BlockChain, especialistas en marketing y atención al cliente, ingenieros electrónicos, ingenieros electricistas y de sistemas, con otros colaboradores técnicos y tecnólogos, quienes se encargarán de gestionar, mantener y ampliar las redes o microrredes eléctricas. Con la unidad de negocio en funcionamiento se necesitarán locaciones y oficinas en las principales ciudades, donde la empresa tendrá influencia, dotadas de una infraestructura futurista, ambientadas en la nueva revolución de la energía 4.0, internet de las cosas, movilidad eléctrica y energías renovables.

### **5.3.8 Socios Clave**

La compañía IBM, será el socio estratégico para iniciar la primera fase de implementación de nueva unidad de negocios basada en la tecnología BlockChain. IBM es una compañía multinacional de la tecnología de la información, con un amplio reconocimiento internacional, que brindará a la Empresa Comercializadora de Colombia, seguridad y experiencia en el desarrollo de la plataforma BlockChain y APP. Alianzas estratégicas con empresas, tiendas, almacenes, Prosumidores y pequeños generadores distribuidos, serán otros socios estratégicos que aportarán recursos, por ejemplo, los almacenes y tiendas ofrecerán electrodomésticos de alta eficiencia a los usuarios de la plataforma BlockChain a cambio de tokens energéticos, lo que representara un ahorro a su bolsillo y una ganancia para la Empresa comercializadora de Colombia.

Otro socio importante, es el gobierno colombiano, que conjuntamente con el ministerio de energía UPME y la CREG, tienen la voluntad de incentivar con beneficios fiscales a empresas con ideas de negocio amigables para el planeta.

### 5.3.9 Estructura de costos

En la tabla siguiente número 5-3, se puede observar cómo es la estructura de ingresos estimados de la nueva unidad de negocio, propuesta para la Empresa Comercializadora de Colombia.

**Tabla 5-3:** Ingresos de la Unidad de negocio propuesta.

	<b>AÑO 1 (MCOP\$)</b>	<b>AÑO 2 (MCOP\$)</b>	<b>AÑO 3 (MCOP\$)</b>	<b>AÑO 4 (MCOP\$)</b>	<b>AÑO 5 (MCOP\$)</b>
<b>ÉXITO</b>	800	100	120	130	140
<b>FALABELLA</b>	600	80	90	100	110
<b>COMFANDI</b>	300	60	70	80	90
<b>ALKOSTO</b>	300	60	70	80	90
<b>MAKRO</b>	200	40	50	60	80
<b>APP PREMIUM</b>	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<b>APP PREMIUM PRO</b>	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
<b>COMISIONES</b>	60	80	100	150	200
<b>GANANCIAS POR TRANSACCIONES</b>	60	90	150	300	500
<b>EXPEDICIÓN DE CERTIFICADOS</b>	5	20	80	150	200
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>2325,21</b>	<b>530,21</b>	<b>730,21</b>	<b>1050,21</b>	<b>1410,21</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 5-3, los ingresos en el primer año se basan en los pagos que deben hacer los usuarios para adquirir los tokens necesarios para dar garantías y dar valor a las diferentes transacciones entre productores y consumidores. Otros ingresos serán por los certificados verdes ofrecidos a las empresas, los ingresos por las versiones Premium y Premium Pro de la Aplicación y las ganancias por cada transacción efectuada, ya sea por compra de energía o productos. Adicional las comisiones obtenidas por los productos de tiendas y supermercados ofrecidos a través de la misma plataforma o aplicación.

**Tabla 5-4:** Balance económico de la unidad de negocio propuesta.

	AÑO 1 (MCOP\$)	AÑO 2 (MCOP\$)	AÑO 3 (MCOP\$)	AÑO 4 (MCOP\$)	AÑO 5 (MCOP\$)
<b>INGRESOS</b>	2325,21	530,21	730,21	1050,21	1410,21
<b>% crecimiento</b>	NA	-77%	38%	44%	34%
<b>Gastos de personal</b>	152,0	174,0	230,0	235,0	245,0
<b>Parafiscales y prestaciones sociales, seguridad social</b>	79,6	91,1	120,5	123,1	128,3
<b>Publicidad y marketing</b>	150,0	200,0	230,0	250,0	300,0
<b>Agencia de marketing</b>	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
<b>Viajes para promoción</b>	3,0	5,0	10,0	15,0	15,0
<b>Gastos Cloud (Nube)</b>	35,0	40,0	45,0	60,0	70,0
<b>Gastos de formación</b>	6,0	6,0	6,0	6,0	10,0
<b>Gastos de Red BlockChain y aplicaciones</b>	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
<b>Seguros</b>	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
<b>Gastos Oficina</b>	10,0	15,0	25,0	30,0	35,0
<b>TOTAL COSTES</b>	<b>555,6</b>	<b>651,1</b>	<b>786,5</b>	<b>839,1</b>	<b>923,3</b>
<b>EBITDA</b>	1769,6	-120,9	-56,2	211,1	486,9
<b>Margen de EBITDA</b>	<b>76%</b>	<b>-23%</b>	<b>-8%</b>	<b>20%</b>	<b>35%</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia en la tabla 5-4, el primer año el gasto estará representado por el personal contratado inicialmente, el líder de la unidad de negocio y los dos asistentes del área técnica y comercial. Adicional para los trabajos de campo y atención al cliente se contratará una empresa externa con un pequeño personal. Todo lo anterior suma un total de 152 millones COP\$ el primer año. Al siguiente año se contratará más personal con una pendiente de crecimiento hasta el tercer año. Otros de los gastos, están relacionados con los parafiscales, prestaciones sociales y seguridad social a cargo de la Empresa Comercializadora de Colombia, que según la página del Ministerio del Trabajo son un 52,37 % del sueldo básico de los empleados (Mintrabajo, s.f., s/p).

Se destinará un gasto importante del presupuesto a actividades de marketing, lo que servirá para la atracción de clientes y la fidelización de mismo, y se irá incrementando año

tras años, por un periodo de cinco años. Se hará también un gasto en contratar a una agencia de marketing que distribuya el dinero destinado a esta actividad.

Para promocionar la aplicación y la plataforma de BlockChain, el equipo de comercial y marketing deberán viajar a ferias nacionales y visitas a diferentes empresas, con el objetivo de que los usuarios puedan conocer la plataforma y aplicación de primera mano.

Todos los datos que se recopilen de los todos los usuarios se podrán utilizar para crear modelos de comportamiento y dicha información deberá quedar guardada en la nube. Los costos asociados a esta labor se incrementarán cada año tras año, debido al aumento exponencial de la información, que hará elevar el trabajo de procesamiento y almacenaje, haciendo que la Empresa Comercializadora de Colombia contrate más personal y equipos de cómputo.

Todos los años se destina una cantidad significativa a la formación y entrenamiento del personal a esta nueva tecnología (Blockchain) y otras tecnologías subyacentes. Esta cantidad aumentará, porque a lo largo del tiempo la empresa contratará más empleados, para atender más usuarios, por lo que el nivel de exigencia será mayor.

Otro de los gastos estará representado con el mantenimiento de la red de BlockChain, que son básicamente los honorarios para equipo y personal de la empresa IBM, que constantemente prestará accesoria, para la estabilidad y actualización de la plataforma y la aplicación.

En relación con los gastos de oficina, como los equipos de cómputo, escritorios, adecuamiento de otras oficinas para la atención al cliente, gastos de energía, telefonía y arrendamiento, etc., serán bajos los primeros años debido al personal reducido y año tras año, incrementará en relación con el aumento del personal.

Como se puede comprobar y ver en la tabla número 5-4, la nueva unidad de negocio será rentable, a partir del cuarto año, cuando la Empresa Comercializadora de Colombia tendrá un EBITDA positivo y por tanto será rentable. Lo anterior muestra que la Empresa Comercializadora de Colombia, genera pérdidas, pero es a partir del año cuatro, la empresa consigue ser rentable y obtiene beneficios.

## 5.4 Arquitectura BlockChain para la plataforma de la nueva unidad de negocio

Para la implementación de la nueva unidad de negocio, se debe diseñar una arquitectura que sea ágil, escalable y confiable, con herramientas de la tecnología BlockChain como plataformas, con algoritmos de consenso que se ajusten de la mejor manera a los requerimientos de las aplicaciones que se pretenden diseñar. Para uso empresarial, debemos tener en cuenta que las plataformas de BlockChain para el diseño de aplicaciones deben tener siguientes requisitos:

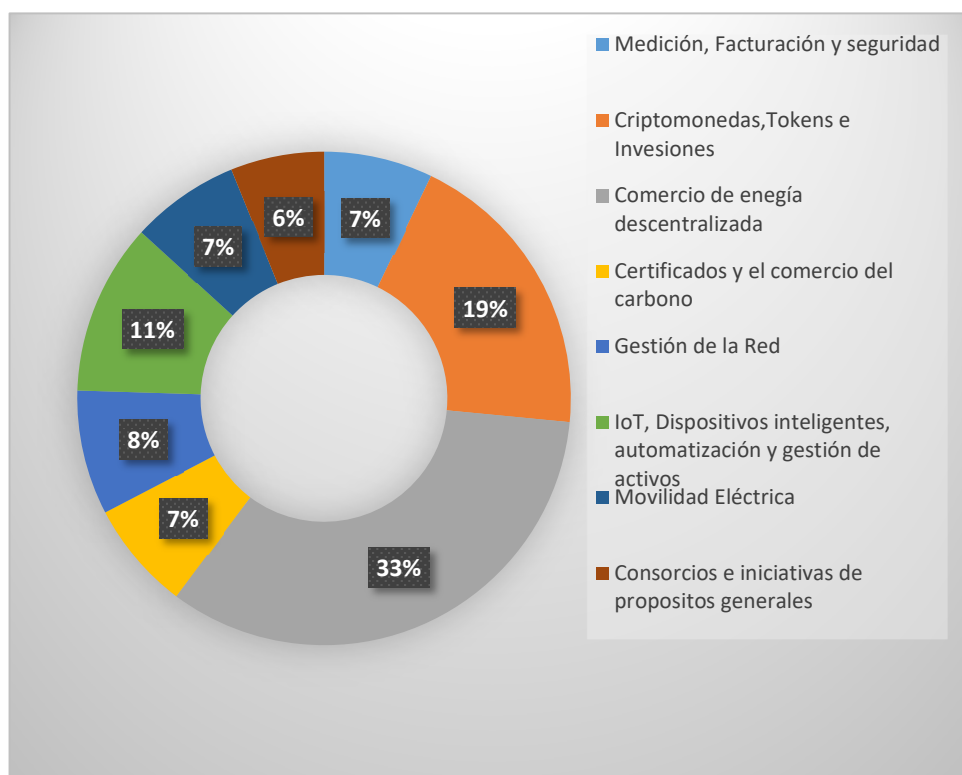
- Los participantes deben ser identificados / identificables.
- Las redes necesitan ser autorizadas.
- Alto rendimiento de las transacciones.
- Baja latencia de confirmación de las transacciones.
- Privacidad y confidencialidad de las transacciones y datos relacionados con transacciones comerciales.

Según un estudio de más 140 proyectos de innovación, sobre la revisión sistemática de los desafíos y oportunidades de la tecnología BlockChain en el sector de la energía, realizado por la universidad Heriot-Watt de Edimburgo Reino Unido y como se aprecia en la figura 5-9, los usos más relevantes en el sector de la energía, se pueden dividir en ocho (8) aplicaciones: 1) Medición, facturación y seguridad; 2) criptomonedas, token e inversiones; 3) comercio de energía descentralizada; 4) Certificados y el comercio de certificados de carbono; 5) gestión de la red; 6) IoT, dispositivos inteligentes, automatización y gestión de activos; 7) movilidad eléctrica; 8) consorcio e iniciativas de propósito generales (Andoni, y otros, 2018, p. 1-25).

Como se puede apreciar en la Figura 5-9, con un 33 %, 19% y 11%, las aplicaciones número 2 y 3, son las con mayor implementación en diversas empresas de energía alrededor del mundo y son con las que se quieren iniciar la nueva unidad de negocio.

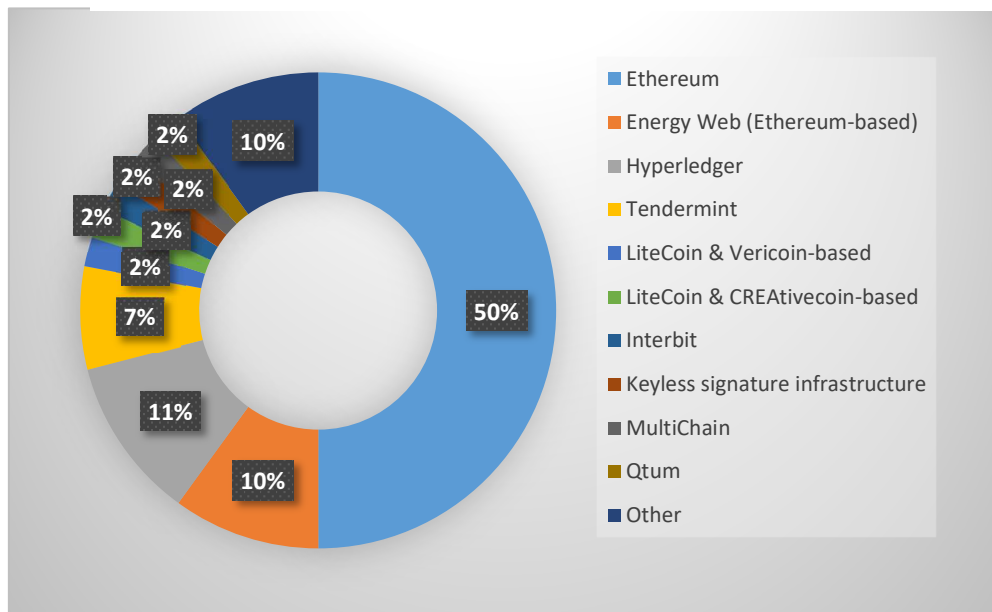
Luego se irán integrados las otras aplicaciones como la movilidad eléctrica, Certificación verde, a medida que el mercado, la regulación y la tecnología lo permita.

**Figura 5-9.** Aplicaciones en energía de la tecnología BlockChain



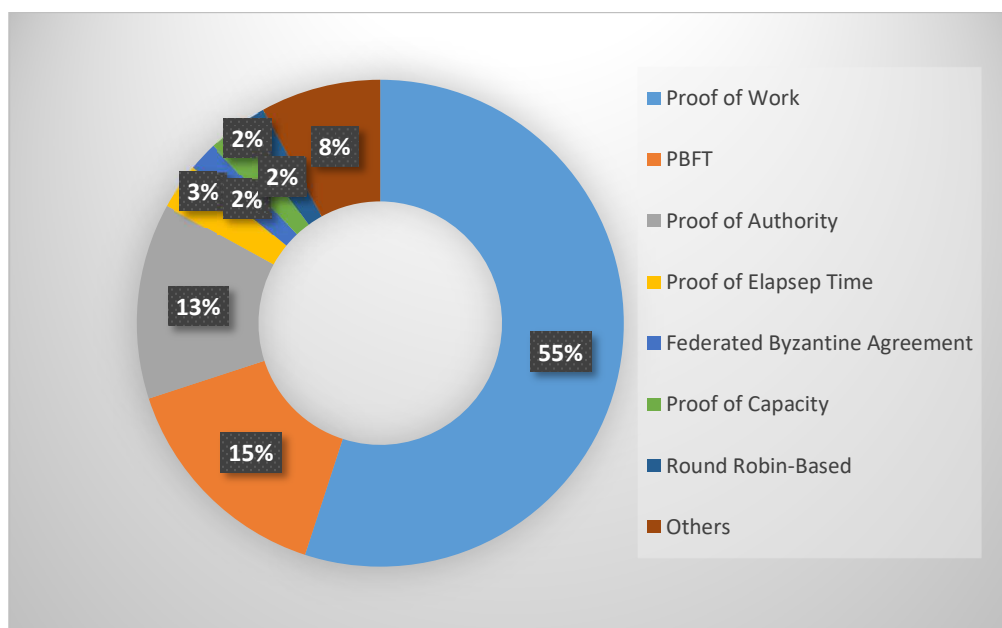
**Fuente:** elaboración propia con datos de artículo, A systematic review of challenges and opportunities.

En la Figura 5-10, se listan los algoritmos de plataforma de programación en BlockChain, ampliamente utilizadas para el desarrollo de diferentes aplicaciones. Ethereum con un 60% de utilización es el algoritmo de mayor demanda, luego le siguen Hyperledger y Tendermint con un 11% y 10% respectivamente.

**Figura 5-10.** Algoritmos de programación más utilizados

**Fuente:** elaboración propia con datos de artículo, A systematic review of challenges and opportunities.

En la Figura 5-11, se listan los algoritmos de consenso de Blockchain, ampliamente utilizados, para establecer la capa de seguridad a los datos registrados de los usuarios, los cuales deben tener garantía de privacidad, garantizando que todos los intercambios o transacciones queden registradas de una forma veraz, en la cadena de bloques. Además, se deben conseguir unos tiempos de latencia suficientemente bajos y posibilidad de ejecutar dentro de la cadena de bloques, contratos inteligentes (Smart Contracts) para garantizar su automatización, seguridad y el correcto funcionamiento del sistema. Proof of Work, PBFT y Proof of Authority, con un 55%, 15% y 13% respectivamente son los algoritmos de consenso más empleados.

**Figura 5-11.** Algoritmos de consenso más utilizados

**Fuente:** elaboración propia con datos de artículo, A systematic review of challenges and opportunities.

Para desarrollar la arquitectura de BlockChain de la nueva unidad de negocio, se ha decidido utilizar la plataforma Hyperledger, siendo la plataforma utilizada por nuestro socio clave, la compañía IBM. La plataforma Hyperledger se ha diseñado con el objetivo de llevar la tecnología de cadena de bloques a las empresas, al mejorar la confidencialidad y la escalabilidad. Se puede seleccionar qué partes de las transacciones son visibles y para quién. Es un sistema permissionado, fácil de escalar, además de contar con una serie de ventajas para proyectos corporativos de gran escala, los cuales se listan a continuación (Hyperledger, s.f., s/p).

- **Red permissionada:** obliga a que los usuarios sean dados de alta en el sistema para poder conectarse a la red, gracias a esto se tiene a todos los usuarios identificados.
- **Gestión de los permisos:** se pueden gestionar los permisos de lectura y escritura de todos los elementos de la cadena de bloques (creación de usuarios, creación y transmisión de activos, etc.)
- **Algoritmo de consenso:** no es obligatorio utilizar un consenso de prueba de trabajo como en Ethereum, que sería innecesario en un entorno en el que se

controla quién participa, lo que implica menores tiempos de latencia en las transacciones y un menor consumo de recursos.

- **Facilidad de uso:** Hyperledger Composer, es un conjunto de herramientas especialmente diseñadas para hacer más sencillo el desarrollo de aplicaciones de cadenas de bloques y los programas para interactuar con ellas. Los contratos inteligentes se escriben principalmente en Javascript, Java o Golang.

### 5.4.1 Hyperledger Fabric

Hyperledger Fabric es un sistema de código abierto modular y escalable para implementar y operar BlockChain con permiso y uno de los proyectos Hyperledger alojados por la Fundación Linux. Hyperledger Fabric es el primer sistema BlockChain verdaderamente escalable para ejecutar aplicaciones distribuidas. Admite protocolos de consenso modulares, lo que permite que el sistema se adapte a casos de uso particulares y modelos de confianza. Fabric también es el primer sistema BlockChain que ejecuta aplicaciones distribuidas escritas en lenguajes de programación estándar de uso general, sin dependencia sistémica de una criptomoneda nativa. Esto contrasta notablemente con las plataformas de cadena de bloques existentes que requieren que los "contratos inteligentes" se escriban en lenguajes específicos de dominio o se basen en una criptomoneda. Hyperledger Fabric realiza el modelo autorizado, utilizando una noción portátil de membresía, que puede integrarse con la gestión de identidad estándar de la industria (Hyperledger, s.f., s/p).

Hyperledger Fabric es una plataforma de tecnología de contabilidad distribuida autorizada (DLT) de código abierto de nivel empresarial, diseñada para su uso en contextos empresariales, que ofrece algunas capacidades de diferenciación clave sobre otras plataformas de contabilidad distribuidas o BlockChain populares. Un punto clave de diferenciación, es que Hyperledger se estableció bajo la Fundación Linux, que tiene una larga y exitosa historia de fomentar proyectos de código abierto bajo una gobernanza abierta, que hacen crecer comunidades sólidas y sostenibles y ecosistemas prósperos. Hyperledger está gobernado por un comité directivo técnico diverso y el proyecto Hyperledger Fabric por un conjunto diverso de mantenedores de múltiples organizaciones. Tiene una comunidad de desarrollo que ha crecido a más de 35 organizaciones y casi 200 desarrolladores desde sus primeros compromisos (Hyperledger, s.f., s/p).

Hyperledger Fabric tiene una arquitectura altamente modular y configurable, que permite la innovación, la versatilidad y la optimización para una amplia gama de casos de uso de la industria, incluidos la banca, las finanzas, los seguros, la atención médica, los recursos humanos, la cadena de suministro e incluso la entrega de música digital (Hyperledger, s.f., s/p).

Hyperledger Fabric es la primera plataforma de contabilidad distribuida, que admite contratos inteligentes creados en lenguajes de programación de propósito general como Java, Go y Node.js, en lugar de lenguajes restringidos específicos de dominio (DSL). Esto significa que la mayoría de las empresas ya tienen el conjunto de habilidades necesarias para desarrollar contratos inteligentes, y no se necesita capacitación adicional para aprender un nuevo idioma o DSL (Hyperledger, s.f., s/p).

La plataforma Hyperledger Fabric también está autorizada, lo que significa que, a diferencia de una red pública sin permiso, los participantes se conocen entre sí, en lugar de ser anónimos y, por lo tanto, totalmente desconfiados. Esto significa que si bien los participantes pueden no confiar completamente el uno en el otro (pueden, por ejemplo, ser competidores en la misma industria), una red puede funcionar bajo un modelo de gobernanza, que se basa en la confianza que existe entre los participantes, como un acuerdo legal o marco para el manejo de disputas (Hyperledger, s.f., s/p).

Uno de los diferenciadores más importantes de la plataforma, es su soporte para protocolos de consenso conectables, que permiten que la plataforma se personalice de manera más efectiva, para adaptarse a casos de uso particulares y modelos de confianza. Por ejemplo, cuando se implementa dentro de una sola empresa, o es operado por una autoridad confiable, un consenso totalmente bizantino tolerante a fallas puede considerarse innecesario y una carga excesiva en el rendimiento. En situaciones como esa, un protocolo de consenso tolerante a fallas (CFT), podría ser más que adecuado, mientras que, en un caso de uso descentralizado y multipartidista, se podría requerir un protocolo de consenso más tolerante a fallas bizantinas (BFT) (Hyperledger, s.f., s/p).

La combinación de estas características de diseño diferenciales hace que Hyperledger Fabric sea una de las plataformas de mejor rendimiento disponible en la actualidad, tanto en términos de procesamiento de transacciones como, de latencia de confirmación de

transacciones, y permite la privacidad y confidencialidad de las transacciones y los contratos inteligentes, lo que se conoce como "chaincode" (Hyperledger, s.f., s/p).

#### **5.4.1.1 Hyperledger Composer**

Hyperledger Composer es un conjunto de herramientas de computación de desarrollo, con un marco amplio y abierto, para favorecer los desarrollos de aplicaciones BlockChain. El objetivo principal es agilizar el tiempo de valorización y posibilitar la integración de todas las aplicaciones BlockChain, con los sistemas comerciales existentes. Se puede usar Composer para desarrollar rápidamente los casos de uso e implementar una solución BlockChain en pocas semanas en lugar de varios meses. Composer permite modelar una red comercial e integrarla a los sistemas y datos existentes, gracias a las aplicaciones de BlockChain asociarse con una identidad única criptográfica, a través de múltiples redes comerciales (Hyperledger, s.f., s/p).

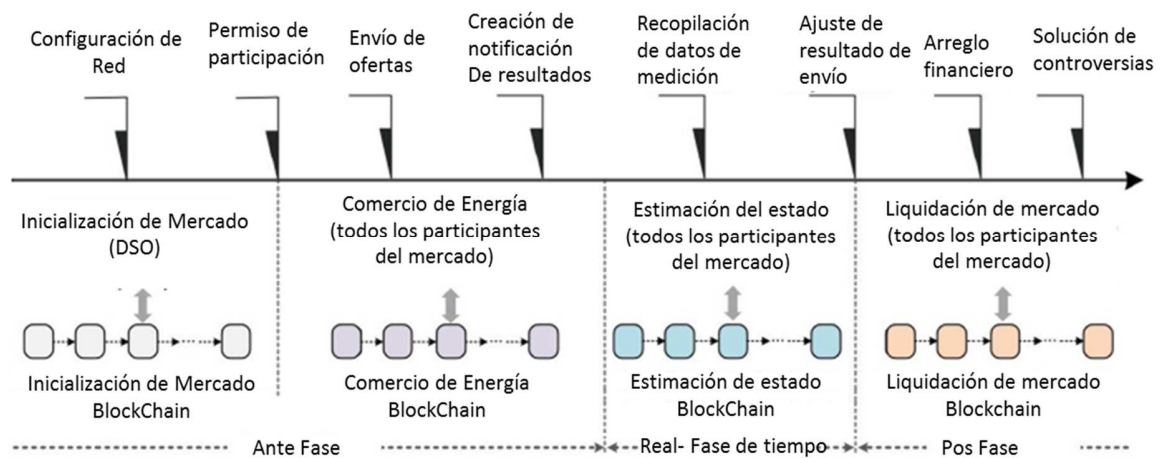
Hyperledger Composer permite la infraestructura y el tiempo de ejecución BlockChain pertenecientes al sistema Hyperledger Fabric, el cual admite protocolos de consenso de BlockChain conectables, que garantizan que las transacciones sean verificadas y validas, de acuerdo con la política por los participantes escogidos de la red comercial (Hyperledger, s.f., s/p).

Un dato relevante, es que las aplicaciones existentes de otro lenguaje de programación, pueden subir los datos de las redes empresariales de BlockChain, proporcionando a todos los usuarios puntos de acceso diversos, simples y controlados. Se puede usar Hyperledger Composer, para modelar rápidamente su red comercial actual en determinada empresa, que contiene sus activos existentes y las transacciones relacionadas con ellos. Los activos son bienes, servicios o propiedades tangibles o intangibles. Como parte de su modelo de red comercial, se puede definir las transacciones que pueden interactuar con los activos de la empresa y las redes comerciales también incluyen a los participantes que interactúan con ellos, cada uno de los cuales, puede asociarse con una identidad única criptográfica, a través de múltiples redes comerciales (Hyperledger, s.f., s/p).

## **5.5 Estructura del Sistema BlockChain propuesto para la nueva Unidad de Negocio.**

Según lo expuesto anteriormente y con ayuda de la tecnología BlockChain, se propone una estructura para la creación de un mercado de energía derivado de fuentes renovables. Los actores o usuarios que participarán serán los Prosumidores, que pueden ser consumidores y generadores, la Empresa Comercializadora de Colombia, que será el gestor del sistema y a su vez el operador red de distribución, que gracias a una plataforma basada en la tecnología BlockChain, ejecutará diferentes transacciones de energía, representadas en tokens virtuales. En el futuro, la plataforma de BlockChain se puede actualizar para abrir nuevos sectores o zonas de mercado, donde la Empresa Comercializadora de Colombia no sea operador de red. La estructura se compone de cuatro bloques de BlockChain, donde se almacenará la información necesaria para establecer el mercado y los usuarios deberán tener permiso de acceso para realizar ingreso de ofertas y sus respectivas transacciones. La estructura tiene la capacidad de garantizar la privacidad de los usuarios que componen el mercado, permitiendo solo compartir datos necesarios, para garantizar mediante consensos, la veracidad de la información almacenada en la base de datos mayor.

En la Figura 5-12, se presenta la estructura propuesta con los cuatro bloques mencionados. El primer bloque es donde se inicializa el mercado, se comprueba la reputación del usuario y si dispone de garantías y liquidez económica para que pueda participar en las subastas de energía. Un segundo bloque, donde se establece el comercio de la energía y cada usuario cargará sus ofertas de compra y venta energía, o productos con intercambio de tokens virtuales de energía. Un tercer bloque, donde se establece la veracidad de la información a través de la lectura en tiempo real de los parámetros eléctricos registrados en los contadores inteligentes de cada usuario. El cuarto y último bloque, donde se genera la liquidación para los usuarios del mercado, registrando todas las transacciones que se han ejecutado, entre los diferentes usuarios que han intervenido. Además se almacenan resultados de los índices de reputación que tiene cada uno.

**Figura 5-12.** Estructura del sistema BlockChain Propuesto

**Fuente:** elaboración propia con datos de artículo, Blockchain for decentralized transactive energy management system in networked microgrids.

### 5.5.1 Usuarios de la plataforma BlockChain

La plataforma propuesta para la nueva unidad de negocio, que tiene como objetivo principal incentivar la producción de energía eléctrica con fuentes renovables, tendrá dos tipos de usuarios que interactuarán de manera diferente, con las cadenas de bloques para conseguir un óptimo desempeño del sistema y un equilibrio en las transacciones.

**Gestor del sistema:** En la nueva unidad de negocio, el gestor sería el nuevo grupo creado en la compañía “Aplicaciones BlockChain”, que pertenece al área de sistemas de la compañía, y tendrá mayores privilegios en comparación a los otros usuarios del sistema. Tiene como responsabilidades, permitir el ingreso o retirar usuarios, con capacidad de modificar los datos personales de todos los usuarios, además, es el encargado de supervisar todas las operaciones o transacciones. También es el encargado de estar actualizando los precios de los intercambios de las transacciones, de validar el estado de cuenta de cada usuario, que en esta aplicación es la cantidad de tokens. Adicionalmente actualizará la reputación de cada usuario, asignando un índice bajo, si el usuario ha presentado irregularidades. Lo anterior es muy similar a lo que presenta la aplicación para comercio electrónico por internet de Mercado Libre, donde los potenciales compradores pueden visualizar la reputación de vendedor representada en estrellas. Por la actividad del

gestor de sistema, la Empresa Comercializadora de Colombia recibirá ganancias, pues cobrarían un pequeño porcentaje en tokens por cada transacción.

Recordemos que todas las operaciones quedan registradas en la BlockChain y cualquier usuario puede visualizar en cualquier momento si se está haciendo una actividad maliciosa por parte del Gestor del sistema. Esta cualidad del sistema basado en tecnología BlockChain, genera cierto grado de confianza de la veracidad de las transacciones (Li, Bahramirad, Yan, & Shahidehpour, 2019, p. 58-72).

**Prosumidor:** es el segundo y último usuario, el cual, según la literatura, es un usuario de la red de distribución que tiene instalado alguna generación renovable como paneles fotovoltaicos, que en determinados momentos se puede comportar como generador y vender su electricidad al operador de red u otro momento como usuario. Para simplificar el sistema de BlockChain propuesto para este trabajo de grado, cualquier usuario que disponga o no de generación renovable en sus instalaciones será llamado Prosumidor, quiere decir que en determinados casos se puede comportar como vendedor u otras veces como comprador, cuando se ejecuten las transacciones en la plataforma de BlockChain (Li, Bahramirad, Yan, & Shahidehpour, 2019, p. 58-72).

En esta plataforma existirá un Prosumidor especial, porque la mayoría de las veces no generará energía y se comportará como consumidor indirectamente. Un ejemplo de lo anterior, puede ser un almacén que vende electrodomésticos, y entre los cuales tiene algunos de alta eficiencia de funcionamiento, que ofrecerá en la plataforma de BlockChain a otros Prosumidores por una cantidad determinada de tokens, en la modalidad Peer to Peer. Una vez allá tranzado estos electrodomésticos por la plataforma, decidirá si comprar energía en el próximo periodo, por medio de las subastas o directamente al operador de red. Estos Prosumidores especiales, los denominaremos de aquí en adelante “Prosumidores comerciales”.

El Prosumidor se relaciona con la plataforma BlockChain, realizando compras o ventas de tokens, que representan energía eléctrica. El gestor del sistema determinará los pagos que debe realizar o recibir cada Prosumidor, y si debe haber una repercusión en su reputación. El Prosumidor tendrá ciertas restricciones comparado con el gestor del sistema. Podrá solo introducir las ofertas y los datos de su contador inteligente. Además, el sistema le permitirá

visualizar únicamente los datos que estén relacionados con su operaciones y transacciones, ejemplo, los resultados de las subastas, la cantidad de tokens recibidos y vendidos, la reputación que le fue asignada por el gestor del sistema en la última transacción.

Para el caso de transacciones entre Prosumidores y Prosumidores comerciales, el gestor del sistema no realizará la transferencia de tokens al Prosumidor comercial, hasta que el Prosumidor no confirme el recibo y buen estado del producto tranzado.

### **5.5.2 Funcionamiento de la plataforma de BlockChain**

La plataforma de BlockChain propuesta en este trabajo de grado, tiene como objetivo fundamental incentivar la generación de energía derivada de fuentes renovables y el uso masivo de productos que contribuyan al medio ambiente, lo cual se consigue con el establecimiento de un comercio electrónico de tokens, gestionado por un algoritmo criptográfico basado con tecnología BlockChain. El objetivo principal de esta gestión de la energía, es que la plataforma logre establecer un mercado con usuarios locales, minimizando y optimizando procesos, para que el negocio sea tentativamente rentable para los participantes, con un precio de la energía menor, logrando un retorno la inversión mucho más rápido e incentive a los usuarios a instalar proyectos de generación en sus hogares, convirtiéndose en Prosumidores.

En conclusión, la plataforma basada en BlockChain permitirá que usuarios de un área local específica y determinada, puedan administrar, vender, comprar electricidad y productos mediante contratos inteligentes, de forma automática, segura y rápida.

El comercio electrónico a través de la plataforma de BlockChain, se podrá hacer de dos formas diferentes, las cuales se detallan a continuación:

- La primera mediante subastas de energía, donde varios Prosumidores, que pueden ser vendedores o compradores, puedan participar con reglas de juego definidas previamente por el gestor del sistema.

- La segunda forma consiste en que los Prosumidores de la plataforma puedan comprar, vender su energía y además productos (neveras, lavadoras, etc.), de forma directa bajo la modalidad de igual a igual (Peer to Peer).

Como se mencionó anteriormente en este documento, la energía se comercializa a través de la plataforma de BlockChain, representada en tokens, que son almacenados en la base de datos de BlockChain y cada Prosumidor posee una cartera virtual de tokens, que le pertenece. Un (1) tokens equivaldrá a un (1) kilovatio hora (kVh), vendido o comprado en una determinada transacción. Los productos que se podrán comercializar en la plataforma se representarán el múltiplos de tokens, por ejemplo, una lavadora que normalmente tiene un valor de 1 millón de pesos colombianos, un almacén podrá asignar el valor a este producto de 2000 tokens, suponiendo que el kilovatio hora de energía tenga un valor promedio de 500 pesos colombianos. Los productos ofrecidos por el Prosumidor comercial deberán cumplir con características que benefician al medio ambiente, como alta eficiencia en el consumo de energía, construcción con materiales reciclables o biodegradables y capacidad de conectarse a una red de IoT. El gestor del sistema que en este caso será el grupo Aplicaciones BlockChain de la Empresa Comercializadora de Colombia, será el encargado de validar y verificar las características de los productos y decidir si se pueden comercializar en la plataforma de BlockChain.

Cabe recordar que lo recomendable, es que las transacciones de energías se hagan entre usuarios que estén en una misma microrred, para reducir las pérdidas de transmisión y de esta forma de logre precios de energía reducidos y competitivos. A continuación, se detallarán los pasos del comercio de la energía, que tiene como objetivo principal abaratar los precios de la misma, en comparación con los precios regulados ofrecidos por el operador de red, y fomentar la compra de productos que contribuyen al medio ambiente.

1. Todos los Prosumidores enviarán al gestor de sistema, la solicitud para poder participar en las subastas o en la modalidad igual a igual. El gestor del sistema, con ayuda de la plataforma BlockChain filtrará los Prosumidores, dejando solo participar en la subasta a los que cumplan con las siguientes condiciones:
  - Contar con un mínimo de tokens en su cartera virtual, establecido por el gestor del sistema, en el caso de ser un comprador. Para casos donde el Prosumidor sean generador también se le exigirá un mínimo de tokens, para garantizar u

- 
- ofrecer indemnizaciones, cuando no pueda entregar la energía pactada en la subasta.
- Cumplir con una buena reputación, la cual será actualizada permanentemente por el gestor del sistema en cada transacción. De esta forma solo se podrá admitir los Prosumidores que cumplan un límite de reputación previamente establecido.
  - El Prosumidor generador, deberá reportar al gestor del sistema, cada cierto periodo, un certificado de mantenimiento preventivo a su instalación y equipos de generación.
2. Todos los Prosumidores seleccionados, presentan una previsión de energía para el próximo periodo de mercado, ya sea de consumo y/o de generación. Lo anterior determina cuanto será la cantidad de energía que se tendrá que inyectar o adsorber de la red de distribución. Los Prosumidores comerciales presentarán todos sus productos, registrando y detallando todas las características, para posterior validación por parte del gestor del sistema.
  3. Se realizará una primera subasta con los Prosumidores seleccionados de las ofertas de compra y venta de energía, indicando el precio de compra o venta y la cantidad de energía de generación o de consumo. Con una segunda subasta, se seleccionan los Prosumidores que tienen la capacidad de almacenar la energía en baterías, o los que tienen una rápida respuesta de cambiar su generación o consumo. El gestor de sistema le indicará el pago de la remuneración a los Prosumidores, por ofrecer sus servicios, en el momento que deban compensar los desajustes en el periodo próximo. Además, los Prosumidores comerciales, deberán reportar la cantidad de tokens, con que transarán los productos ofrecidos en el punto 2.
  4. La plataforma de BlockChain, por medio de contratos inteligentes determina el precio final de la energía, los Prosumidores consumidores y generadores que podrán entrar en el balance energético de periodo próximo. Además, se incluye los Prosumidores que ayudarán en los desajustes de energías, que se puedan presentar en el periodo próximo. Por último, se seleccionarán los Prosumidores comerciales con sus productos, que podrán participar.

5. Para el caso de la modalidad con subastas, un sistema de medición inteligente, con contadores compatibles con la tecnología BlockChain, la plataforma se encargará de registrar todas las variables de la energía, para determinar la finalización de cada una de las transacciones, hasta que se cumplan todas las condiciones preestablecidas en los contratos inteligentes. Adicionalmente se inician y finalizan las transacciones que son necesarias para compensar los desajustes.
6. Los anteriores desajustes, pueden ser el resultado de un Prosumidor que fue admitido en la subasta principal y tuvo un problema técnico en su generación o algunos Prosumidores que no consumieron la energía proyectada. Cualquier otro desajuste que este por fuera de los valores proyectados y no pueda ser compensado por Prosumidores seleccionados, será resuelto por energía tomada de la red principal, puesto que las microrredes permanecen conectadas permanentemente. La energía suministrada por la red principal lógicamente tendrá la tarifa regulada.
7. Para la modalidad peer to peer, el sistema de la plataforma de BlockChain, enviará las ofertas de los productos de los Prosumidores comerciales al resto de Prosumidores, para que ellos mismos inicialicen los contratos inteligentes, una vez se hayan decidido por uno o varios productos. Las transacciones inicializadas en los contratos inteligentes se finalizarán hasta que los productos sean recibidos y validados por los Prosumidores compradores.
8. Los Prosumidores generadores, que no fueron seleccionados al inicio, para participar de las subastas de energía, podrán vender su energía a la Empresa Comercializadora de Colombia, a través de la plataforma BlockChain a un precio definido por la regulación colombiana.

A continuación se presenta y explica el funcionamiento de los cuatro bloques de BlockChain que componen la plataforma, propuesta para el comercio de energía eléctrica, por medio de la modalidad de subastas o la modalidad peer to peer, que en síntesis tiene los siguientes procesos: recolección y verificación de la información, establecimiento del comercio, toma de lecturas de variables eléctricas con ayuda de contadores inteligentes o validación de llegada del producto comercial, y liquidación de los participantes del mercado.

### **5.5.3 Cadena de bloques de ingreso de datos personales**

En la primera cadena de bloques, se almacena la información de datos personales de los Prosumidores de las diferentes microrredes con que contará la Empresa Comercializadora de Colombia y que interactuarán en la plataforma de BlockChain de comercio. El encargado de gestionar, actualizar, analizar y validar toda la información será el gestor de sistema y cualquier modificación de la información, solo la realizará por solicitud y consentimiento de los Prosumidores.

El gestor del sistema tendrá acceso a toda la información y por el contrario cada Prosumidor solo podrá visualizar, más no modificar, la información relacionada con ellos mismos. Al momento de ingresar la información de un nuevo Prosumidor, la plataforma de BlockChain asignará un número o código de identificación secreto, similar al número de cedula colombiana, que nunca será cambiado y la plataforma lo usará, y reconocerá al Prosumidor al momento de la ejecución de cualquier transacción. El número o código solo lo conocerá el gestor del sistema y cada Prosumidor, manteniéndose oculto al resto de Prosumidores de la Plataforma.

Para que un Prosumidor sea admitido por el gestor del sistema y pueda interactuar en la plataforma, estos deben adquirir tokens equivalentes a un valor establecido por el gestor, que por lo regular equivale al precio promedio actual de un kilovatio hora de energía, por ejemplo, un kilovatio hora de energía regulada esta con un precio promedio de 550 pesos. El gestor del sistema podrá fijar el precio de un (1) tokens a un costo menor por ser generación distribuida, para que logre incentivar y estimular a los Prosumidores a hacer inversiones y participar en la plataforma. El Prosumidor deberá adquirir los tokens suficientes, en el momento de ingreso y durante todo el tiempo de permanencia en la plataforma, cuyo tope mínimo será calculado por el gestor del sistema, con ayuda de los estimativos de consumo de energía promedio.

Existen Prosumidores generadores, cuya generación es menor a su consumo diario. Los Prosumidores que generan con paneles fotovoltaicos tienen excedentes de energía en el día cuando se dispone de radiación solar, que pueden vender a la red a través de la plataforma de BlockChain obteniendo tokens. En las horas de la noche cuando la generación fotovoltaica es nula, los Prosumidores generadores pueden utilizar los tokens

que obtuvieron en el día, intercambiarlo por energía a través de la plataforma. Los anteriores Prosumidores se comportan habitualmente como generadores y consumidores.

Otros dos casos que se pueden presentar, es cuando un Prosumidor, genera la misma cantidad de energía de la que consume en un periodo determinado y el segundo caso resulta cuando un Prosumidor tiene una generación mayor de energía de la que consume. En el primer caso, el Prosumidor no obtendrá tokens al hacer el balance de finalización del mercado y el Prosumidor del segundo caso, si obtendrá tokens al hacer el balance final, que podrá intercambiar por dinero, productos o futuras compras de energía cuando el precio promedio regulado se encuentre alto. Al finalizar cada ronda de mercado, el gestor del sistema tiene la tarea de actualizar la reputación de todos los Prosumidores que han participado en el periodo de mercado, de acuerdo con el cumplimiento de los diferentes acuerdos, que se habían pactado al inicio de las transacciones.

Los datos que se almacenan pueden ser variados de acuerdo con el grado de seguridad que se desee implantar en la plataforma de BlockChain, pero por lo regular son la dirección de residencia, nombres completos del Prosumidor, tipo de generación, reputación, Token disponibles, número de identificación asignado, tipos de productos con su cantidad y con sus características. Hay que recordar que esta información solo podrá ser vista por el gestor del sistema y el cada Prosumidor.

### **Contratos inteligentes**

Los contratos inteligentes de BlockChain programados en la primera cadena de bloques, que contiene toda la información de los Prosumidores, están diseñados para realizar dos tipos de transacciones:

- Transacción encargada de validar la reputación de cada Prosumidor, de acuerdo al histórico de las anteriores transacciones y verificar la cantidad de tokens disponibles en su cartera electrónica. El contrato inteligente le dará el permiso de participar en las subastas, si cumple los requisitos mínimos.
- La segunda transacción se encargará de finalizar los permisos de introducción de datos de los Prosumidores, una vez halla caducado el tiempo propuesto. Se

encargará de almacenar en la base de datos de BlockChain, toda la información de los Prosumidores admitidos.

### **Permisos**

En esta cadena de bloques se programará una serie de permisos, tanto para el gestor del sistema y para los Prosumidores. El gestor del sistema tendrá el permiso, de inclusión, validación y modificación de los datos de los Prosumidores. Además, la ejecución de los contratos inteligentes cuando estos no sean automáticos.

Los Prosumidores, únicamente tendrán el permiso de visualizar los datos personales y para introducir o modificar cualquier dato registrado, deberá hacer una solicitud al gestor del sistema para que lo realice. Entre los datos más relevantes que puede visualizar el Prosumidor está su reputación y los tokens disponibles en su cartera electrónica de BlockChain.

### **5.5.4 Cadena de bloques de mercado**

Como se mencionó anteriormente, los Prosumidores pueden interactuar con la plataforma de dos formas diferentes, por medio de subastas o por medio de transacciones directas peer to peer con otros Prosumidores.

#### **Metodología de las subastas**

Después que, en la primera cadena de bloques, se almaceno la información de los Prosumidores permitidos, se ejecuta la segunda cadena de bloques, donde se inicia la solicitud de información requerida para el inicio de las subastas. Además, se almacena el precio de venta de la generación distribuida, para tomarlo como referencia de partida, el cual está regulado por la Resolución CREG 030 de 2018. Este precio es el que pagará el operador de red al Prosumidor que decida vender su energía y normalmente serán los que no quedaron seleccionados para la subasta, de la primera cadena de bloques. El precio venta de la generación distribuida, según la resolución. equivale al precio de bolsa actual, más un valor en beneficios, los cuales representan al monto reconocido por los beneficios a los que contribuye la generación distribuida en la red de distribución, al cual esté conectada el Prosumidor, debido a su ubicación cercana a los centros de consumo. El precio de venta de la generación distribuida será es costo máximo, con que los Prosumidores podrán ofrecer su venta de energía en la subasta.

La segunda cadena de bloques solicitará a los Prosumidores que envíen sus ofertas de compra o venta de energía, Especificando la cantidad y el precio de venta a los Prosumidores generadores y la cantidad a los Prosumidores consumidores. Una vez cerrada la solicitud de información, la cadena de bloques organiza de menor a mayor los precios de venta y escoge la energía de los Prosumidores generadores hasta que se complete la cantidad de energía solicitada de compra. El precio de la energía de la subasta será el último valor de venta que clasifico en la subasta hasta completar la energía de compra. Un porcentaje de Prosumidores generadores que tiene gran capacidad de respuesta a la demanda, serán admitidos para compensar las desviaciones o desajustes que se puedan presentar en el periodo de consumo, que puede ir a la baja o al alta.

Todos los resultados de la subasta serán almacenados en la base de datos de BlockChain, y enviados a cada Prosumidor para su verificación y aprobación. En caso de que algún Prosumidor rechace el resultado, la cadena de bloques correrá una segunda subasta para enviar los resultados oficiales. Los Prosumidores que no aceptaron o no quedaron clasificados en la subasta o en la preselección de la primera cadena de bloque, podrán participar de forma directa bajo la modalidad de igual a igual (Peer to Peer), la cual se explicará más adelante de este documento.

Las subastas ejecutadas en la segunda cadena de bloque tienen como objetivo obtener precios más bajos de la energía, en comparación al precio que estaría dispuesto pagar el operador de red, según la regulación. Además de incentivar a los Prosumidores, a instalar equipos que les permitan ofrecer servicios de respuesta a la demanda, como bancos de baterías, granjas solares con automatismos, que puedan variar fácil y rápidamente la producción de energía.

Posteriormente y para una actualización de la plataforma, se puede implementar en la cadena de bloques algoritmos que discriminen tipos de generación u otras características de la energía de acuerdo con los gustos del Prosumidor consumidor.

Los datos almacenados en la segunda de cadena de bloques son los precios de los intercambios con la red principal a cada hora del día, ofertas de compra o venta de energía, resultados del casamiento de las ofertas del mercado.

**Modalidad peer to peer**

La otra forma de interactuar con la plataforma es peer to peer, que consiste en que todos los Prosumidores pueden visualizar los productos que fueron ofrecidos por los Prosumidores comerciales. Los Prosumidores tienen permisos de inicializar la transacción al momento de escoger un producto de su preferencia. Inmediatamente la plataforma avisará a al Prosumidor comercial para que envíe el producto solicitado a la ubicación acordada y la transacción no finalizará, hasta que el Prosumidor, de su conformidad de recibo del producto.

**Contratos inteligentes**

La segunda cadena de bloques de la plataforma de BlockChain, consta de seis tipos de contratos inteligentes que realizan transacciones diferentes, los cuales se detallan a continuación:

- Solicitud de ofertas: una vez sean admitidos los Prosumidores, el gestor del sistema habilitará los permisos para que los Prosumidores envíen las ofertas de venta o compra de energía y productos. Una vez termina el plazo, se cierra las transacciones y los datos son almacenados en la base de datos de BlockChain.
- El segundo contrato inteligente tendrá la función de determinar a los Prosumidores, que serán elegidos para participar en el periodo próximo en la compra y venta de energía, realizando hasta dos subastas si es necesario.
- El tercer contrato inteligente, deberá escoger los Prosumidores que deberán atender desbalances o desajustes de energía en el periodo próximo.
- El cuarto tipo de contrato inteligente tiene la función de ejecutar las transacciones peer to peer entre los Prosumidores y los Prosumidores comerciales. Los Prosumidores comerciales podrán usar los tokens adquiridos, para comprar energía en las subastas o directamente al operador de red.
- Los Prosumidores que no fueron admitidos para participar en el comercio inicial ya sea por medio de subastas, debido a su reputación o por sus altos valores de precio de venta de energía, tendrán la oportunidad, si lo desean, de vender su energía al operador de red. El quinto tipo de contratos tendrá la función de realizar las anteriores transacciones.
- El último contrato inteligente, realizará la finalización del mercado, cerrando los permisos de introducción de ofertas y enviará los resultados a todos los Prosumidores a su cartera digital.

### **Permisos**

A continuación, se detallarán los permisos otorgados para los usuarios del sistema para garantizar que al final de las subastas y las transacciones ejecutadas, los datos sean almacenados de forma correcta, con alto grado de veracidad y mantener la privacidad de los datos de la totalidad de Prosumidores.

- El gestor del sistema tendrá los permisos para ejecutar los contratos inteligentes, que solicitan las ofertas a los Prosumidores, visualizar las ofertas introducidas, iniciar y terminar las subastas y visualizar todos los resultados de las subastas.
- Los Prosumidores solo tendrán permisos para visualizar si ha sido o no admitido para participar en las subastas, ingresar las ofertas de compra o venta de energía y comprobar los resultados de la cantidad de energía autorizada y el precio final de la energía.
- Para el caso de transacciones peer to peer, los Prosumidores tendrán permisos de inicializar las transacciones relacionadas con los productos escogidos y finalizará las transacciones al momento que reciba el producto en el lugar de destino acordado. Los resultados de estas transacciones serán enviados a la cuarta cadena de bloques para liquidación y pago.

### **5.5.5 Cadena de bloques de registro de parámetros eléctricos**

Cada usuario contará con un medidor inteligente compatible con tecnología BlockChain para mayor seguridad y veracidad de los datos. Estos medidores, en lo posible, deberán ser bidireccionales y tener un mecanismo de desconexión automática, que es controlado por el gestor del sistema ante cualquier irregularidad. La tercera cadena de bloques de la plataforma de BlockChain, interactúa con cada uno de los medidores inteligentes de los Prosumidores seleccionados en las subastas, y constantemente realiza la supervisión. Los medidores inteligentes mandarían la señal cuando la cantidad del consumo o generación establecida en las subastas se cumpla para cada Prosumidor. Se pueden encontrar casos donde, Prosumidores no cumplan lo establecido en la subasta. Estos desajustes serán suministrados por los Prosumidores seleccionados para atender este tipo de contingencias.

Cuando el periodo del comercio de la energía haya finalizado, la cadena de bloques tendrá la suficiente información para enviarla a la última cadena de bloques, donde se identificarán los responsables de las desviaciones de energía y asignar la nueva reputación a cada Prosumidor.

En esta tercera cadena de bloques, se almacenarán los siguientes datos, para el procesamiento y análisis de resultados:

- Voltaje.
- Intensidad.
- Frecuencia.
- Diferencia entre generación y consumo.
- Parámetros eléctricos acumulados
- Potencia activa consumida.
- Potencia reactiva consumida.
- Potencia activa generada.
- Potencia reactiva generada.
- Parámetros instantáneos.

### **Contratos inteligentes**

En la tercera cadena de bloques se encuentran dos tipos de contratos inteligentes. En el primero se ejecuta en el desarrollo de periodo de mercado establecido y el segundo se ejecuta al finalizar dicho periodo.

El primer tipo de contrato se inicializa en el desarrollo de periodo de mercado de energía, cuando detecta alguna irregularidad en los Prosumidores, cuando dejan de consumir o generar energía. Inmediatamente cuando la cadena de bloques detecta este desbalance o desajuste, envía comandos a los Prosumidores que quedaron asignados como respaldo de respuesta a la demanda, por ejemplo, para que generen energía o consuman almacenando la energía en sus bancos de baterías. Entre más automatismos tengan los Prosumidores en sus instalaciones, aumentará la capacidad de respuesta de la plataforma para compensar los desbalances, por ejemplo, los contadores inteligentes pueden tener varios contactos de potencia, controlados por el gestor del sistema, los cuales se pueden

conectarse independientemente a cada equipo del Prosumidor, al banco de baterías o a varios grupos de paneles solares.

El segundo tipo de contratos es el que se inicializa al final del periodo establecido, donde se leen todos los datos de generación y consumo de todos los Prosumidores, se calcula la diferencia entre ambos parámetros. El dato final de este segundo y primer tipo de contrato se guarda en la base de datos de la BlockChain, para que en la cuarta y última cadena se realice la liquidación de pagos y cobros a todos los Prosumidores.

### **Permisos**

En esta tercera cadena de bloques, el gestor del sistema solo tiene permisos de visualización de los datos recogidos desde los medidores inteligentes por todos los Prosumidores, para su supervisión, pero no podrá realizar ninguna edición, inserción y modificación de datos.

Los Prosumidores solo tienen permisos de visualizar los datos que ha ingresado automáticamente sus medidores inteligentes, cualquier inconsistencia que detecten será informada al gestor del sistema para que efectúe un mantenimiento y calibración del medidor si es necesaria.

### **5.5.6 Cadena de bloques de liquidación de los pagos**

La cuarta y última cadena de bloques de la plataforma de BlockChain, recoge los resultados de la segunda y tercera cadena, ejecuta algoritmos para realizar cruces y comparaciones de datos, obteniendo como resultados las listas de liquidación, para los pagos y cobros de todos los Prosumidores. Además, publica la actualización de reputación de todos los Prosumidores, para que se tengan en cuenta para las próximas subastas.

También se encarga, con la ayuda de contratos inteligentes, de sumar o restar los tokens a la cartera electrónica a cada uno de los Prosumidores, de acuerdo a los datos de la finalización de mercado en comparación con los datos acordados en las subastas y en los contratos para modalidad peer to peer.

Por último, liquida y paga a los Prosumidores generadores que no pudieron lograr vender su energía en el periodo, derivada de una menor demanda de la proyectada. La empresa

comercializadora de Colombia, que este caso es mismo gestor del sistema y operador de red, pague con tokens, cargándolos en las carteras electrónicas de los Prosumidores o si desean en pago en efectivo. El gestor del sistema pagará a los Prosumidores generadores con el dinero recolectado en la compra de tokens inicial, por los mismos Prosumidores.

En esta cuarta cadena de bloques se almacenará en la base de datos de Blockchain, los datos de las siguientes transacciones que constan de una estampa de tiempo, una cantidad de energía, un precio, un comprador y un vendedor:

- Transacciones ejecutadas para compensar los desajustes en la energía proyectada.
- Transacciones realizadas con la Empresa Comercializadora de Colombia.
- Transacciones realizadas conforme a lo acordado en los resultados de las subastas de energía de la segunda cadena de bloques.
- Transacciones realizadas bajo la modalidad peer to peer.
- Listado de actualización de la reputación de todos los Prosumidores
- Datos de actualización de las carteras digitales de todos los Prosumidores.

### **Contratos inteligentes**

Las transacciones ejecutadas por los contratos inteligentes en la cuarta cadena de bloques se listan a continuación:

- Se ejecutan transacciones, que permiten comparar los resultados de las subastas con las lecturas de energía que se realiza en la tercera cadena de bloques. Al finalizar las transacciones, generan los abonos o sustracción de tokens y envía los resultados a todos los Prosumidores.
- En segundo tipo de transacciones tiene la función, de liquidar los Prosumidores que no participaron en las subastas por desajustes en el consumo y decidieron vender su energía las Empresa Comercializadora de Colombia.
- El tercer tipo de contratos, realizarán las liquidaciones de pagos a los Prosumidores comerciales, con la información recolectada de la segunda cadena de bloques.
- El último tipo de contratos tiene como objetivo liquidar los Prosumidores que ayudaron a compensar los desajustes durante el periodo de mercado.

**Permisos**

En esta última cadena de bloques, el gestor de sistema podrá visualizar la totalidad de datos sin excepción para realizar verificaciones y validaciones, antes de ejecutar todos los contratos inteligentes, de la cadena de bloques.

Los Prosumidores por el contrario solo contarán con el permiso, de visualizar todos los datos relacionados únicamente a sus transacciones. Entre los datos los más importantes, está el flujo de caja de tokens de su cartera digital y su índice de reputación.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

- Es de vital importancia que Colombia continúe con la incorporación de energías renovables en la matriz de generación, porque representa un valor fundamental para la sostenibilidad ambiental, cuya función a largo plazo se deriva en la de preservar la vida humana, facilitando la creación de sociedades más inclusivas y equitativas, por el solo hecho de que las energías renovables, son libres y asequibles a cualquier persona.
- La regulación de energía eléctrica vigente en Colombia, para la introducción eficaz de la generación derivada de fuentes renovables en especial las no convencionales, está permitiendo que grandes empresas en el sector estén implementando proyectos de gran envergadura después de un resultado positivo de balance técnico económico. El mercado de los pequeños generadores como es el caso de los Prosumidores tienen en la regulación actual, solamente poder vender sus excedentes al operador de red. Para que esta nueva unidad de negocio propuesta tenga la oportunidad de implementarse, la regulación debe tender a la total liberación del mercado, donde permita que los pequeños generadores y usuarios interactúen entre sí y establezcan sus transacciones de energía.
- Durante el proceso de investigación para la propuesta de la nueva unidad de negocio, se evidenció que la tecnología Blockchain tenía limitación de escalabilidad y carga de transacciones limitadas. Gracias al trabajo conjunto de los últimos 5 años en el proyecto Hyperledger de diferentes empresas de tecnología y del sector industrial, está permitiendo desarrollos significativos para avanzar en la adopción empresarial a través de la colaboración a través de la colaboración global de código abierto. Según el ciclo Hype de Gartner Inc. 2019 para Tecnologías Blockchain muestra que Blockchain se está deslizando hacia el valle de la

desilusión. El mercado comenzará a salir de este valle para 2021, a medida que la tecnología avance y los casos de uso pragmáticos con el soporte exclusivo de BlockChain continúen desplegándose.

- La unidad de negocio propuesta en este trabajo final de Grado tiene una visión a mediano plazo, debido a que recientemente en Colombia se inició la apertura a estos nuevos modelos de negocio en energía renovables. La regulación reglamentada por la CREG ha dado sus primeros pasos para la descentralización de la energía y la apertura total requiere de un proceso paulatino y planificado, para que todos los interesados en este nuevo mercado dispongan de tiempo para tener una buena curva de aprendizaje. Por la anterior razón una de las principales actividades claves es el estudio permanente de la regulación de Energía Colombiana, que entregará en momento de partida apropiado para el lanzamiento de la nueva unidad de negocio. La empresa comercializadora de Colombia dispone del área de asuntos regulatorios, la cual dará las directrices e informará mediante comités mensuales.
- La unidad de negocio propuesta para la Empresa Comercializadora de Colombia tendrá la capacidad de adaptarse a nuevas transacciones como es el caso de certificados verdes, gestión de carga de los vehículos eléctricos y gran número de aplicaciones contempladas en la tabla número 2 del presente documento. La introducción de estas nuevas aplicaciones de al sistema BlockChain se realizará paulatinamente observando y analizando detalladamente los cambios en el mercado y las actualizaciones en la regulación de energía colombiana.

## 6.2 Recomendaciones

- La Plataforma de Blockchain propuesta para la nueva unidad de negocio, contempla la comercialización de energía eléctrica derivada de fuentes renovables y productos que contribuyan al medio ambiente. En un futuro se recomienda expandir a otras aplicaciones potenciales de la tecnología BlockChain en el sector eléctrico, por ejemplo, la carga de vehículos eléctricos, Gestión de cadena de suministro, Certificados de energía renovables, contemplados en la tabla número 3, capítulo 5 del presente documento.

- Para el desarrollo de la plataforma de BlockChain, de utilizo el sistema computacional Hyperledger Fabric con sus herramientas Composer, en sus versiones más recientes hasta la actualidad. Es recomendable que cada cierto periodo se esté actualizando la plataforma con las versiones más recientes, para brindar a los usuarios mayor cobertura y seguridad.



## Referencias Bibliográficas

- Al-Debei, M. M., Haddadeh, R. E., & Avison, D. (2008). Defining the business model in the new world of digital business. *Americas Conference on Information Systems*, 8.
- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., . . . Peacock, A. (2018). Blockchain technology in the energy sector: A sistematic review of challenges and opportunities. *ELSEVIER*.
- Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., Christian Cachin, Konstantinos Christidis, Angelo , . . . Yellick, J. (2018). Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned BlockChain. 1-14.
- APPA. (2018). *Appa. Tipos de fuentes de energía renovable: Appa asociación de Empresas de Energías renovables*. Obtenido de APPA: <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-tipos-y-ventajas/tipos-de-fuentes-de-energia-renovable>.
- Asociación COCIER. (2019). *Demanda de energía en colombia*. Obtenido de COCIER Juntos progreseemos: <http://www.cocier.org/index.php/pt/noticias-de-cocier/1858-la-demanda-de-energia-en-colombia-crecio-4-02-en-2019>.
- Benavides, Juan., Cadena, Ángela. (2018). Mercado eléctrico en Colombia: transición hacia una arquitectura descentralizada
- Barroso, A. M., & Ferreira Leyva , G. (2017). *Critical Analysis of the Investment in Renewable Energies: A Socioeconomic Approach*. Cofin Habana.
- CENER. (s.f.). *INTRODUCCIÓN A LAS MICRORREDES*. Obtenido de LA ENERGÍA DEL CONOCIMIENTO: <http://www.cener.com/introduccion-a-las-microrredes/>
- Connolly , D., Lund , H., & Mathiesen, B. (2015). Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. *ELSEVIER*.

CPS. (s.f.). *Generación distribuida de energía, ¿qué es, sus ventajas y cómo funciona?*

Obtenido de CPS: <https://chintpowerlatinoamerica.com/blog/energia-solar/generacion-distribuida-de-energia-que-es-sus-ventajas-y-como-funciona/>

CREG. (13 de marzo de 2015). *Publicación Diario Oficial*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía:

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0?OpenDocument>

CREG. (13 de marzo de 2015). *Publicaciones*. Obtenido de RESOLUCIÓN No. 024 DE 2015:

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/\\$FILE/Creg024-2015.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf)

CREG. (14 de septiembre de 2017). *Publicacion Diaria Oficial*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía:

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/b5341fbcfab96db80525819b006d42fa?OpenDocument>

CREG. (28 de agosto de 2017). *RESOLUCIÓN No. 121 DE 2017*. Obtenido de Publicación Diario Oficial:

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/b5341fbcfab96db80525819b006d42fa/\\$FILE/Creg121-2017.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/b5341fbcfab96db80525819b006d42fa/$FILE/Creg121-2017.pdf)

CREG. (14 de noviembre de 2017). *RESOLUCIÓN No. 167 DE 2017*. Obtenido de Diario Oficial.

CREG. (27 de diciembre de 2017). *RESOLUCIÓN No. 201 DE 2017*. Obtenido de Publicación Diario Oficial:

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/f3e1767ba2c80cf20525821000801d37?OpenDocument>

CREG. (01 de marzo de 2018). *Publicación Diario Oficial*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía:

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191?OpenDocument>

CREG. (2018). *Publicación Diario Oficial*. Obtenido de

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191?OpenDocument>

CREG. (26 de febrero de 2018). *RESOLUCIÓN No. 030 DE 2018*. Obtenido de Publicación Diario Oficial:

- <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191?OpenDocument>
- Daim, T. U., Amer, M., & Brenden, R. (2011). *Technology Roadmapping for windenergy Case of thePacific Northwest*.
- DOE. (s.f.). *Energía renovable: políticas y programas de generación distribuida*. Obtenido de EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES:  
<https://www.energy.gov/eere/slsc/renewable-energy-distributed-generation-policies-and-programs>
- El impacto técnico y económico de un escenario de energía 100 % renovable potencial. (s.f.).
- elblox. (s.f.). *Game.changing the way businesses and households get carbon free energy*. Obtenido de elblox: <https://www.elblox.com/>
- endesa. (6 de febrero de 2018). *Endesa y Gas Natural Fenosa realizan por primera vez en España una transacción de energía con la tecnología blockchain*. Obtenido de endesa prensa: <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/digitalizacion/endesa-y-gas-natural-fenosa-realizan-primera-transaccion-energia-con-blockchain-en-espana>
- endesa. (s.f.). *Smart Cities*. Obtenido de Endesa Fundación:  
<https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-city>
- ENERGÍAS RENOVABLES. (7 de febrero de 2019). *Acciona apuesta por el almacenamiento y la trazabilidad*. Obtenido de ENERGÍAS RENOVABLES, El periodismo de las energías limpias: <https://www.energias-renovables.com/almacenamiento/accion-a-apuesta-por-el-almacenamiento-y-la-20190208>
- Floortje Alkemade, E. N. (2015). *How is value created and captured in Smart grids A review of the literatura and an analysis of pilot projects*. *ScienceDirect*.
- Gartner. (8 de octubre de 2019). *El ciclo Hype de Gartner 2019 muestra que la mayoría de las tecnologías Blockchain aún están a cinco o 10 años de distancia del impacto transformador*. Obtenido de Sala de prensa:  
<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-10-08-gartner-2019-hype-cycle-shows-most-blockchain-technologies-are-still-five-to-10-years-away-from-transformational-impact>
- Hyperledger. (s.f.). *Hyperledger*. Obtenido de Hyperledger: <https://www.hyperledger.org/>

- Hyperledger. (s.f.). *Hyperledger Composer*. Obtenido de Hyperledger:  
<https://hyperledger.github.io/composer/latest/>
- Hyperledger. (s.f.). *Hyperledger Composer*. Obtenido de  
<https://hyperledger.github.io/composer/latest/>
- Iberdrola. (14 de enero de 2019). *Iberdrola acredita con blockchain que la energía suministrada y consumida es 100% renovable*. Obtenido de IBERDROLA Sala de Comunicaciones: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-acredita-BlockChain-energia-suministrada-consumida-100-renovable>
- Li, Z., Bahramirad, S., Yan, M., & Shahidehpour, M. (2019). Blockchain for decentralized transactive energy management system in networked microgrids. *ELSEVIER The Electricity Journal vol.32. no.4, 58-72*.
- LO3 ENERGY. (12 de abril de 2016). *The USA's first consumer energy transaction begins 'power to the people' revolution in New York*. Obtenido de LO3 ENERGY:  
<https://lo3energy.com/usas-first-consumer-energy-transaction-begins-power-people-revolution-new-york/>
- Marchetti M., P. (15 de septiembre de 2019). *"Solar Token": El proyecto chileno basado en Blockchain que permitirá comercializar energías renovables en todo el mundo*. Obtenido de emol Economía:  
<https://www.emol.com/noticias/Economia/2019/09/15/961367/Solas-Token-criptomoneda-energias-renovables.html>
- Marzolf, N. C. (2014). EMPRENDIMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN COLOMBIA. *ISAGEN*, 9.
- Mateu, C. (Julio de Julio de 12). *¿Qué es la Generación Distribuida?* Obtenido de SUELOSOLAR: <https://suelosolar.com/noticias/generacion-distribuida/espana/23-7-2012/que-es-generacion-distribuida#:~:text=El%20Consejo%20Internacional%20sobre%20Grandes,ni%20despachados%20de%20forma%20centralizada>.
- Minenergía. (13 de mayo de 2014). *DOCUMENTOS*. Obtenido de  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/22602-11506.pdf>
- Minenergía. (2 de Diciembre de 2014). *Documentos*. Obtenido de  
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>

- Minenergía. (3 de diciembre de 2014). *Gertor Normativo*. Obtenido de Función Pública:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=60174>
- Minenergía. (11 de agosto de 2015). *DECRETO NUMERO 1623 DE 2015*. Obtenido de Documentos: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36632-Decreto-1623-11Ago2015.pdf>
- Minenergía. (4 de noviembre de 2015). *Gertor Normativo*. Obtenido de Función Pública:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>
- Minenergía. (16 de septiembre de 2017). *Decreto 1543 de 2017*. Obtenido de Gestor Normativo:  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=83537>
- Minenergía. (1 de marzo de 2017). *DECRETO NÚMERO 348 DE 2017*. Obtenido de Normativa:  
<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20348%20DEL%2001%20DE%20MARZO%20DE%202017.pdf>
- Minenergía. (23 de marzo de 2018). *DECERTO 0570 DE 2018*. Obtenido de Normativa:  
<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%200570%20DEL%20023%20DE%20MARZO%20DE%202018.pdf>
- Minenergía. (s.f.). *Energías Renovables No Convencionales*. Obtenido de El futuro es de todos: <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>
- Minenergía. (s.f.). *Energías Renovables No Convencionales*. Obtenido de El futuro es de todos: <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (25 de agosto de 2016). *RESOLUCIÓN 1283 DE 2016*. Obtenido de Diario Oficial:  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col161380.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (26 de agosto de 2016). *RESOLUCIÓN 1312 DE 2016*. Obtenido de Diario Oficial :  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col161382.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente. (29 de enero de 2018). *Resolución 2000 de 2017*. Obtenido de BLOC DEPARTAMENTO DE DERECHO DEL MEDIO AMBIENTE:  
<https://medioambiente.uexternado.edu.co/4307-2/>
- Mintrabajo. (s.f.). *Mi Calculadora*. Obtenido de El empleo es de todos:  
<http://www.mintrabajo.gov.co/atencion-al-ciudadano/tramites-y-servicios/mi-calculadora>
- NRGcoin. (s.f.). *¿Qué es NRGcoin?* Obtenido de NRGcoin: <https://nrgcoin.org/about>

- Parra L., E. E. (15 de Agosto de 2015). *Introducción Redes Inteligentes Smart Grids*.  
Obtenido de DOCPLAYER: <https://docplayer.es/14695655-Introduccion-redes-inteligentes-smart-grids.html>
- Pedersen, K. B., Svarre, K. R., Slepnirov, D., & Lindgren, P. (2013). Business Model a step into a liquid business model. 3-4.
- Planas Marti, M. A., & Cárdenas, J. C. (26 de marzo de 2016). *La matriz energética de Colombia se renueva*. Obtenido de energía para el futuro: <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- Polo Moya, D. (4 de julio de 2019). *Modelo Canvas ¡Diseña tu negocio! + Pasos y Ejemplos*. Obtenido de EMORENDER FACIL: <https://www.emprender-facil.com/modelo-canvas/>
- PONTON. (s.f.). *B2B integration is in the genes of PONTON. So blockchain, which is nothing else than another data integration technology, is a natural tool if it fits the industry process to be implemented*. Obtenido de PONTON WE ARE THE 2 IN B2B: <https://www.ponton.de/b2b-integration/blockchain/>
- Power Ledger. (s.f.). *Energía reinventada*. Obtenido de Power Ledger: <https://www.powerledger.io>.
- Prado , P. A. (2014). *EL CONTRATO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN, Y EN ESPECIAL LA MODALIDAD EPC Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS*. Obtenido de SCIELO, REVISTA CHILENA DE DERECHO: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34372014000200017](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34372014000200017)
- Reichmuth, T., Schar, F., & Roth, J. (2018). BlockChain Disrupting the Renewable Energy Landscape. *SUSI PARTNERS SUSTAINABLE INVESTMENTS*.
- Renovables Verdes. (s.f.). *¿Qué países europeos son los líderes en producción renovable?* Obtenido de Renovables Verdes: <https://www.renovablesverdes.com/que-paises-europeos-son-los-lideres-en-produccion-renovable/>
- Richter, M. (2012). Mario Richter. Utilities business models for renewable energy review. *ScienceDirect*, 4.
- SAP. (s.f.). *Definición de internet de las cosas*. Obtenido de Tendencias: <https://www.sap.com/latinamerica/trends/internet-of-things.html>
- Sociedad Colombiana de Ingenieros. (30 de octubre de 2019). *EDICIÓN 946, REVISTA ANALES DE INGENIERÍA, ENERGÍA RENOVABLE*. Obtenido de SOCIEDAD

- COLOMBIANA DE INGENIEROS: <https://sci.org.co/edicion-946-energia-renovable/>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2015 – 2029*. Obtenido de [https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Planes-expansion/Plan-Expansion-2015-2029/Plan\\_GT\\_2015-2029\\_VF\\_22-12-2015.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Planes-expansion/Plan-Expansion-2015-2029/Plan_GT_2015-2029_VF_22-12-2015.pdf)
- UPME. (5 de junio de 2015). *Normatividad UPME*. Obtenido de UPME MINMINAS: [https://www1.upme.gov.co/Normatividad/281\\_2015.pdf#search=resoluci%C3%B3n%20281%20de%202015](https://www1.upme.gov.co/Normatividad/281_2015.pdf#search=resoluci%C3%B3n%20281%20de%202015)
- UPME. (2 de octubre de 2017). *RESOLUCIÓN NÚMERO 585 DE 2017*. Obtenido de Normatividad: [http://www1.upme.gov.co/Normatividad/585\\_2017.pdf](http://www1.upme.gov.co/Normatividad/585_2017.pdf)
- Vidal Hernández , J. (2 de julio de 2019). *LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA DE ENERGÍA EN COLOMBIA*. Obtenido de ESTUDIO LEGAL HERNÁNDEZ: <https://www.estudiolegalhernandez.com/energia/la-generacion-distribuida-de-energia-en-colombia/>
- XM. (2017). *Resumen normatividad 2017*. Obtenido de informe de Operación de SIN y Administración del Mercado 2017: <http://informesanuales.xm.com.co/2017/SitePages/operacion/12-1-Resumen-normatividad.aspx>