

**RUTAS DE ACCIÓN PARA EL USO DE BLOCKCHAIN EN LAS ACTIVIDADES DE
DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
COLOMBIA**

**VICTORIA ANDREA BONILLA MARTÍNEZ
SERGIO ANDRÉS PÉREZ RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN (MBA)
BOGOTÁ
2020**

**RUTAS DE ACCIÓN PARA EL USO DE BLOCKCHAIN EN LAS ACTIVIDADES DE
DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
COLOMBIA**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en
Administración (MBA)**

**VICTORIA ANDREA BONILLA MARTÍNEZ¹
SERGIO ANDRÉS PÉREZ RAMÍREZ²**

**Asesor temático: Ricardo López Vega, MBA
Asesora metodológica: Beatriz Amparo Uribe Ochoa, M. Sc.**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN (MBA)
BOGOTÁ
2020**

¹ vicky_bonilla@outlook.com

² sergioperezr@gmail.com

Resumen

El sector eléctrico mundial se enfrenta en la actualidad a una transición energética marcada en especial por la tendencia predominante de la digitalización. Esto se debe a los impactos positivos que ha traído el uso cada vez más frecuente de nuevas tecnologías en muchas industrias. Una de estas tecnologías es *blockchain*, en español cadenas de bloques, un libro contable descentralizado y distribuido. Algunos casos de éxito con respecto al uso de *blockchain* en redes eléctricas (en lo primordial en Estados Unidos) han recibido mucho interés durante los últimos años. Sin embargo, para el caso colombiano, esto implica desafíos particulares dada la estructura bastante tradicional de todo el sistema de red eléctrica. El presente documento presenta una propuesta con rutas de acción para el uso de una red transaccional de *blockchain* en el mercado de electricidad en Colombia, incluidos los beneficios económicos y los desafíos estratégicos relacionados con su implementación.

Palabras clave: *blockchain*, en español cadenas de bloques, energía transaccional, red de distribución, descentralización.

Abstract

The global electricity sector is currently facing an energetic transition especially marked by the prevailing trend of digitalization. This is due to the positive impacts that has brought the increasingly frequent use of new technologies in many industries. One of these technologies is blockchain, a decentralized, distributed ledger. A few cases of success regarding the use of blockchain in electric grids (mostly in the US) have received a lot of interest during the last years. However, for the Colombian case, this implies particular challenges given the rather traditional structure of the whole electrical network. The present document presents a road map for the use of a blockchain

transactional network in the of electricity market in Colombia, including the economic benefits and strategical challenges related to its implementation.

Key words: *blockchain, transactive energy, distribution grid, decentralization.*

Contenido

1. Introducción	8
2. Antecedentes del sistema eléctrico colombiano	11
3. Planteamiento del problema	17
4. Objetivos	20
4. Marco teórico conceptual	21
4.1 <i>Blockchain</i> y <i>big data</i>	21
4.2 <i>Blockchain</i> y el sector de energía eléctrica	23
4.3 Algunos conceptos en gerencia organizacional y mercado	24
5. Metodología	26
6. Propuesta	29
6.1 Resultados de las entrevistas a expertos	29
6.2 Rutas de acción	39
6.3 Aspectos normativos y regulatorios que deben revisarse	44
6.4 Cambio en el modelo de negocio	46
6.5 Impacto en los costos, la rentabilidad y el modelo de negocio en una empresa tipo de comercialización y distribución de energía eléctrica en Colombia	49
7. Conclusiones	58
8. Glosario	60
Referencias	62

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de tecnologías que se pueden implementar en el corto plazo para la transformación del sector eléctrico en Colombia	31
Tabla 2. Estructura de costos por actividades de una empresa de distribución y comercialización de energía eléctrica	50
Tabla 3. Cambio en la estructura de costos de la empresa tipo de distribución y comercialización de energía eléctrica luego de introducir las propuestas	54
Tabla 4. Clasificación del impacto económico del blockchain en varios eslabones del sistema energético	56

Lista de figuras

Figura 1. Marco institucional del sector eléctrico colombiano	13
Figura 2. Estructura de mercado del sistema eléctrico colombiano	14
Figura 3. Ruta de acción N° 1	39
Figura 4. Ruta de acción N° 2	40
Figura 5. Mercado liberalizado	42
Figura 6. Lienzo del modelo de negocio actual del negocio de comercialización y distribución de energía eléctrica	47
Figura 7. Lienzo del modelo de negocio modificado con rutas de acción del negocio de comercialización y distribución de energía eléctrica	48
Figura 8. Estructura de costos del negocio de distribución de energía eléctrica	52
Figura 9. Estructura de costos del negocio de comercialización de energía eléctrica	52

1. Introducción

En Colombia, el 72,5% de la energía eléctrica proviene de fuentes hídricas (67% de grandes hidroeléctricas y 5,5% de plantas menores), el 25% de combustibles y el 2,5% de fuentes no convencionales como el sol, el viento y la biomasa (Ministerio de Minas y Energía, 2018). Esto indica que la mayoría de energía generada y distribuida a los hogares y a la industria proviene de fuentes que se soportan en el uso de recursos naturales.

Luego del racionamiento de energía del año 1992, la política energética en Colombia (desarrollada a través de la ley 142 de 1994; Congreso de Colombia, 1994a) se enfocó a garantizar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica, lo que, en términos generales, ha supuesto satisfacer la demanda a través de todos los medios posibles a pesar de los impactos ambientales y sociales que ello ha significado. Algunos de estos impactos han sido el desvío o el represamiento de ríos, la movilización de grandes comunidades y la invasión de ecosistemas con plantas de generación, represas y redes de energía, entre otros.

En el año 2015, las Naciones Unidas, en el marco de su convención para el cambio climático (ONU, 1992), suscribieron el Acuerdo de París, que estableció medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la mitigación, la adaptación y la resiliencia de los ecosistemas a efectos del calentamiento global (ONU, 2015). Este acuerdo ha significado un llamado a la acción por parte de los países miembros, entre ellos Colombia, con lo que el país se ha visto obligado a construir una hoja de ruta que lo conduzca hacia una transformación energética, que debe incluir los incentivos necesarios para facilitar la incorporación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial y hacer frente a los desafíos del cambio climático (Presidencia de la República, 2019).

Por lo anterior, el uso de nuevas tecnologías se percibe como una oportunidad para implementar políticas que premien la competitividad y la eficiencia en el uso de los recursos, así como la sostenibilidad y la confiabilidad del sistema. En este sentido, es necesario repensar los inductores de la inversión en los que se considere, entre otros, la redistribución de picos de demanda, la orientación del rol del cliente (de pasivo a activo) y, en general, los fenómenos que afectan la oferta y la demanda a través del uso de nuevas tecnologías.

Por lo tanto, se requiere una nueva estrategia energética en Colombia que no solo priorice el crecimiento de la infraestructura, sino en la que prevalezca el uso eficiente de los recursos. Desarrollos tecnológicos como el *blockchain*, típicamente usados en los mercados financieros, pero con múltiples aplicaciones en los de redes, pueden contribuir a mejorar la eficiencia de la red eléctrica colombiana. Es posible lograr una mejor distribución de picos y valles en el consumo mediante una estrategia que permita activar los actores que hasta el momento se han considerado pasivos, como los clientes, y, asimismo, promover posibilidades para que nuevas opciones de energías limpias tengan una participación más protagónica en el sistema.

Además, el uso de nuevas tecnologías, como *blockchain*, puede aprovecharse en la identificación y la implementación de acciones tendientes a lograr mayores eficiencias en los modelos operativos como, por ejemplo, la facturación y la gestión de la demanda.

En el presente documento se buscó constituir una propuesta de ruta de acción para el uso de la tecnología *blockchain* en las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica en el mercado colombiano, que promoviera la inserción del sector en una transición energética enfocada hacia el aprovechamiento de las nuevas tecnologías y la sostenibilidad. Para tal objetivo, fue necesario, en la fase inicial, diagnosticar el sistema eléctrico, tanto mundial como colombiano, y examinar los

ejemplos del aprovechamiento de *blockchain* en el sector. Una vez establecidos los momentos importantes de la industria, junto con los ejemplos de implementación de la tecnología, se procedió a aplicar un cuestionario a varios expertos del sector eléctrico colombiano con el fin de conocer sus apreciaciones acerca de la implementación de nuevas tecnologías en el sector y contrastar sus opiniones con los hechos y los datos encontrados en la revisión documental. Lo anterior permitió establecer las tendencias actuales y analizar las debilidades y las oportunidades de la implementación de la tecnología *blockchain* en el sector energético colombiano. Con base en esta información se planteó la propuesta de ruta de acción, acompañada de su respectivo análisis económico.

La propuesta formulada deja ver que, a pesar de que se observaron ganancias operativas como resultado de una posible implementación de *blockchain*, la inclusión de esta tecnología supone un profundo cambio técnico e ideológico en el esquema tradicional del sector eléctrico colombiano. El texto presenta los antecedentes mencionados, junto con las entrevistas realizadas, la propuesta, el análisis económico, el marco legal y las conclusiones.

2. Antecedentes del sistema eléctrico colombiano

El sistema de iluminación eléctrica llegó a Colombia en el año 1890 y comenzó en la ciudad de Bogotá. El sector era controlado y desarrollado por empresas privadas o mixtas que obtenían concesiones para prestar el servicio en su jurisdicción. Desde esta época hasta el año 1936, el crecimiento del sector fue muy lento y estuvo concentrado en ciudades como Bogotá, Medellín y Cali.

Entre los años 1936 y 1960 ocurrieron dos reformas constitucionales, que establecieron las bases de la regulación energética en el país. La reforma de 1936 definió la intervención estatal en diversas actividades de la economía, con inclusión del sector eléctrico. Con posterioridad, la reforma de 1954 permitió la creación de establecimientos públicos con personería jurídica, con lo que las empresas de energía obtuvieron autonomía presupuestal y financiera.

El sistema poseía, sin embargo, una gran desventaja. Estaba conformado por un conjunto de subsistemas aislados, constituidos alrededor de las principales ciudades del país, lo que impedía el desarrollo de grandes proyectos hidroeléctricos. Además, la transmisión y la distribución del servicio eran ineficientes y el costo resultaba bastante elevado en algunas zonas. Como consecuencia, en el año 1955 se propuso la idea de un Sistema Interconectado Nacional (SIN), que solo tomó forma real 12 años más tarde.

En 1967 nació Interconexión Eléctrica S. A. (ISA), empresa estatal encargada de realizar la interconexión y de construir los proyectos necesarios para abastecer la demanda nacional. Estos proyectos incluían las plantas de generación y las redes de transmisión de energía. Entre los años 1970 y 1990 se logró una expansión significativa de la red de energía en el país, que fue financiada por el Banco Mundial (BM) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Los considerables créditos

otorgados al sector eléctrico significaron alrededor del 40% de la deuda externa del país, que fue asumida por el Estado, lo que lo convirtió en el principal accionista de las empresas y, por ende, el principal regulador (Vélez Álvarez, 2011).

En 1992 ocurrió el más fuerte racionamiento de energía que ha existido en el país, originado por el fenómeno de El Niño. El racionamiento causó un desequilibrio en la oferta y la demanda de la época, denotó la falta de planeación y de prevención y fue el catalizador de un proceso de reforma llamado “Estrategia de Reestructuración del Sistema Eléctrico”, que incluyó las leyes 142 de 1994, de servicios públicos, y 143 de 1994, denominada ley eléctrica (Corzo Ascanio, 2013).

Por su parte, el fenómeno de El Niño es un

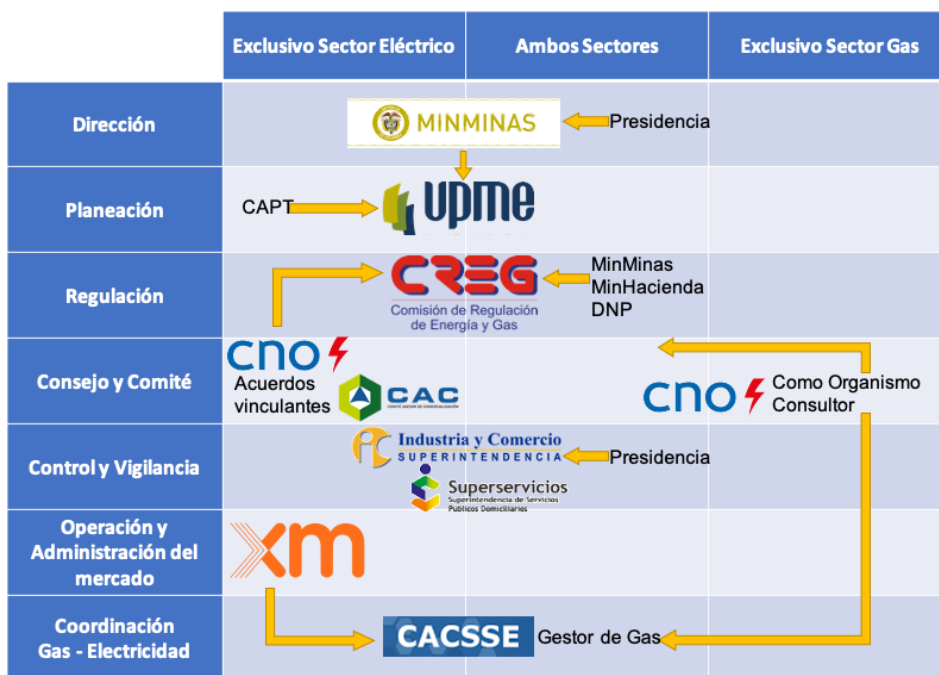
fenómeno natural de variabilidad climática que se desarrolla en el Océano Pacífico tropical. Su efecto en el clima del país está asociado a: una disminución de las lluvias en relación con lo normal (promedio histórico mensual) y aumento de las temperaturas del aire, especialmente en las regiones Caribe y Andina (IDEAM, 2020).

La estructura actual del sector eléctrico del país es el resultado de dichas leyes, promulgadas en 1994. Sus objetivos básicos fueron: modificar el papel del Estado en la dirección, la regulación, el control y la vigilancia, mejorar la eficiencia energética, introducir un modelo de libre competencia y vincular capital privado al sector de prestación del servicio de energía.

El marco institucional actual del sector eléctrico cuenta con un esquema de roles bien definidos y reglas claras, que les da a los agentes participantes en el mercado un marco en el que pueden desarrollar su actividad empresarial. Se presenta en la figura 1 la estructura institucional del sector, que está encabezada por el Ministerio de Minas y Energía (MME), que dirige y define las políticas del sector; además tiene

entidades adscritas que cumplen distintas funciones, entre ellas: 1) la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), que desarrolla las funciones de planeación para el desarrollo y el aprovechamiento de los recursos energéticos y mineros, 2) la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que está encargada de la regulación con el fin de buscar promover la competencia y la eficiencia en la prestación de los servicios, 3) la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), que ejerce el control, la inspección y la vigilancia de las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios, 4) la compañía Expertos en Mercado (XM), que se encarga de la operación del sistema y la administración del mercado de energía mayorista mediante las figuras del Centro Nacional de Despacho (CND) y el Administrador de Intercambios Comerciales (ASIC) (Quintero Montaña, 2013).

Figura 1. Marco institucional del sector eléctrico colombiano



Fuente: XM S. A. (2019, p. 5)

En cuanto a la cadena productiva de prestación del servicio público de energía eléctrica, está compuesta por diferentes agentes de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica. Los generadores son los agentes de producción de la energía eléctrica y están conectados al SIN mediante plantas mayores y menores. Los agentes de transmisión se encargan del transporte de la energía en el Sistema de Transmisión Nacional (STN), que está conformado por redes con tensiones iguales o superiores a 220 kV. La distribución en redes con tensiones menores a 220 kV se divide en el Sistema de Transmisión Regional (STR) y Sistema de Distribución Local (SDL). Por último, la comercialización se encarga de la compra y la venta de energía eléctrica a los usuarios finales, que pueden ser regulados y no regulados (Quintero Montaña, 2013). La estructura de la cadena de valor del mercado eléctrico colombiano se presenta en la figura 2.

Figura 2. Estructura de mercado del sistema eléctrico colombiano



Fuente: Proexport Colombia (2020, p. 7)

Como resultado de todo lo anterior, luego del racionamiento de energía del año 1992, y en cumplimiento de la política energética definida, el país se enfocó a garantizar la confiabilidad del suministro de energía, lo que ha significado que el 72,5% de la energía eléctrica proviene de fuentes hídricas (67% de grandes hidroeléctricas y 5,5% de plantas menores), el 25% de combustibles y el 2,5% de fuentes no convencionales como el sol, el viento y la biomasa (Ministerio de Minas y Energía, 2018). Esto indica que la mayoría de energía generada y distribuida a los hogares y a la industria proviene de fuentes que se soportan en el uso de recursos naturales.

Por su parte, conforme al marco legal definido por las leyes 142 y 143 de 1994, a lo largo de la tradición la demanda (representada por los usuarios del servicio) de energía eléctrica en Colombia ha desempeñado un rol mayoritariamente pasivo en el mercado, porque se les ha otorgado a las empresas comercializadoras y distribuidoras de energía la función de decidir sobre los esquemas de prestación del servicio y los precios resultantes correspondientes, aun cuando hay un esquema tarifario regulado (Congreso de Colombia, 1994a; 1994b).

En el año 2015, las Naciones Unidas, en el marco de su convención para el cambio climático (ONU, 1992), suscribieron el Acuerdo de París, que estableció medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la mitigación, la adaptación y la resiliencia de los ecosistemas a efectos del calentamiento global (ONU, 2015). Este acuerdo ha significado un llamado a la acción por parte de los países miembros, entre ellos Colombia, con lo que el país se ha visto obligado a construir una hoja de ruta que lo conduzca hacia una transformación energética, que debe incluir los incentivos necesarios para facilitar la incorporación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial y hacer frente a los desafíos del cambio climático (Presidencia de la República, 2019).

Es necesario observar cómo la implementación de este acuerdo en Colombia supuso una transformación del sistema energético actual.

3. Planteamiento del problema

El sector eléctrico global se enfrenta en la actualidad a una transición marcada por los tres pilares que sustentan las decisiones de la política energética en la Unión Europea. Las conocidas como las 3D: Descarbonización, Digitalización y Descentralización. Tendencias promovidas por la evolución tecnológica, por los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones de gases contaminantes y por un rol cada vez más activo del consumidor (Solé, 2019, p. 1).

En el caso colombiano, este reto implica grandes desafíos de adaptación para el SIN, pero, a la vez, nuevas oportunidades de negocio para cada uno de los agentes que hacen parte de la cadena productiva.

Por lo anterior, el uso de nuevas tecnologías se percibe como una oportunidad para implementar políticas que premien la competitividad y la eficiencia en el uso de los recursos, así como la sostenibilidad y la confiabilidad del sistema. De esta manera, es necesario repensar los inductores de la inversión en los que se considere, entre otros, la redistribución de picos de demanda, la orientación del rol del cliente (eficiencia energética y respuesta de la demanda) y, en general, los fenómenos que afectan la oferta y la demanda, a través del uso de nuevas tecnologías.

En el año 2014 entró en vigor la ley 1715 (Congreso de Colombia, 2014), que tuvo por objeto

promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional...Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda (Congreso de Colombia, 2014, artículo 1).

En este sentido, y conforme a la mencionada ley, la demanda comienza a vislumbrar posibilidades reales de tener un rol más activo en el mercado.

Las disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda están reglamentadas en el decreto 2492 de 2014 (Presidencia de la República, 2014), que indica que

corresponde al Estado desarrollar programas y políticas para asegurar el impulso y uso de mecanismos de fomento de la gestión eficiente de la energía, así como para la penetración de las fuentes no convencionales de energía (FNCE), principalmente aquellas de carácter renovable, en la canasta energética colombiana” (Presidencia de la República, 2014, considerando 5).

De acuerdo con lo anterior, el Gobierno está facultado para otorgar incentivos (económicos) a la demanda que promuevan un uso racional, consciente y eficiente de la energía. Es así como se establecieron las políticas y las directrices relacionadas con la metodología de remuneración a través de cargos por uso de los STR y SDL de energía eléctrica en el SIN, de tal forma que la CREG pueda establecer cargos por uso únicos por nivel de tensión y hora del día.

A raíz de los requerimientos planteados por el Acuerdo de París de las Naciones Unidas (ONU, 2015), junto con la creciente necesidad de uso de fuentes de energía renovables, se requiere una nueva estrategia energética en Colombia que no solo priorice el crecimiento de la infraestructura, sino que también favorezca el uso eficiente de los recursos. La cada vez mayor disponibilidad de ‘datos’ en general agrega un componente adicional al problema; la competitividad actual de cualquier empresa u organismo gubernamental está marcada por la manera en que dichos datos se utilicen para maximizar la efectividad de las mencionadas organizaciones. En este sentido, la necesidad de esta nueva estrategia energética no solo es el resultado de una causa ecológica, sino también de una revolución tecnológica: la

cuarta revolución industrial. El sector energético colombiano debe promover cambios profundos si desea, además de procurar la confiabilidad del sistema, aumentar su competitividad en el entorno mundial.

Los desarrollos tecnológicos como *blockchain*, que son muy frecuentes en los mercados financieros, pero con múltiples aplicaciones en los mercados de redes, pueden contribuir a mejorar la eficiencia de la red eléctrica colombiana, a promover la participación de la demanda y a facilitar la liberalización del mercado y la implementación de la medición avanzada.

4. Objetivos

Objetivo general:

- Estructurar una ruta de acción para el uso de la tecnología *blockchain* en las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica en el mercado colombiano, que promueva la inserción del sector en una transición energética enfocada hacia el aprovechamiento de las nuevas tecnologías y de la sostenibilidad.

Objetivos específicos:

- Definir los aspectos técnicos que en forma general deberá observar el sector energético para posibilitar el uso de la tecnología *blockchain* en las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica en el mercado colombiano.
- Identificar los principales aspectos regulatorios y normativos necesarios para viabilizar el uso de *blockchain* en las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia.
- Al tener en cuenta los anteriores aspectos técnicos y regulatorios, proponer rutas de acción como alternativas de gestión de mercado a través de *blockchain*, que dinamicen la relación entre los agentes del mercado eléctrico y los usuarios y que promuevan la trazabilidad, la transparencia, la agilidad (menor intermediación y de igual a igual) y la eficiencia.
- Analizar, desde el punto de vista económico, la ruta de acción planteada y determinar el impacto de *blockchain* en los costos totales de operación de los negocios de comercialización y distribución de energía eléctrica.

4. Marco teórico conceptual

4.1 *Blockchain* y *big data*

Blockchain es una innovación tecnológica que “permite almacenar información encriptada de forma segura, permitiendo realizar transacciones de valor a través de una red autónomamente y sin la necesidad de un intermediario central para verificar y aprobar este intercambio” (Varela Romero, 2019, p. 1). En otras palabras, *blockchain* funciona como un libro de contabilidad digital compartido que registra las transacciones (energéticas, divisas, información, etc.) en una red de igual a igual (red entre pares) pública o privada. Se distribuye y se sincroniza entre todos los nodos miembros de la red y se registra de manera permanente, en una cadena secuencial de bloques criptográficos vinculados con mecanismos de control con el símbolo # (*hash* o cifrados), el historial de intercambios de activos que tienen lugar entre los pares en la red.

Todos los bloques de transacciones confirmados y validados están vinculados y encadenados desde el comienzo de la cadena hasta el bloque más actual y de ahí el nombre *blockchain*. Por lo tanto, la cadena de bloques actúa como una fuente única de verdad y los miembros de una red de cadena de bloques solo pueden ver aquellas transacciones que son relevantes para ellos.

Blockchain se basa en tres pilares fundamentales: consenso, cifrados criptográficos y firmas digitales. El consenso asegura que los libros de contabilidad compartidos son copias exactas y reduce el riesgo de transacciones fraudulentas, puesto que una ‘alteración’ del *blockchain* tendría que ocurrir en muchos lugares exactamente al mismo tiempo. Los cifrados criptográficos, como el algoritmo computacional SHA256, garantizan que cada transacción que ingresa al *blockchain* sea única, así que es sencillo saber cuándo hay una entrada comprometida en forma potencial. Las firmas

digitales aseguran que las transacciones se originen de remitentes participantes de la red (firmados con claves privadas) y no de impostores (Brakeville y Barghav, 2019).

Blockchain supone una gran innovación para las empresas actuales y trae múltiples beneficios. Al no requerir un intermediario centralizado que identifique y certifique la información (tales como empresas distribuidoras de energía, operadores del mercado o entidades bancarias), las transacciones son transparentes. Además, debido a su naturaleza distribuida, *blockchain* reduce costos y tiempos de transacciones, a la vez que añade un altísimo nivel de seguridad. Además, *blockchain* permite la implementación y la ejecución de los llamados 'contratos inteligentes', que posibilitan transacciones entre partes en forma automática una vez que las partes interesadas han acordado los términos (Varela Romero, 2019).

Ahora bien, junto con *blockchain*, hay un término que se usa con muy alta frecuencia hoy día cada vez que se habla de las tecnologías de la cuarta revolución industrial: *big data*, en español macrodatos. A pesar de que no es un concepto nuevo, puesto que tuvo sus inicios desde los años treinta, empezó a tener una gran popularidad en la última década debido a la oportunidad que ven en él las nuevas empresas (Vodafone, 2018).

Big data, como su nombre indica, es la compilación de conjuntos de datos masivos. Dado que el volumen de datos es extremadamente grande y complejo, no se pueden procesar a través de los sistemas tradicionales de procesamiento de datos (Arora, 2018). Dichos conjuntos de datos contienen mayor variedad de información, se presentan en volúmenes crecientes y con una velocidad superior, lo que se conoce como las tres ves (volumen, velocidad y variedad) (Gartner, 2001). Es pertinente, sin embargo, adicionar otras tres ves al concepto, que son: veracidad, valor y variabilidad (Mitra, 2019).

Es erróneo asociar el término *big data* solo a una 'gran cantidad de datos'. En realidad, no se trata de los datos sino del valor que se pueda extraer de ellos. Dicho término enmarca todo el proceso de recolección (de fuentes dispares), almacenamiento (por lo general basado en la nube) y análisis de conjuntos de datos enormes (Perry, 2017).

La combinación entre *blockchain* y *big data* supone una dupla excepcional para los intereses de las organizaciones (públicas y privadas) de hoy día. En realidad, *blockchain* soluciona algunos de los 'defectos' que implica *big data*. La razón recae en que *blockchain* puede admitir cualquier tipo de información digitalizada (flexibilidad) y su arquitectura permite rastrear datos hasta su punto de origen (transparencia); además, los datos no son propiedad de una sola entidad, por lo que no pueden ser manipulados ni robados (descentralización y seguridad). El binomio entre *big data* y *blockchain* desempeña un papel facilitador y simplificador para las empresas.

4.2 Blockchain y el sector de energía eléctrica

Desde inicios de esta década, en el mundo se ha iniciado un ciclo de transición energética que involucra la descarbonización de las economías y su electrificación, según un marco de una mayor urbanización de los países y un crecimiento de la demanda energética de las personas, en particular, y de las ciudades, en general.

En ese contexto, y en línea con la visión del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, se observa que, para una operación eficiente de una economía altamente electrificada y con niveles superiores de consumo de energía eléctrica, se requieren avances significativos en materia de digitalización y descentralización del sector. La transformación del sector energético debe tener en cuenta la irrupción de la Cuarta

Revolución Industrial y el aprovechamiento de las posibilidades que ofrecen la inteligencia artificial, el internet de las cosas y las nuevas tecnologías.

La clave para esta transformación, así como para la creación de nuevos servicios de valor añadido para el cliente, se encuentra en la enorme cantidad de datos que la digitalización pone a disposición y las diferentes alternativas tecnológicas para su tratamiento, como *big data* y *blockchain*, que, a través de la encriptación, robustecen las transacciones, abren la puerta a nuevos modelos de negocio y sirven tanto para los sistemas de facturación como para los de control y transparencia en formación de precios, en las subastas y en los contratos.

4.3 Algunos conceptos en gerencia organizacional y mercado

Eficiencia operacional

De acuerdo con Ayala (2014, p. 1),

Las prácticas establecidas en una organización requieren mecanismos efectivos para gestionar el ciclo de mejora continua y garantizar la evolución hacia niveles más efectivos de operación. La evaluación e identificación de oportunidades de mejora y la implementación de las acciones definidas son críticas en los resultados para la organización.

Arquitectura empresarial

Para el mismo autor (Ayala, 2014, p. 2),

La arquitectura empresarial se ha establecido como una disciplina que tiene como principal objetivo garantizar la correcta alineación de la tecnología y los procesos de negocio en una organización, con el propósito de alcanzar el cumplimiento de sus objetivos estratégicos. Una buena implementación de arquitectura empresarial es el apoyo primordial en la toma de decisiones

estratégicas y efectivas que mejoran la calidad y eficiencia organizacional, además ayudan a responder de manera rápida y efectiva los cambios, retos, oportunidades y desafíos de la organización.

Transparencia de mercado

La transparencia de mercado establece que “los participantes del mercado cuentan con toda la información existente sobre este, la cual debe ser completa, clara y veraz” con el fin de tomar decisiones adecuadas de consumo o producción (según corresponda) (Sánchez Galán, 2019, p. 1).

La definición clara de los conceptos, en lo primordial los relacionados con la terminología de *blockchain* y con las nociones esenciales en gerencia organizacional, junto con los antecedentes (antes expuestos) del sector eléctrico colombiano, permitieron tener la comprensión y el juicio necesarios para construir unas propuestas apropiadas de las rutas de acción que supondrían la implementación de la tecnología *blockchain* en el sistema de distribución de energía eléctrica en el país.

5. Metodología

Determinación del estado del arte actual de la utilización de *blockchain* como herramienta para lograr eficiencia operacional en otros negocios y en otros países.

La investigación se llevó a cabo según el método descriptivo, de acuerdo con los siguientes pasos:

1. Consulta de antecedentes sobre el sector eléctrico en el mundo y sobre la tecnología *blockchain* en general. Para ello se hizo una revisión documental con el fin de analizar los momentos de la industria energética mundial y colombiana, el entorno en el que se han desarrollado y las tendencias innovadoras.
2. Entrevistas a expertos del sector energético colombiano y de *blockchain* con el fin de conocer sus apreciaciones acerca de la implementación de nuevas tecnologías aplicables al sector.

Para establecer las preguntas de la entrevista, en primer lugar se optó porque fueran de alternativa abierta porque proporcionan información de gran riqueza y son favorecidas, sobre todo en las fases iniciales de un estudio, como sucedió en este caso (Álvarez Esteban, 2003). Además, las preguntas de respuesta abierta se prefieren cuando son de carácter de opinión puesto que las respuestas generadas por lo general se asocian con expectativas, juicios, etc. En este sentido, una pregunta abierta evitaría que el entrevistado genere un juicio si desconoce sobre el tema. En segundo lugar, de acuerdo con la clasificación por contenido, se optó porque las preguntas realizadas fueran de intención o de opinión puesto que, dado que fue un estudio preliminar, lo que se buscaba era conocer la opinión particular de los expertos acerca de una situación específica (en este caso, la implementación de nuevas tecnologías en el sistema energético colombiano, etc.) y proporcionar un

retrato sobre las rutas de acción que ellos considerarían necesarias respecto a este tema (García Córdoba, 2004). El objetivo era contrastar las respuestas proporcionadas por los entrevistados (relacionadas con sus opiniones respecto al tema) con los hechos y los datos obtenidos a partir de la revisión bibliográfica efectuada en cuanto a los antecedentes y la presencia del *blockchain* en otros esquemas de mercado.

De esta manera, se plantearon las rutas de acción expuestas en el capítulo 6. El cuestionario también incluyó un par de preguntas de control al final para contrastar sus respuestas con otras en el cuestionario.

Dado el número reducido de la población entrevistada, no se buscaba realizar un análisis estadístico sobre las respuestas proporcionadas. El objetivo era un análisis cualitativo de los conceptos clave que aparecieran con más frecuencia entre los entrevistados y, de esta manera, contrastar dichas tendencias con lo encontrado en la revisión bibliográfica.

3. Contraste entre hechos y datos encontrados mediante la revisión documental y las opiniones y las intenciones expresadas por los expertos entrevistados. De este modo, se verificaron las tendencias de los datos con el fin de analizar las debilidades y las oportunidades de la implementación de la tecnología *blockchain* en el sector energético colombiano, mediante su comparación, a su vez, con modelos similares en el mundo.

4. Identificación del marco legal y regulatorio colombiano en el sector energético.

5. Propuesta de rutas de acción basada en el análisis antes descrito y en combinación con el marco legal y regulatorio.

6. Análisis económico de la propuesta y conclusiones.

6. Propuesta

6.1 Resultados de las entrevistas a expertos

Con el fin de conocer la visión general del sector frente a los beneficios y las oportunidades que la digitalización le puede ofrecer al sector, se sostuvieron entrevistas con siete expertos en transición energética, en el sector energético colombiano y en *blockchain* para conocer sus opiniones acerca de la implementación de nuevas tecnologías aplicables al sector energético en Colombia. Fueron los siguientes:

- Andrea Villa, director Market Analysis for Energy Transition, Enel Colombia.
- Kelly Martínez, experta en regulación, Enel Green Power.
- Katharina Grosso, asesora de la Oficina de Asuntos Regulatorios y Empresariales, Ministerio de Minas y Energía de Colombia
- Elkin Ramírez, consultor experto en asuntos regulatorios y de mercado, exasesor del Ministerio de Minas y Energía y exgerente de IPSE.
- Ana Marcela Parrado, responsable de innovación, Enel Colombia.
- Camilo Rodríguez Garzón, experto en *blockchain*, Project Developer del Banco de la República.
- Fredy Alexander Mogollón Rodríguez, experto en infraestructura y redes, Enel Colombia.

A continuación se exponen las impresiones generales de los entrevistados como punto de inicio para la construcción de las rutas de acción. Se destaca la diversidad de sus ocupaciones, lo que agregó un singular valor a las propuestas debido a la pluralidad de puntos de vista.

Pregunta 1: ¿cómo ve el futuro del sector de energía eléctrica en materia tecnológica?

En general, todos los entrevistados concordaron en cuatro aspectos fundamentales para el futuro del sector de energía eléctrica en Colombia en materia tecnológica:

- Un futuro prometedor, dadas las oportunidades que ofrece la aplicación de todas las tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial, entre ellas *blockchain*, el internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (AI), el almacenamiento, la movilidad eléctrica y las ciudades inteligentes.
- La irrupción de otras formas de generar energía.
- La inclusión de nuevas tecnologías de *big data* para pronóstico de recursos y manejo de información y de datos en todos los eslabones de la cadena de energía. Estas tecnologías permitirían, por ejemplo, hacer un diagnóstico eficiente de equipos para operarlos en forma remota y en tiempo real.
- Una mayor participación de la demanda en la toma de decisiones, por lo que la respuesta de la oferta debe ser más eficiente para entender las necesidades del cliente y responder en menor tiempo.

Andrea Villa explicó que la fuente de esta transformación se debe a que el sistema energético en el mundo se encamina hacia un futuro descarbonizado:

Esta transición requiere fuentes distribuidas (muchos puntos de producción y consumo) y poco previsibles (tecnologías solares y eólicas). Estos dos factores, conectados con la dificultad de almacenar la energía, y el hecho que producción y consumo deben ser iguales en cada momento, requiere una elevada potencia de cálculo y, por lo tanto, un elevado desarrollo de tecnologías para la gestión de las redes de transporte y distribución y el desarrollo de mecanismos de mercado que permitan un eficiente equilibrio de demanda y oferta. Además, estas dificultades computacionales son incrementadas por el hecho que la descarbonización requiere el sector *coupling*, i.e. la electrificación de los sectores de transporte, industrial y residencial (A. Villa, comunicación personal, febrero de 2020).

Kelly Martínez aclaró que estas tecnologías serán apropiadas más que todo por los actores grandes, no tanto por los usuarios finales. Es decir, que en primera instancia no se espera que las nuevas tecnologías logren una penetración tan alta como para llegar a la descentralización.

Pregunta 2: ¿cuáles tecnologías identifica como las que podrían introducirse en el corto plazo?

En la tabla 1 se clasifican las tecnologías que pueden introducirse en el corto plazo según su categoría, ya sea que pertenezca al contexto de energías renovables o al ámbito digital, con inclusión de tecnologías de la información (IT) e internet de las cosas (IoT). En varios casos es posible encontrar tecnologías transversales que pertenezcan a ambas categorías. En este punto destacó Camilo Rodríguez que dichas tecnologías ya están creadas y que existen los medios para ser implementadas.

Tabla 1. Clasificación de tecnologías que se pueden implementar en el corto plazo para la transformación del sector eléctrico en Colombia

Energías renovables	IT + IoT
<ul style="list-style-type: none"> - Paneles fotovoltaicos distribuidos - Generadores de turbinas de viento distribuidos - Iluminación con led - Las celdas de combustible de membrana de intercambio de protones - Registros para aplicaciones del mercado de carbono - Baterías y generación de energía a partir de basura. - Fusión nuclear (muy largo plazo) 	<ul style="list-style-type: none"> - Medidores inteligentes - Automatización de los elementos de las redes de distribución (por ejemplo: apertura y cierre de circuitos) - IoT para calentamiento y enfriamiento - Sensores de alerta en los sistemas para el telecontrol - Robótica para operaciones de alto riesgo e inteligencia de ratificación o aumentada para transferir conocimiento o evaluación de riesgos - Analítica de datos para realizar análisis predictivo de los sistemas - <i>Blockchain</i> para contratos comerciales - <i>Machine learning</i> de los equipos de protección y la gestión comercial
<hr/> <ul style="list-style-type: none"> - Tecnologías de pronóstico del tiempo - Movilidad eléctrica - Tecnologías de eficiencia energética para edificios: sensores de movimiento, enfriamiento eficiente, sensores de temperatura, monitoreo - Tarifas horarias, medición inteligente, autogeneración 	
<hr/> <p>Fuente: elaboración propia con base en los resultados de las entrevistas</p>	

Pregunta 3: ¿cree que el país y, en general, el sector eléctrico, están preparados para la incorporación de nuevas tecnologías en sus esquemas de negocios? ¿Por qué?

Respecto a este tema, los expertos concordaron en que en la actualidad el país se encuentra en un período de transición y su preparación para la incorporación de nuevas tecnologías está apenas comenzando. A pesar de que en varios países latinoamericanos, tales como Chile, Brasil y Argentina, se han venido instalado desde hace varios años celdas fotovoltaicas y aerogeneradores, Colombia apenas comienza, lo que, en opinión de Andrea Villa, “parece muy atípico si consideramos que la región de la Guajira detiene una de las mejores posiciones mundiales en termino de velocidad de viento” (A. Villa, comunicación personal, febrero de 2020). Incluso en términos de redes, Colombia se encuentra con otro retraso puesto que aún no se han instalado los sensores finales de las llamadas redes inteligentes (por ejemplo: los medidores inteligentes).

Kelly Martínez atribuyó el mencionado retraso al hecho de que el sector ha sido muy tradicional en todas sus dimensiones, aunque en los últimos años ha avanzado en prepararse para la introducción de dichas tecnologías. Katharina Grosso y Ana Marcela Parrado señalaron, como causas, la ausencia de un marco regulatorio que promueva la incorporación de estas tecnologías en todas sus modalidades, los altos costos de implementación y la falta de un plan estructurado para el sector en el Gobierno que defina el camino de transformación por etapas.

Sin embargo, Colombia cuenta con varias ventajas para la implementación de estas tecnologías. Una de ellas es el hecho de que la mayoría de las personas viva en grandes ciudades (74% de la población), concentración que favorecería el desarrollo rápido de las infraestructuras. Andrea Villa se mostró también optimista respecto a la institucionalidad del sector, representada en la Comisión de Regulación y el

Ministerio de Minas y Energía, que Andrea consideró que cuentan con grandes competencias y pueden recuperar con gran rapidez el tiempo perdido en esta década.

Pregunta 4: ¿cree que los usuarios responden a las señales de mercado o que el consumo de energía sigue teniendo una demanda inelástica?

Andrea Villa comenzó por hacer una clara distinción entre los sectores de consumo industrial y residencial porque, por un lado, consideró que los industriales ya cuentan con algún grado de elasticidad en su demanda de energía, cosa que no ocurre en los residenciales. Los demás entrevistados concordaron en el hecho de una inelasticidad en el sector residencial e, incluso, expresaron que se debe al desconocimiento del tema y a la falta de información apropiada sobre las dinámicas del mercado (señales de precio, flexibilidad en el consumo, uso de fuentes de energía renovables, etc.).

Pregunta 5: ¿cómo ve la evolución de los usuarios hacia convertirse en prosumidores?

La evolución del rol de los usuarios residenciales como prosumidores se dará en forma progresiva y en el largo plazo a medida en que las nuevas tecnologías (con inclusión de las de la información) lo permitan; entre ellas están:

- Generación distribuida: con un panel se puede elegir cuándo importar desde la red, cuándo exportar, cuándo apagar (en el presente se puede elegir solo si se apaga).
- Almacenamiento distribuido: ahora algunos industriales tienen procesos inflexibles (siempre encendido, siempre apagado) mientras que con el almacenamiento pueden participar de manera activa en el mercado.

- Desarrollo de IoT (internet de las cosas): en la actualidad los consumidores residenciales tienen un costo demasiado grande para apagar y encender los electrodomésticos para hacer que la demanda responda. Con el IoT el costo psicológico es casi nulo (la calefacción y el aire acondicionado se encienden y se apagan solo para dar reserva primaria, secundaria o terciaria). Un ejemplo que ya el grupo Enel utiliza es el vehículo conectado a la red en Dinamarca y Reino Unido para dar reserva primaria con las baterías de los vehículos eléctricos.

Pregunta 6: ¿cree que en la transición energética que está adelantando el país es importante que se aborde el tema de la descentralización de las redes y el servicio? ¿Por qué?

La mayoría de entrevistados coincidieron en que es fundamental que se aborde el tema de la descentralización en el esquema de transición energética que se está planteando en el país debido al panorama mundial del futuro de la energía. Ellos indicaron que es evidente que dicho horizonte está profundamente marcado por la descentralización de los recursos, que permitiría la presencia de más competencia, lo que beneficiaría al usuario en precios y servicio.

Kelly Martínez destacó que para el país es esencial “prepararse desde el tema de descentralización de las redes y el servicio, implementando marcos regulatorios flexibles e informando a los usuarios de las diferentes opciones para acceder a las redes y el servicio de energía” (K. Martínez, comunicación personal, febrero de 2020). Sin embargo, es un tema para manejar con cuidado con el fin de cuidar la competitividad del país, según Katharina Grosso.

Pregunta 7: ¿cree que a través de una plataforma *blockchain* es posible crear un sistema energético descentralizado?

Blockchain en el sector energético colombiano parece ser una de las tantas iniciativas que se pueden adoptar de manera complementaria en la transformación del sistema energético colombiano en el mediano plazo. Respecto a este punto, Kelly Martínez consideró que “el patrón de mercado en Colombia va a permanecer conservador en el corto y mediano plazo siguiendo el mismo patrón, adoptando ciertas tecnologías y al muy largo plazo se puede migrar a este tipo de plataformas” (K. Martínez, comunicación personal, febrero de 2020). No obstante, los entrevistados coincidieron en una visión que incluyó esta tecnología y otras complementarias.

Andrea Villa señaló, sin embargo, que piensa que, a pesar de ser una de las soluciones, *blockchain* no constituye la única solución que necesita el sector eléctrico colombiano. Esta disensión tuvo su origen en la propiedad que caracteriza en lo fundamental, al *blockchain*, que es la completa trazabilidad de las transacciones, a través del libro mayor contable distribuido. Esta característica, central en el *blockchain*, en principio no es tan importante en la producción de energía, que se produce y se consume de manera instantánea; no obstante, en su negociación puede resultar muy relevante en el desarrollo de los mercados.

Una segunda característica del *blockchain* puede resultar más importante para el sector eléctrico: la ausencia de una institución central. Es decir, se destaca la necesidad de migrar a un sistema descentralizado. El sector actual cuenta ya con diferentes entes e instituciones (el distribuidor, el transmisor y los medidores) que son regulados y, por lo tanto, hay confiabilidad en el valor de la medición y de la factura.

Es posible que *blockchain* ocupe un papel importante en los mercados del futuro de la energía, en los que la misma energía se compra y se vende muchas veces antes del tiempo real, es decir, se debe tener en cuenta la tasa de rotación. También puede servir para mejorar la confianza en la red. Andrea Villa mencionó que ha habido

experimentos de este tipo en Europa, pero los costos son altos y los tiempos para generar una transacción son extensos.

Pregunta 8: ¿Cómo se imagina el modelo de negocio en el que la plataforma *blockchain* sea la que se utiliza para las transacciones?

Andrea Villa destacó el posible rol del *blockchain* en las microrredes. Según Andrea, puede ser que, en el sector eléctrico del futuro, algunos consumidores y algunos productores quieran definir unas microrredes y comprar solo algunos servicios en la red interconectada. Para ilustrar de manera clara el papel que jugaría el *blockchain* en este caso, expuso un ejemplo de microrred: una nueva urbanización con paneles solares y baterías; en ella se compran en la red solo algunas horas de la noche y en todas las demás horas no se tiene conexión con el sistema colombiano:

Esto lo hacen para tener menor coste de conexión y bajo coste de energía de respaldo. En esta microrred no existe una autoridad (un distribuidor); el único valor oficial es el consumo desde la red colombiana (donde está instalado un medidor de propiedad de Codensa). Por esta razón, nace la necesidad de identificar quién produjo y quién consumió la energía de la microrred para imputar los costes. En este ejemplo se podría introducir un mecanismo de *blockchain* que crea una criptoaluda³ cada vez que el panel produce energía, registra en el *ledger* cuándo fue almacenado y cuando fue consumido o exportado (la misma cosa pasa para la energía comprada desde la red). Si los consumidores/productores no son muchos y si el período de *settlement* es corto (por ejemplo, una semana, un mes, un trimestre), la dimensión del *ledger* distribuido es limitada y, por lo tanto, los cálculos (y., por lo tanto, el consumo de energía) necesarios para incorporar nuevas transacciones (un nuevo

³ Registro de una valoración electrónica de la energía

bitcoin) se quedan limitados” (A. Villa, comunicación personal, febrero de 2020).

Ana Marcela Parrado propuso una

red de actores donde todos ponen productos OFERTA de energía disponible para la venta, otros ponen las necesidades de compra DDA, otros ponen los posibles riesgos asociados económicos, ambientales, etc. y todos son validadores de cada cifra postulada. Así mismo, podrán transar en el modelo de confianza sin necesidad de ir a otras instancias (A. M. Parrado, comunicación personal, febrero de 2020).

Sin embargo, señaló que lo anterior corresponde solo a un posible modelo económico, entre muchas posibilidades que podrían estar disponibles.

Pregunta 9: ¿cree que los agentes tradicionales del sector eléctrico se están preparando para el cambio de roles que supone la incorporación de nuevas tecnologías (plataformas como *blockchain*, esquemas de igual a igual e internet de las cosas, entre otras)?

Respecto a este punto, se encontraron opiniones divididas entre los expertos entrevistados. Por un lado, hubo quienes pensaron que ya existen varios actores tradicionales que se están preparando para el cambio que implica la implementación de las nuevas plataformas y las tecnologías ya mencionadas. Destacó el caso de Enel Colombia, que lleva trabajando en el tema cinco años. Sin embargo, es una transformación que implica un cambio profundo de ideología de los operadores más tradicionales puesto que “muchas de estas compañías están acostumbradas a pensar en *asset* físico, con este cambio el valor estará en los datos, en los servicios” (A. Villa, comunicación personal, febrero de 2020).

Por otro lado, Kelly Martínez opinó que lo mencionado no significa la desaparición de los agentes tradicionales. Aunque estos se estén preparando para el cambio de roles que supone la incorporación de dichas plataformas, pueden visualizar nuevas oportunidades que las plataformas aludidas podrían traer en cuanto al cambio de roles, sin que ello signifique su desaparición.

Pregunta 10: ¿cómo podría ayudar la aplicación de estas tecnologías a rentabilizar el negocio de la energía?

Todos concordaron en la necesidad de abrir oportunidades a nuevos esquemas y líneas de negocio referentes al tema de gestión inteligente de la energía para evitar ineficiencias en el mercado. Gracias a las nuevas tecnologías, se pasa de la venta de una *commodity* (generalmente con márgenes muy bajos) a la de un servicio a través de plataformas (márgenes altos y estables), lo que es posible si se tiene acceso a información más precisa en tiempo real.

6.2 Rutas de acción

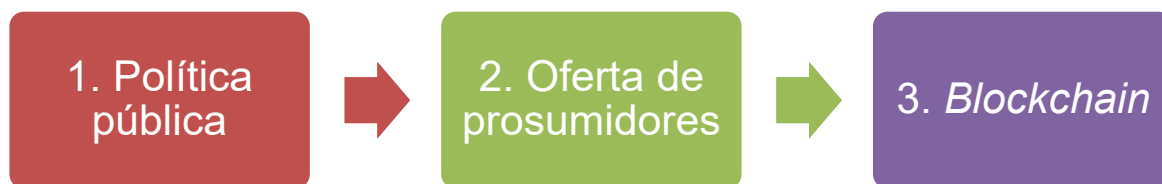
En las figuras 3 y 4 se plantean dos rutas de acción a través de las que se puede promover el uso de *blockchain* en las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia.

Figura 3. Ruta de acción N° 1



Fuente: elaboración propia

Figura 4. Ruta de acción N°



Fuente: elaboración propia

Al tener en cuenta que las actividades de distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia están reguladas por el Estado según las leyes 142 y 143 de 1994 (Congreso de Colombia, 1994a; 1994b), en un principio se identificó que para la introducción del uso de cualquier tecnología (entre ellas *blockchain*) que busque promover la descentralización, la digitalización y la gestión eficiente de la demanda (caso observado para ambas rutas de acción), en primera instancia se debe expedir una política pública.

Dicha política pública deberá contener la visión del Ministerio de Minas y Energía para una operación eficiente en una economía altamente electrificada y con niveles superiores de consumo de energía eléctrica, cuyos objetivos incluyen mejorar la calidad del servicio ofrecido, mediante el fortalecimiento de la resiliencia de las redes (sin olvidar para ello el aspecto de la ciberseguridad inherente al nuevo escenario) y la promoción de la creación de nuevos servicios de valor añadido para el cliente. Este último aspecto viene estrechamente relacionado con la enorme cantidad de datos que la digitalización pone a disposición, las tecnologías disponibles para su tratamiento (como el internet de las cosas y la inteligencia artificial) y las tecnologías para robustecer las transacciones (como *blockchain*) en los nuevos modelos de negocio que puedan surgir.

A partir de la expedición de la política pública se espera que el ritmo de innovación digital se acelere y que, al mismo tiempo, se establezca un diálogo positivo entre los actores del sector y los reguladores para garantizar que la industria y el mercado se rediseñen, funcionen para todos los participantes y alcancen los objetivos esenciales.

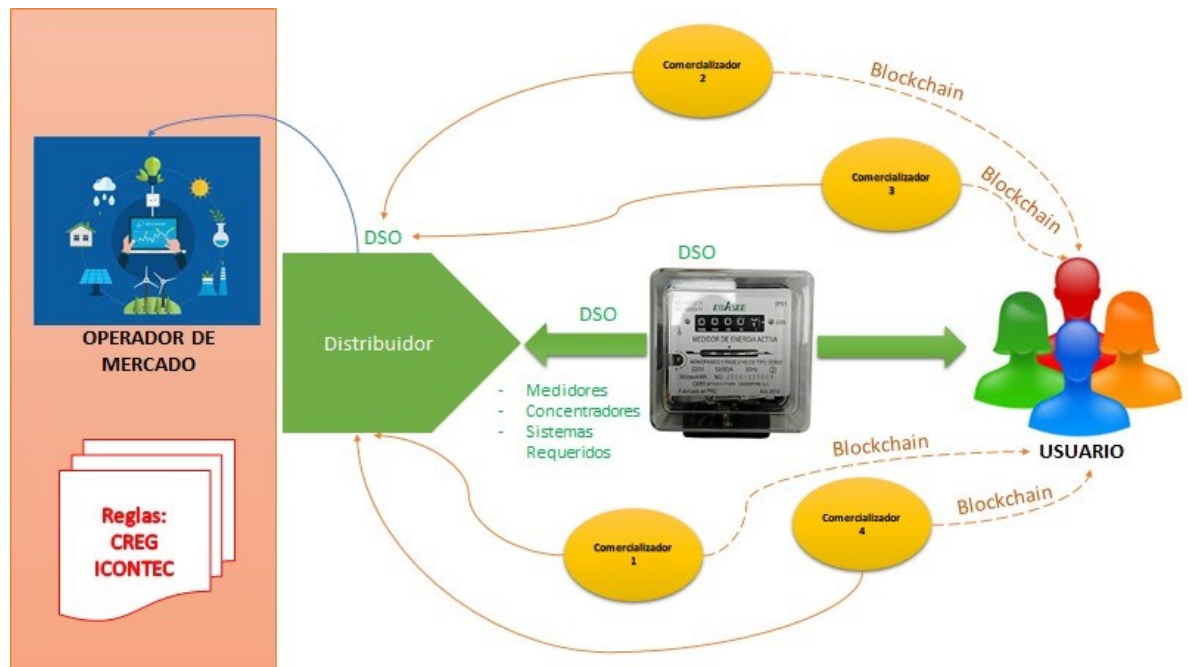
De tal manera, el segundo paso en la ruta de acción N° 1 se refiere a la infraestructura de medición avanzada, que se considera como la capa de base para poder hablar de digitalización, descentralización y gestión eficiente de la demanda. Lo anterior se debe a que permite la medición del consumo en forma horaria, actúa como sensor de la red para la planificación y la operación más eficiente e incluye acciones a partir del dispositivo de medición, como el envío remoto de datos y la conexión y la desconexión del servicio, entre otras; todas ellas son claves para permitir la gestión de la demanda por parte de los usuarios, el autoconsumo y una mejor calidad de servicio basada en el mejor conocimiento de la red. Este paso es prioritario y, en el marco de esta ruta de acción, debe hacer parte de la infraestructura del distribuidor como un activo de uso de la red.

En el contexto de estas infraestructuras, el medidor avanzado actúa como un sensor instalado en el borde de la red (*grid edge*) con el fin de garantizar un flujo bidireccional de información, hacia el cliente y el distribuidor, que permita la activación de nuevos servicios y de funcionalidades innovadoras, de modo que se habilite también una operación impulsora basada en datos por parte del distribuidor. De modo complementario con lo anterior, las infraestructuras de medición avanzada (AMI) darán la posibilidad al distribuidor de poder diseñar protocolos más avanzados y precisos de atención de fallas, que ofrezcan mayor confiabilidad y resiliencia en la red para afrontar la integración de todas las nuevas tecnologías.

El tercer paso se refiere a la liberalización del mercado, es decir, a la ampliación a más clientes (en función de su consumo o de su potencia instaladas) o a la totalidad de

ellos, la posibilidad de pactar con libertad con el comercializador el precio de la energía, de tal forma que se desarrolle un esquema de actores como el que se muestra en la figura 5.

Figura 5. Mercado liberalizado



Fuente: elaboración propia

En este esquema, el comercializador interactúa en forma directa con el cliente a través de una plataforma *blockchain* y, en este rol, es el encargado de diseñar un portafolio de servicios (en el que está incluido el suministro de energía). El comercializador, además, compite en igualdad de condiciones con todos los comercializadores del mercado, mientras que el distribuidor le garantiza el acceso a los datos comerciales de los clientes, que se obtienen de los medidores avanzados.

El distribuidor asume un rol de DSO, en el que debe garantizar el acceso a los demás agentes sobre los datos comerciales del cliente, obtenidos de los medidores

avanzados. Debe sujetarse a las reglas de los reguladores y de las autoridades sobre el tratamiento de datos, debe garantizar el almacenamiento de los datos y es el responsable de instalar y mantener la medición avanzada.

El usuario, por su parte, es el propietario de la información y, mediante mecanismos legales, delega la administración de ella en el distribuidor o DSO según los parámetros establecidos por los reguladores y las autoridades en la materia. Además, y más importante, tiene acceso a diferentes ofertas de los comercializadores respecto a la prestación del servicio de energía eléctrica y demás productos de valor añadido, a través de plataformas *blockchain*, en las que, al final, se materializa su contratación y se desarrolla parte de las actividades comerciales, como la facturación y el pago.

En cuanto a la ruta de acción N° 2, que se muestra en la figura 4, el segundo paso se refiere a la oferta de los prosumidores. Según el informe de la International Energy Agency (IEA, 2018), 2017 fue el año en que el aumento de la capacidad fotovoltaica creció más que toda otra tecnología, por lo que se considera que esa fuente será líder en la expansión mundial en los próximos cinco años; la IEA prevé que la mitad de ese crecimiento provendrá de instalaciones distribuidas, lo que quiere decir que residencias, edificios comerciales e industrias podrán atender cerca de 2% del consumo global de energía eléctrica en 2023, a partir de lo que el consumidor pasa a tener un papel más activo, con la posibilidad de generar su propia energía e, incluso, hasta de desconectarse de la red.

Así las cosas, se identificaron múltiples ofertas de los prosumidores, que podrán tener una gran oportunidad de dinamizar sus transacciones a través del uso de plataformas *blockchain*. Entre ellas están:

- Almacenamiento distribuido.

- Movilidad eléctrica: además de la concepción tradicional, la movilidad eléctrica representa otra oportunidad de optimización de los recursos de la red puesto que la batería de cada vehículo que esté rodando en el futuro constituirá un recurso distribuido adicional, con el potencial de ser optimizado en la operación del distribuidor.
- Generación distribuida.
- Respuesta de la demanda: se ve como uno de los elementos fundamentales para una gestión eficiente de la demanda, tanto desde el punto de vista del usuario como desde el del prestador de servicio porque que aporta confiabilidad al sistema en períodos críticos. En el corto plazo se espera optimizar la prestación de servicios auxiliares para respaldar el balance de la red, sobre todo cuando la generación eólica y solar aumenta; en el largo plazo tiene el potencial de lograr reducir el precio, mediante la optimización del excedente económico de los usuarios y la operación de la red, de tal forma que se utilizará en ubicaciones específicas para reducir las congestiones de la red y para aplazar expansiones y modernizaciones.

6.3 Aspectos normativos y regulatorios que deben revisarse

En primera instancia, es necesario contar con un marco regulatorio de gobernanza de datos que permitan al distribuidor un control eficiente de la red y que aseguren libre competencia en el mercado minorista. Seguido de lo anterior, se deberán revisar las normas que median la relación entre el usuario y el proveedor del servicio (resolución de la CREG 108 de 1997 (CREG, 1997) y todas aquellas que la modifiquen o complementen), de tal modo que se observen, entre otros, los siguientes aspectos:

- Lo establecido en normas posteriores, como la ley 1480 de 2011 o estatuto de protección al consumidor (Congreso de Colombia, 2011), la ley 1715 de 2014, sobre

energía renovables no convencionales (Congreso de Colombia, 2014), la ley estatutaria 1266 de 2008, sobre *habeas data* financiero y crédito comercial (Congreso de Colombia, 2008), y la ley estatutaria 1581 de 2012, sobre protección de datos personales (Congreso de Colombia, 2012).

- Las fórmulas tarifarias acordes con los nuevos esquemas de prestación del servicio, que implican que las tarifas horarias sean un requisito que les dará viabilidad a los diferentes esquemas.
- Debe aplicar a todas las relaciones surgidas entre los usuarios y los prestadores de los servicios de energía eléctrica, con inclusión de los nuevos esquemas de prestación del servicio a través del uso de plataformas tecnológicas.
- Debe incluir, en sus definiciones, todas las que tienen que ver con las nuevas tendencias tecnológicas aplicables al sector, así como los nuevos esquemas de prestación del servicio.
- Entre los derechos de los usuarios deberán incluirse aspectos relacionados con el tratamiento de datos, con la posibilidad de acceder al servicio por medio del uso de las diferentes tecnologías disponibles y a través de las distintas plataformas tecnológicas que se incorporen en el mercado.
- De conformidad con los esquemas de prestación del servicio, se deben adecuar las disposiciones sobre: 1) la contratación del servicio, en cuanto a la solicitud, la conexión y el contrato; 2) la prestación del servicio, en lo referente a la liquidación, facturación, medición, suspensiones y cortes, y 3) la defensa del usuario.
- Por último, es necesario abordar el tema del contrato, que debe responder a los nuevos esquemas; debe, además tener un contenido simplificado, con un

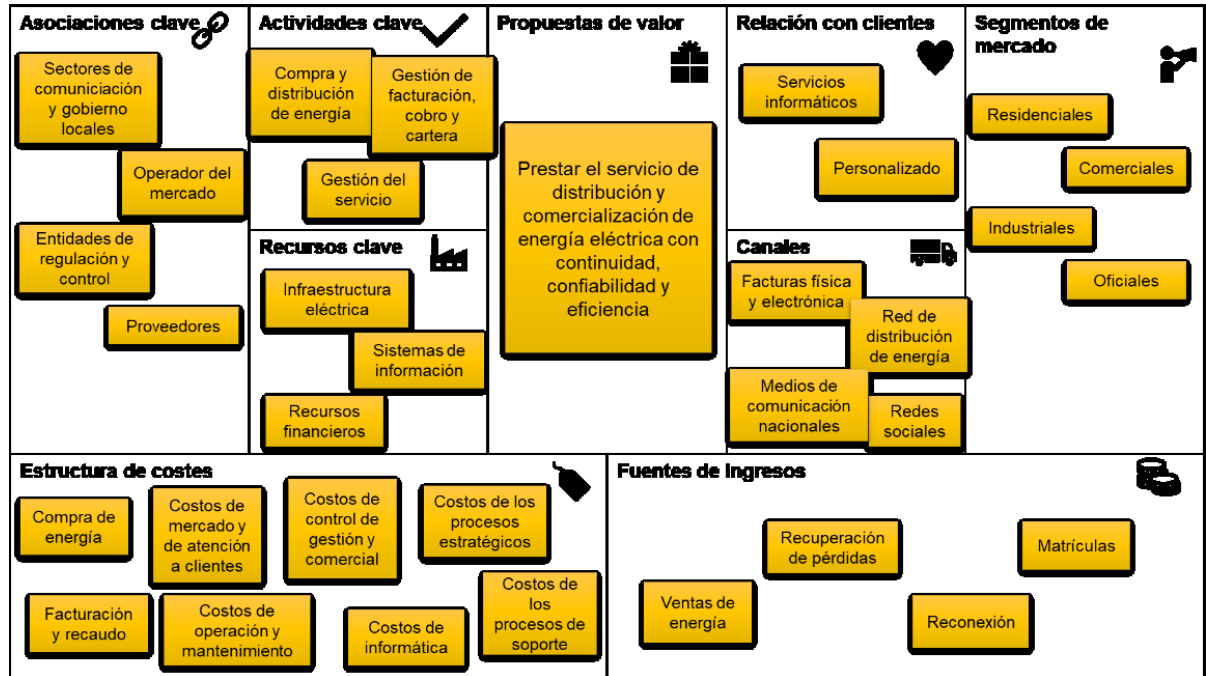
lenguaje que resulte comprensible para las partes, sobre todo para el usuario que actuará como un prosumidor.

6.4 Cambio en el modelo de negocio

Al tener en cuenta que los negocios de distribución y comercialización de energía eléctrica en Colombia pertenecen a la categoría de servicios públicos, que son regulados por el Estado, la estructura de las compañías y, en general, la propuesta de valor es genérica; por lo tanto, cualquier cambio hacia la modernización y el aprovechamiento de tecnologías implica que haya modificaciones en las compañías.

De esta forma, para ilustrar el contexto interno del negocio actual de distribución y comercialización de energía se empleó la herramienta de lienzo de modelo de negocio de Osterwalder. A continuación se presenta el lienzo correspondiente:

Figura 6. Lienzo del modelo de negocio actual del negocio de comercialización y distribución de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia

En el modelo de negocio se identificaron recursos físicos, en términos de los activos de distribución de energía, financieros, en términos del capital de trabajo del negocio, humanos, en términos de personal especializado y altamente cualificado, tecnológicos, en términos de plataformas de CRM, y organizativos, en términos de las estructuras societarias relativamente homogéneas (por la ley y la regulación) para la prestación de dichos servicios.

En cuanto a las capacidades, se identificaron algunas relacionadas con la gestión de energía eléctrica, con el músculo financiero necesario para acometer las inversiones en infraestructura eléctrica a gran escala, con la ejecución rápida y eficiente de inversiones en infraestructura, con la explotación de economías de escala, con la

experiencia en la gestión de contratos según estándares de calidad y seguridad industrial y con la calidad del recurso humano especializado.

La propuesta de valor estuvo muy alineada con la atención de un mercado monopólico, en el que el producto ofrecido tiene poca o ninguna diferenciación y los precios están regulados, lo que genera una demanda inelástica.

Cuando se sobreponen las propuestas de rutas de acción presentadas en el numeral 6.2 sobre el lienzo de modelo de negocio, se obtiene el modelo de negocio que se presenta en la figura 7.

Figura 7. Lienzo del modelo de negocio modificado con rutas de acción del negocio de comercialización y distribución de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia

Dado que las propuestas implican una interacción con el sector financiero en la plataforma transaccional, se adicionó el mercado financiero como una de las asociaciones claves. Por su parte, entre las actividades clave se adicionaron las que tienen que ver con la gestión de la información y la de la plataforma transaccional.

En cuanto a los recursos clave, se adiciona la de la plataforma transaccional que se construirá según la arquitectura *blockchain*. Al tener en cuenta que la relación con los clientes implicará mayores contactos virtuales a partir de la utilización de la plataforma transaccional, además se adicionó su gestión virtual. En los canales se agregó la factura electrónica y en la segmentación de clientes se adicionaron los prosumidores.

De esta manera, la nueva propuesta de valor se amplió por medio de la adición de atributos, como la confiabilidad y continuidad del servicio, así como su prestación eficiente, todo ello de acuerdo con un esquema de mercado en competencia en el que, si bien se trata del mismo producto, energía eléctrica, con poca o nula diferenciación, la forma de transar la misma ofrece la oportunidad para que la demanda sea más activa, no sea precio aceptante y pueda escoger sobre un portafolio de opciones, en virtud de sus necesidades de consumo, su disposición a pagar y los atributos adicionales que pueda percibir.

6.5 Impacto en los costos, la rentabilidad y el modelo de negocio en una empresa tipo de comercialización y distribución de energía eléctrica en Colombia

Según la estructura de costos establecida por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios para las empresas de energía, la de las que prestan el servicio de distribución y comercialización de energía se compone de lo siguiente:

Tabla 2. Estructura de costos por actividades de una empresa de distribución y comercialización de energía eléctrica

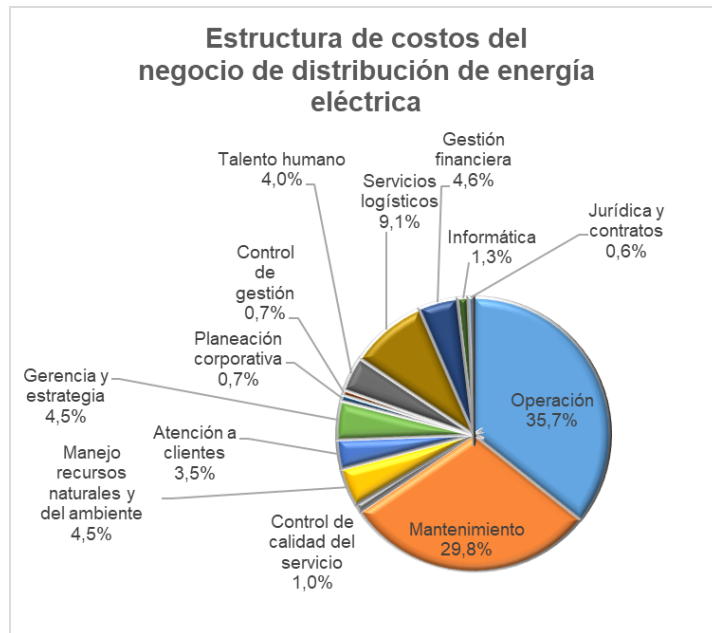
4 Servicio de energía	
443 Unidad de servicio de distribución	
44346	Proceso operativo de operación
44347	Proceso operativo de mantenimiento
44348	Proceso operativo de control de calidad del servicio
44349	Proceso operativo de manejo de recursos naturales y del ambiente
44379	Proceso comercial de atención a clientes
44390	Proceso estratégico y de soporte de gerencia y estrategia
44391	Proceso estratégico y de soporte de planeación corporativa
44392	Proceso estratégico y de soporte de control de gestión
44393	Proceso estratégico y de soporte de gestión del talento humano
44394	Proceso estratégico y de soporte de servicios logísticos
44395	Proceso estratégico y de soporte de gestión financiera
44397	Proceso estratégico y de soporte de informática
44398	Proceso estratégico y de soporte de jurídica y contratos
444 Unidad de servicio de comercialización de energía	
44475	Proceso comercial de mercadeo
44476	Proceso comercial de gestión de energía
44479	Proceso comercial de atención a clientes
44481	Proceso comercial de facturación y recaudo
44483	Proceso comercial de control comercial

44490	Proceso estratégico y de soporte de gerencia y estrategia
44491	Proceso estratégico y de soporte de planeación corporativa
44492	Proceso estratégico y de soporte de control de gestión
44493	Proceso estratégico y de soporte de gestión del talento humano
44494	Proceso estratégico y de soporte de servicios logísticos
44495	Proceso estratégico y de soporte de gestión financiera
44497	Proceso estratégico y de soporte de informática
44498	Proceso estratégico y de soporte de jurídica y contratos

Fuente: elaboración propia con base en Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (1997, anexo)

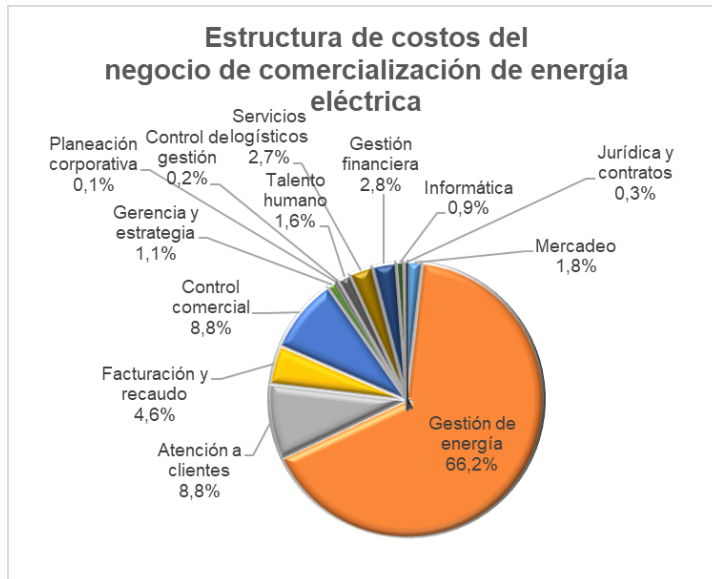
Según la estructura de costos, cada uno de los negocios, tanto el de distribución como el de comercialización de energía eléctrica, se descomponen en 13 actividades, unas operativas y otras de procesos estratégicos y de soporte. Acorde con los datos cargados por las empresas al Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, a continuación se muestra en forma gráfica la distribución del peso relativo de los costos de dichas actividades en cada uno de los negocios mencionados:

Figura 8. Estructura de costos del negocio de distribución de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia con base en Sistema Único de Información (2019)

Figura 9. Estructura de costos del negocio de comercialización de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia con base en Sistema Único de Información (2019)

En términos económicos, y según los análisis realizados por la Comisión Europea (European Commission, 2020a; 2020b; 2020c; 2020d) y los beneficios identificados en las rutas de acción descritas en el numeral 6.2, sobre las actividades realizadas en los negocios de comercialización y distribución de energía eléctrica implica lo siguiente en materia de eficiencias operativas:

- Un 38% de potencial de disminución del costo de las operaciones en terreno por la posibilidad de hacer lectura remota de los consumos de los clientes, al igual que operaciones de suspensión y reconexión del servicio de manera remota, así como la optimización de las operaciones de los mantenimientos de los activos al estar telecontrolados.
- Un 26% de potencial de disminución de los costos de servicios al cliente por la posibilidad de hacer contratos estándar y en línea, menor gestión de reclamaciones, acciones de mercadeo masivas y menos costosas y, en general, la optimización de las operaciones de la oficina de respaldo en línea.
- Un 28% de potencial de disminución de los costos que implican las pérdidas de energía comerciales y de la red.
- Un 3,9% de potencial de disminución de los costos de compra de energía, dada la posibilidad de su transferencia, vía tarifa, en el mismo mes en que se causan. Hoy dicho traslado se hace con dos meses de retraso.

En la tabla 3 se muestra el cambio en la estructura de costos de una empresa tipo de distribución y comercialización al introducir el potencial de disminución de costos por las eficiencias operativas antes mencionadas.

Tabla 3. Cambio en la estructura de costos de la empresa tipo de distribución y comercialización de energía eléctrica luego de introducir las propuestas

Costos de la empresa tipo de distribución y comercialización de energía eléctrica	Estado inicial	Luego de introducir propuestas	Variación
Servicio de Energía	100%	89%	-10,5%
Unidad de servicio de distribución	24%	20%	-13,6%
Operación	35,7%	25,6%	-38,0%
Mantenimiento	29,8%	34,4%	0,0%
Control de calidad del servicio	1,0%	1,2%	0,0%
Manejo de recursos naturales y del ambiente	4,5%	5,2%	0,0%
Atención a clientes	3,5%	4,0%	0,0%
Gerencia y estrategia	4,5%	5,2%	0,0%
Planeación corporativa	0,7%	0,9%	0,0%
Control de gestión	0,7%	0,8%	0,0%
Talento humano	4,0%	4,7%	0,0%
Servicios logísticos	9,1%	10,5%	0,0%
Gestión financiera	4,6%	5,3%	0,0%
Informática	1,3%	1,5%	0,0%
Jurídica y contratos	0,6%	0,7%	0,0%
Unidad de servicio de comercialización de energía	76%	69%	-9,6%
Mercadeo	1,8%	1,4%	-26,0%
Gestión de energía	66,2%	63,6%	-3,9%
Atención a clientes	8,8%	6,5%	-26,0%
Facturación y recaudo	4,6%	2,9%	-38,0%
Control comercial	8,8%	6,3%	-28,0%
Gerencia y estrategia	1,1%	1,1%	0,0%

Planeación corporativa	0,1%	0,1%	0,0%
Control de gestión	0,2%	0,2%	0,0%
Talento humano	1,6%	1,6%	0,0%
Servicios logísticos	2,7%	2,7%	0,0%
Gestión financiera	2,8%	2,8%	0,0%
Informática	0,9%	0,9%	0,0%
Jurídica y contratos	0,3%	0,3%	0,0%

Fuente: elaboración propia

Acorde con lo anterior, se encontró una disminución en los costos totales de 10,5%, porque en el negocio de distribución se beneficia en general la operación y se obtiene una disminución de sus costos en 13,6%. Para el caso del negocio de comercialización de energía se observaron beneficios en las actividades de mercadeo, gestión de energía, atención a clientes, control comercial, facturación y recaudo, con lo que se obtiene en total una disminución en sus costos del 9,6%. En términos de rentabilidad, si se supone que las inversiones necesarias para la implementación de la eficiencia operativa, tales como la medición avanzada y el *software de blockchain*, puedan ser considerados activos de uso de la actividad de distribución y, por ende, se reconocen y se pagan a través del componente de distribución de la tarifa regulada; se considera que la disminución potencial en costos se traslada en forma directa a la rentabilidad, puesto que el margen operacional de una empresa tipo, calculado a partir de los datos cargados por las compañías al Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, asciende al 13,8% de sus ingresos y, al introducir los cambios mencionados, sería del 22,8%.

Además, se identificaron algunos beneficios adicionales, que, si bien no se identificaron desde el punto de vista económico, tienen gran incidencia en la oferta de valor agregado para el cliente.

En la tabla 4 se presenta la lista los estudios de caso sobre los que se presumen posibles beneficios económicos al implementar de manera hipotética *blockchain* en el sistema energético. Se clasificaron de menor a mayor calificación según el impacto del beneficio económico (de 1 a 5), según el eslabón del sistema al que pertenecen (financiamiento y tokenización, gestión de activos, gestión de datos, comunicación de mercado, comercio electricidad). Es claro que, en algunos eslabones del sistema energético, el impacto económico puede ser más significativo, sobre todo en los procesos relacionados con la gestión de datos y la de activos. Estos posibles beneficios económicos están en su mayoría relacionados con la reducción de los costos de funcionamiento en algunas compañías a través de los efectos de la automatización y la optimización de procesos, así como de los costos de transacciones.

A pesar de que en algunos eslabones el beneficio económico de la implementación de la tecnología *blockchain* no fue explícito, no se debe enfocar solamente hacia una reducción de costos. El nuevo modelo energético debe tener como prioridad dos puntos claves: eficiencia energética (que incluye sostenibilidad ambiental), integración del usuario como actor activo (que lleva a un sistema descentralizado) y lo referente a la ciberseguridad y al manejo de los datos. En este sentido, se debe hacer un énfasis en la capacidad de la tecnología para aumentar la calidad de la información y, en consecuencia, del servicio.

Tabla 4. Clasificación del impacto económico del *blockchain* en varios eslabones del sistema energético

Calificación	Clasificación	Estudio de caso
Menor a 3	Financiamiento y tokenización	Inversiones compartidas en el caso de suministro externo de dueño a inquilino

	Comunicación de mercado	Cobro de cuotas y cargos de reubicación (electricidad)
Entre 3 y 4	Comercio (electricidad)	Suministro de electricidad de dueño a inquilino
	Comunicación de mercado	Término y cambio de proveedores (electricidad)
	Comercio (electricidad)	Comercio de igual a igual (P2P) entre clientes de un proveedor de electricidad
Mayor a 4	Gestión de activos	Manejo de la congestión en las redes de distribución de electricidad (electromovilidad)
		Servicios de energía para edificios y procesos industriales
	Gestión de datos	Inclusión de las instalaciones en el registro maestro de datos de mercado (MaStR)
		Certificados de origen
	Comercio (electricidad)	Comercio de electricidad al por mayor (venta directa)

Fuente: elaboración propia con base en Agencia Alemana de Energía (2019, p. 12)

7. Conclusiones

La implementación de las nuevas tecnologías en el sistema energético colombiano actual supone una transformación profunda del esquema tradicional, lo que conlleva no solo un cambio técnico, sino también ideológico. Es natural encontrar un cierto grado de resistencia por parte de los agentes tradicionales. Sin embargo, es necesario que ellos cuenten con rutas de acción claras para adaptarse a la evolución global del mercado de la energía.

Los beneficios económicos que hasta ahora se han identificado sobre una empresa tipo de distribución y comercialización de energía eléctrica sobre el uso de *blockchain* consisten en ganancias (por reducción de costos), producto de eficiencias operativas, todo lo que implica mayor rentabilidad equivalente, si se considera que la inversión requerida se traduce en activos de uso de la actividad de distribución y, por ende, son reconocidos y pagados a través del componente de distribución de la tarifa regulada.

Sin embargo, a fin de tener una visión sistémica que incluya, a su vez, los beneficios estratégicos que ello suponga para las varias compañías que hacen parte de la cadena energética, se recomienda hacer un análisis en este sentido.

En el mediano plazo se espera una evolución de los usuarios para convertirse en prosumidores, lo que se ajusta a la visión mundial de un servicio descentralizado de energía.

El nuevo modelo de negocio implica la valoración de atributos, como la confiabilidad y continuidad del servicio, así como su prestación eficiente, todo ello de acuerdo con un esquema de mercado en competencia en el que, si bien se trata del mismo producto, energía eléctrica, con poca o nula diferenciación, la forma de transar la misma ofrece la oportunidad para que la demanda sea más activa, no sea precio

aceptante y pueda escoger sobre un portafolio de opciones, en virtud de sus necesidades de consumo, su disposición a pagar y los atributos adicionales que pueda percibir.

8. Glosario

AMI: infraestructura de medición avanzada (*advanced metering infrastructure*)

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

BM: Banco Mundial

CAC: Comité Asesor de la Comercialización

CAPT: Comité Asesor del Planeamiento de la Transmisión

CND: Centro Nacional de Despacho

CNO: Consejo Nacional de Operación

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

IoT: internet de las cosas (*internet of things*)

IPSE: Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas

ISA: Interconexión Eléctrica S. A.

MME: Ministerio de Minas y Energía

SDL: Sistema de Distribución Local

SIN: Sistema Interconectado Nacional

SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

STN: Sistema de Transmisión Nacional

STR: Sistema de Transmisión Regional

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética

XM: Expertos en Mercado

Referencias

- Agencia Alemana de Energía (2019). *Blockchain en la transición energética integrada. Resumen ejecutivo*. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/Studie_Blockchain_in_der_integrierten_Energiewende_spanisch.pdf
- Álvarez Esteban, R. (2003). Las preguntas de respuesta abierta y cerrada en los cuestionarios. Análisis estadístico de la información. *Metodología de Encuestas*, 5(1), 45-54. asus.usal.es/pkp/index.php/MdE/article/view/932
- Arora, H. (2018, 24 de diciembre). *Introduction to blockchain technology and what it means to big data*. Big Data Made Simple. <https://bigdata-madesimple.com/introduction-to-blockchain-technology-and-what-it-means-to-big-data/>
- Ayala, J. (2014, 16 de abril). Eficiencia operacional en empresas de servicios públicos y telecomunicaciones. *América Economía*. <https://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/eficiencia-operacional-en-empresas-de-servicios-publicos-y-telecomunicaciones>
- Brakeville, S., & Bhargav, P. (2019, 1 de junio). *Blockchain basics: introduction to distributed ledgers*. IBM. <https://developer.ibm.com/tutorials/cl-blockchain-basics-intro-bluemix-trs/>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG (1997). *Resolución 108, de 3 de julio de 1997, por la cual se señalan criterios generales sobre protección de los derechos de los usuarios de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible por red física, en relación con la facturación, comercialización y demás asuntos relativos a la relación entre la empresa y el usuario, y se dictan otras disposiciones*. CREG. <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/5704b5b3164bd1620525785a007a63c3>

Congreso de Colombia (1994a). *Ley 142, de 11 de julio de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.* Congreso de Colombia.

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

Congreso de Colombia (1994b). *Ley 143, de 11 de julio de 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.* Congreso de Colombia.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0143_1994.html

Congreso de Colombia (2008). *Ley estatutaria 1266, de 31 de 2008, por la cual se dictan las disposiciones generales del hábeas data y se regula el manejo de la información contenida en bases de datos personales, en especial la financiera, crediticia, comercial, de servicios y la proveniente de terceros países y se dictan otras disposiciones.* Congreso de Colombia.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1266_2008.html

Congreso de Colombia (2011). *Ley 1480, de 12 de octubre de 2011, Por medio de la cual se expide el estatuto del consumidor y se dictan otras disposiciones.* Congreso de Colombia.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1480_2011.html

Congreso de Colombia (2012). *Ley 1581, de 17 de octubre de 2012, Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.* Congreso de Colombia.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1581_2012.html

Congreso de Colombia (2014). *Ley 1715, de 13 de mayo de 2014, Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.* Congreso de Colombia.

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html

- Corzo Ascanio, D. C. (2013). *Análisis del sector de energía eléctrica colombiano y regional. Negociación de energía eléctrica CEMEX Colombia S. A.* (trabajo de grado, programa de Administración de Negocios Internacionales, Universidad del Rosario). <https://repository.urosario.edu.co/handle/10336/4526>
- European Commission (2020a, 23 de julio). *Scanning the smart electricity ecosystem.* European Commission. <https://ses.jrc.ec.europa.eu/scanning-smart-electricity-ecosystem>
- European Commission (2020b, 23 de julio). *Smart grid costs, benefits and impacts.* European Commission. <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-grid-costs-benefits-and-impacts>
- European Commission (2020c, 23 de julio). *Smart metering deployment in the European Union.* European Commission. <https://ses.jrc.ec.europa.eu/smart-metering-deployment-european-union>
- European Commission (2020d, 23 de julio) *The digital grid interoperability under test.* European Commission. <https://ses.jrc.ec.europa.eu/digital-grid-interoperability-under-test>
- García Córdoba, F. (2004). *El cuestionario: recomendaciones metodológicas para el diseño de cuestionarios.* Limusa.
- Gartner (2001). *Big data.* Gartner. <https://www.gartner.com/it-glossary/big-data/>
- International Energy Agency, IEA (2018). *World energy outlook 2018.* IEA <http://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>
- Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, IDEAM (2020). *Fenómenos El Niño y La Niña.* <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima/fenomenos-el-nino-y-la-nina>
- Ministerio de Minas y Energía (2018). *Resolución 40790, de 31 de julio de 2018, por la cual se adopta el plan de expansión de referencia generación - transmisión 2017 - 2031.* Ministerio de Minas y Energía. <https://www.minenergia.gov.co/planes-de-expansion-generacion-transmision>

- Mitra, R. (2019, febrero). *Complete guide to big data and blockchain*. Blockgeeks.
<https://blockgeeks.com/guides/big-data-and-blockchain/>
- Organización de las Naciones Unidas, ONU (1992). *Convención marco sobre el cambio climático*. ONU.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/convencion-marco-de-naciones-unidas>
- Organización de las Naciones Unidas, ONU (2016). *Acuerdo de París*. ONU.
https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Perry, J. S. (2017, 22 de mayo). *What is big data? More than volume, velocity and variety...* IBM. <https://developer.ibm.com/dwblog/2017/what-is-big-data-insight/>
- Presidencia de la República (2014). *Decreto 2492, de 3 de diciembre de 2014, por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda*. Presidencia de la República.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=60174>
- Presidencia de la República (2019, 2 de mayo). *La Misión para la Transformación Energética va a permitir adaptar mejor al país a los riesgos hidroclimáticos que nos afectan y tener confiabilidad asegurada de manera permanente: Presidente Duque*. Presidencia de la República.
<https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2019/190502-Mision-Transformacion-Energetica-permitir-adaptar-mejor-pais-riesgos-hidroclimaticos-afectan-confiabilidad.aspx>
- Proexport Colombia (2010, 22 de junio). *Sector eléctrico*.
https://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/273_Sector%20Eléctrico%202010-06-22.pdf
- Quintero Montaña, C. (2013). *Modelos de mercado, regulación económica y tarifas del sector eléctrico en América Latina y el Caribe - Colombia*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). <http://www.olade.org/wp-content/uploads/2015/08/Informe-final-COLOMBIA.pdf>

- Sánchez Galán, J. (2019, 7 de mayo). *Transparencia de mercado*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/transparencia-de-mercado.html>
- Solé, C. (2019, junio). *Las redes de electricidad como palanca de la transición energética*. KPMG Tendencias. <https://www.tendencias.kpmg.es/2019/06/las-redes-de-electricidad-como-palanca-de-la-transicion-energetica/>
- Superintendencia de Servicio Públicos Domiciliarios, SSPD (1997). *Resolución 001417, de 18 de abril de 1997, por la cual la Superintendencia adopta el Sistema Unificado de Costos y Gastos para prestadores de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía y gas combustible*. http://basedoc.superservicios.gov.co/BROKEN/basedoc/docs/resoluciones/r_spd_1417_1997.html#1
- Sistema Único de Información, SUI (2019). *Reportes financieros prestadores del servicio público de energía eléctrica*. <http://www.sui.gov.co/web/energia>
- Varela Romero, B. (2019, 29 de marzo). *Sistemas de compraventa de energía "peer-to-peer" sobre blockchain para microrredes eléctricas y energía distribuida*. LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/sistemas-de-compraventa-energ%C3%ADa-peer-to-peer-sobre-y-varela-romero/>
- Vélez Álvarez, L. G. (2011, 6 de septiembre). *Breve historia del sector eléctrico colombiano*. Luis Guillermo Vélez Álvarez. <http://luisguillermovelezalvarez.blogspot.com/2011/09/breve-historia-del-sector-electrico.html>
- Vodafone (2018, 23 de enero). *Big data: desde los inicios hasta hoy*. Ideas para tu empresa. <https://ideasparatuempresa.vodafone.es/big-data-desde-los-inicios-hoy/>
- XM S. A. (2019). *Gestión de los mercados con múltiples energéticos*. XM S. A. https://www.energycolombia.org/wp-content/uploads/Gestiondelosmercados_XM.pdf