



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estrategias de adaptación de las empresas de servicio público de energía eléctrica en Colombia ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos

Adaptation strategies of the electric power utility companies in Colombia in light of the incorporation of distributed energy resources

Mayercy Judith Moreno Uparela

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

Estrategias de adaptación de las empresas de servicio público de energía eléctrica en Colombia ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos

Adaptation strategies of the electric power utility companies in Colombia in light of the incorporation of distributed energy resources

Mayercy Judith Moreno Uparela

Trabajo Final presentado como requisito parcial para obtener el título de:

Magister en Ingeniería – Sistemas energéticos

Director:

Carlos Jaime Franco Cardona

Codirector:

Francisco Javier Serna Álzate

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

Estrategias de adaptación de las empresas de servicio público de energía eléctrica en Colombia ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos

Resumen

La transición energética que afronta el sector eléctrico colombiano busca responder a las necesidades actuales del mercado, en donde las tendencias tecnológicas juegan un papel fundamental en el desarrollo del sector. Esta transición trae consigo una serie de cambios que impactan los modelos de negocios actuales de los diferentes actores del sistema.

Dentro de las múltiples tendencias tecnológicas que se vienen desarrollando e incorporando en el sistema eléctrico están las relacionadas con los Recursos Energéticos Distribuidos – DERs en materia de almacenamiento, eficiencia energética, respuesta a la demanda, etc., las cuales están haciendo que las empresas se transformen en la forma tradicional en que estas operan e impulsan el desarrollo de nuevos modelos de negocios.

Estos cambios generan impactos dentro de las empresas, por tanto, es importante conocerlos con el fin de identificar mecanismos de adaptación. Por lo tanto, se reconoce entonces que el análisis de la adaptación de las empresas de servicio público de energía eléctrica en Colombia ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos contribuye a la identificación de estrategias que conllevan a este tipo de empresas a permanecer en el mercado y a incorporar avances tecnológicos en el sector eléctrico. Para alcanzar el objetivo propuesto en este trabajo se desarrollaron tres fases correspondientes a: (a) Caracterización de la estructura actual del sector eléctrico colombiano; (b) Identificación de tendencias y desafíos a nivel internacional y nacional, específicamente en recursos energéticos distribuidos, y finalmente, (c) Análisis de los impactos identificados y propuesta de diferentes estrategias que pueden adaptarse al sector energético colombiano, donde se identificó que la actualización o transformación del marco regulatorio colombiano es el principal factor viabilizador para la implementación de las nuevas tendencias tecnológicas.

En consecuencia, este cambio urge realizarlo de manera rápida y aprovechar el dinamismo de las tecnologías disponibles.

Palabras Clave

Sector eléctrico, tendencias tecnológicas, modelos de negocio, recursos energéticos distribuidos, estrategias de adaptación.

Abstract

The energy transition, currently taking place in the Colombian electricity sector, seeks to respond to the current needs of the market, where technological trends are expected to play an essential role in the development of the sector. This transition entails a set of changes that impact the current business models of each actor in the system.

Within the multiple technological trends incorporated into the electrical system are those related to Distributed Energy Resources - DER, which include aspects such as storage, energy efficiency, response to demand, among others. As a result, these tendencies are causing companies to transform the traditional way they operate and hence, promote the development of new commercial or business models.

The energy transition, currently taking place in the Colombian electricity sector, seeks to respond to the current needs of the market, where technological trends are expected to play an essential role in the development of the sector. This transition entails a set of changes that impact the current business models of each actor in the system.

Within the multiple technological trends incorporated into the electrical system are those related to Distributed Energy Resources - DER, which include aspects such as storage, energy efficiency, response to demand, among others. As a result, these tendencies are causing companies to transform the traditional way they operate and hence, promote the development of new business models.

These changes generate significant impacts inside the companies, for this reason it is important to know them in order to identify adaptation mechanisms for the organizations facing them. Therefore, through this work it is acknowledged the contribution of the analysis of the adaptation process of the public electric power service companies in Colombia in the identification of strategies, which are helping these companies to stay in the market and incorporate technological developments in the energy sector. In order to achieve the objective proposed in the present study, the following three phases were developed: (a) Characterization of the current structure of the Colombian electricity sector; (b) Identification of trends and challenges at the international and national level, specifically in distributed energy resources, and (c) Analysis of the identified impacts and proposal of strategies that can be adapted to the Colombian energy sector, which contributed to identify that the update or transformation of the Colombian regulatory framework is the main enabler factor for the implementation of new technological trends. In consequence, this change urges to promptly be carried out in the short term and take advantage of the dynamism of technologies available.

Keywords

Electricity sector, technological trends, business models, distributed energy resources, adaptation strategies.

Tabla de contenido

Resumen	3
Palabras Clave	3
Abstract.....	4
Keywords.....	4
Tabla de contenido	5
Introducción.....	8
1 Antecedentes	10
2 Marco teórico.....	12
3 Revisión de literatura.....	19
3.1 Tendencias para la transformación de los sistemas energéticos	19
3.2 Retos en los eslabones de la cadena de valor del sector eléctrico.....	23
4 Objetivos	26
4.1 Objetivo General	26
4.2 Objetivos Específicos.....	26
5 Metodología.....	27
5.1 Captura de la información	27
5.2 Presentación de la información	29
5.2.1 Fase 1 - Caracterización el sector eléctrico.....	29
5.2.2 Fase 2 - Tendencias tecnológicas y desafíos del sector eléctrico	45
5.2.3 Fase 3 - Impactos de la incorporación de los recursos energéticos distribuidos	61
5.2.4 Consolidación y análisis de la información	62
6 Conclusiones y trabajos futuros.....	66
6.1 Conclusiones generales del trabajo final	66
6.2 Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos.....	67
6.2.1 Objetivo específico 1.....	67
6.2.2 Objetivo específico 2.....	67
6.2.3 Objetivo específico 3.....	67
6.2.4 Objetivo general.....	68
6.3 Trabajos futuros.....	68
7 Referencias.....	69

Lista de Tablas

Tabla 1: Desafíos y paradigmas del sector eléctrico colombiano	21
Tabla 2: Organismos que intervienen en el funcionamiento del sector Eléctrico colombiano	31
Tabla 3: Cobertura del Servicio de Energía Eléctrica por Departamento [%]	36
Tabla 4: Número de agentes por actividad.....	36
Tabla 5: Comportamiento de la demanda de energía Regulada y no regulada en 2018 y 2019.....	38
Tabla 6: Empresas trasmisoras	40
Tabla 7: Líneas de Transmisión del SIN	40
Tabla 8: Principales empresas distribuidoras de energía por regiones.	41
Tabla 9: Fuente de ingreso según tipo de agente.....	44
Tabla 10: Tendencias de recursos energéticos distribuidos	46
Tabla 11 Modelos de negocio en recursos distribuidos de electricidad.....	56
Tabla 12: Modelos de negocio relacionados con la generación distribuida.....	58

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Término
Acolgen	Asociación Colombiana de Generación de Energía Eléctrica
ASIC	Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales
CAC	Comité Asesor de Comercialización
CIER	Comisión de Integración Energética Regional
CNO	Concejo Nacional de Operación
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
DDV	Demanda Desconectable Voluntaria
DERs	Recursos Energéticos Distribuidos
ERNC	Energías renovables no convencionales
EY	Ernst and Young
FNCER	Fuentes no Convencionales de Energía Renovables
GEI	Gases de Efecto Invernadero
ICEE	Índice de Cobertura de Energía Eléctrica
IEA	Agencia Internacional de Energía
MEM	Mercado de Energía Mayorista
MME	Ministerio de Minas y Energía
Paratec	Parámetros Técnicos de Elementos del Sector Eléctrico Colombiano
OR	Operador de Red
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
STN	Sistema de Transmisión Nacional
TIE	Transacciones Internacionales de Energía
UPME	Unidad de Planeación Minero-Energética

INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector energético está enfrentando grandes desafíos debido a las tendencias tecnológicas que se vienen incorporando en la prestación del servicio de energía a causa del cambio climático. Un ejemplo de ello es el incremento de la energía renovable, como fue establecido en la Decimoctava edición del informe anual European Energy Markets Observatory (EEMO), en donde la incorporación de este tipo de energía ha desestabilizado los mercados mayoristas de electricidad afectándolos financieramente; por tanto, para que los servicios públicos no se vean impactados drásticamente requieren repensar rápidamente sus modelos de negocio teniendo como base la productividad, agilidad e innovación(Narayan, 2016).

En ese sentido, se ha identificado que los principales desafíos y paradigmas que está afrontando el servicio público eléctrico colombiano están relacionados con su estructura, en cuanto a las tendencia internacional de fuentes de suministro, competitividad de las Fuentes No Convencionales de Energía Renovables) (FNCER), conductas referentes a la consciencia ambiental, y desempeño en cuanto a la autonomía, descentralización y formas de prestar los servicios (Pérez González, 2018).

Se espera que estos cambios faciliten que el sistema y mercado eléctrico sea mucho más eficiente, resiliente y digital, para así poder dar respuesta a las exigencias del mercado las cuales se basan en una liberación del mercado y desintegración de la cadena de valor, lo que genera que la industria eléctrica se enfrente a una reducción de barreras de entrada, a mejorar la eficiencia operativa y a presentar una visión absoluta del desempeño y resultados en los mercados financieros.

Finalmente, para que las empresas puedan dar respuestas a dichos cambios y tendencias, deben desarrollar actividades enfocadas en la generación de servicios de valor añadido, expansión nacional e internacional, diversificación de producto, eficiencia en costos, optimización logística de las operaciones, economías de escala y excelencia en la selección de inversiones, entre otros.

Es por ello, que en este trabajo final de maestría se realiza primero una descripción de los antecedentes más relevantes que se han presentado en la industria de los servicios públicos eléctricos tanto nacional como internacional, en cuanto a su evolución o transformación para adaptarse a los nuevos retos energéticos. Segundo se desarrolla una descripción de los estudios que han desarrollado los entes reguladores, empresas que prestan este servicio, análisis científicos y/o literarios y empresas de consultorías que analizan el comportamiento del presente del sector con el fin de generar una visión y escenarios futuros que conlleven a la toma de decisiones y generación de los cambios necesarios en las empresas del sector eléctrico con el fin de alcanzar los retos a los que se enfrenta.

En tercer lugar se describe la metodología empleada en la búsqueda y descripción de la información lo que permitirá alcanzar los objetivos propuestos en este trabajo, desarrollando en total tres (3) Fases del trabajo: Fase 1 - caracterización del sector eléctrico en Colombia, permite tener un conocimiento general de la estructura actual del mercado eléctrico colombiano y las empresas de servicio público que la conforman; Fase 2- identificación de las tendencias tecnológicas y desafíos de las empresas del servicio público eléctrico a nivel internacional en base a un análisis de los Recursos Energéticos Distribuidos (DERs)

implementados por otros países; Fase 3 - identificación y análisis de los impactos de la incorporación de los DERs en las empresas distribuidoras del servicio público de energía. Como parte complementaria de la Fase 3, se realiza un consolidado y análisis de la información que permita identificar las estrategias de adaptación más convenientes para el sector eléctrico colombiano, según los nuevos retos y tendencias del sector eléctrico mundial.

En el final del documento se genera las conclusiones y recomendaciones que dan respuesta a los objetivos propuestos, donde se describen las estrategias o impactos que generan los DERs en el sector eléctrico colombiano, descripciones relevantes de las características del sector eléctrico en Colombia y los futuros estudios o análisis que se deben desarrollar con el fin de lograr un árbol de toma de decisiones y/o posibles proyectos a poner en marcha para lograr los cambios y alcanzar los retos que presenta el sector.

1 ANTECEDENTES

Los sistemas energéticos son de gran importancia para la economía de cualquier país, ya que a través de ellos se genera, transmite y consume energía, impactando de esta manera la productividad y competitividad de las empresas y de los países.

Las Naciones Unidas consideran que casi todos los grandes desafíos y oportunidades a los que se enfrenta el mundo actualmente están relacionados con la energía: empleo, seguridad, cambio climático, producción de alimentos, aumento de los ingresos, etc. por tanto, el acceso universal a la energía es esencial para el desarrollo sostenible (Batlle, 2014). En los últimos años, estos grandes desafíos y oportunidades a los que se enfrenta el mundo han hecho que los sistemas energéticos tengan cambios importantes que han llevado a la diversificación de la canasta energética.

Se espera que a nivel mundial el consumo de energía aumente rápidamente, es por ello que se requiere de la implementación de acciones que permitan mejorar el suministro de electricidad (BID, B. I, 2014). Esta situación está facilitando la incorporación de energías y tecnologías más limpias, así como un mejor uso de estas. En el mundo, se presenta la expectativa que estos cambios sigan en aumento, es por ello que Colombia debe prepararse para afrontar este nuevo panorama, el cual debe iniciar con las modificaciones de las funciones de sus agentes, la inclusión de nuevos actores y agentes, transformación en los roles de las empresas, nuevos modelos de negocio, actualizaciones en la regulación, entre otros.

En los objetivos transversales que se tienen para el sector energético, se ha considerado a Colombia como un país que cuenta con recursos energéticos estratégicos que pueden utilizarse para jalonar su desarrollo, por tanto, se considera que en el largo plazo, el sector debería contar con un modelo energético más flexible, que permita que los actores y el mercado interactúen, maximizando el bienestar social y desarrollo del país (UPME, 2015). Además, se debe tener en cuenta que no es suficiente solo con disponer y desarrollar diversas fuentes energéticas para apalancar el progreso económico del país, (BID, B. I, 2014); sino, que se debe contar con un marco institucional, legal, económico y regulatorio que proporcione señales claras y estables para orientar esfuerzos públicos y privados, facilitando la participación de los diferentes actores y agentes claves del sistema. De igual forma, se debe tener en cuenta que el desarrollo sostenible exige esfuerzos conjuntos para aunar capacidades y recursos que ayuden a construir un futuro resiliente para las personas y el planeta (ONU, 2018).

Por otra parte, el sistema energético actual de Colombia enfrenta desafíos estructurales para cumplir con las exigencias del país y avanzar en su desarrollo, para ello está considerando las tendencias políticas, económicas y regulatorias (Romero, 2009). Esta situación ha generado preocupaciones por la seguridad del suministro energético, por reducir los impactos sobre el medio ambiente, mejorar las condiciones de adaptabilidad al cambio climático, entre otras (UPME, 2015a); es por ello que se hace necesario conocer los impactos que estos desafíos y tendencias podrían generar en el sector eléctrico Colombiano y con ello identificar estrategias y/o acciones claras que faciliten y potencialicen la sostenibilidad energética nacional.

Dentro del modelo de funcionamiento del mercado energético actual de Colombia, se busca que las empresas inviertan en más redes y optimicen sus procesos, por lo tanto, una de las alternativas para que las empresas puedan cumplir con dichas exigencias es por medio de inversiones, las cuales deben ser factibles y reconocidas en el entorno regulado, así se ha establecido en el marco regulatorio actual de colombiano.

Como punto de reflexión que le da soporte al contexto expuesto anteriormente se requiere dar respuesta a: *¿Cómo las empresas de servicios públicos de energía se están adaptando o se pueden adaptar a las tendencias tecnológicas que afronta el sector eléctrico a nivel mundial, específicamente desde las tecnologías relacionadas con los recursos energéticos distribuidos?* Al resolver estos interrogantes se puede identificar además de las tecnologías, los impactos y estrategias que contribuyen directa e indirectamente a la adaptación de cambios que el sector eléctrico colombiano necesita.

La situación expuesta anteriormente se ha considerado como una de las razones por la que el gobierno busca maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del país, por tanto, las empresas deben prepararse para afrontarlo de la mejor manera sin afectar negativamente su sostenibilidad, por ello la importancia de realizar un estudio que permita identificar los impactos generados por la puesta en marcha de los Recursos Energéticos Distribuidos (DERS), que permitan identificar o evaluar posibles estrategias a implementar por parte de empresas del sector eléctrico colombiano para que continúen siendo rentables y prestadoras de este servicio, bajo los nuevos retos y tendencias de sostenibilidad que el mundo en la actualidad exige.

Para alcanzar lo anterior, es necesario desarrollar una visión general de las tendencias tecnológicas que se vienen implementando en el mundo en cuanto a las nuevas dinámicas del mercado, con el fin de obtener la sostenibilidad de las empresas de servicio público eléctrico en el tiempo. Así mismo, es pertinente conocer el rol que deberán cumplir los entes reguladores y estado en general para definir reglas de juego claras que permitan encarrilar y exigir a las empresas la implementación de estas nuevas tecnologías con el fin de cumplir los nuevos desafíos, dentro de los cuales se encuentra el abastecimiento de la demanda del recurso energético por parte de los usuarios el cual viene en aumento.

2 MARCO TEÓRICO

Con el fin de dar solución al problema planteado relacionado a la implementación de las tendencias y retos mundiales en los servicios públicos del sector eléctrico en Colombia, se hace necesario conocer las nuevas dinámicas de mercados, las tendencias tecnológicas y los roles que juegan los diferentes agentes (generador, transmisor, distribuidor y comercializador) sin afectar su sostenibilidad financiera. En diferentes estudios se ha identificado que las redes son un elemento clave en la transición energética y se enfrentan a retos importantes como: el crecimiento en renovables, grandes inversiones, operación del sistema más compleja para garantizar la seguridad de suministro y mecanismos de actuación como interconexiones, almacenamiento y gestión de la demanda.

En un futuro cercano se espera que el número de actores en el mercado energético aumente considerablemente o se transforme (Vanegas López & Cataño Rojas, 2012), por lo tanto las empresas deben prepararse para afrontar los cambios que traiga consigo la incorporación de nuevas tecnologías en la prestación de sus servicios (Figura 1).

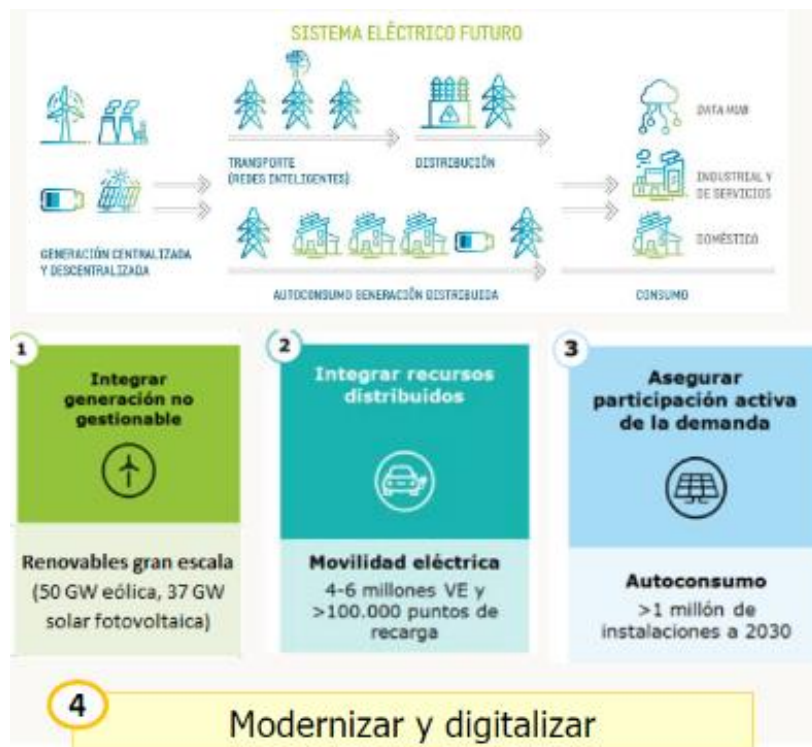


Figura 1: Sistema eléctrico del futuro
 Fuente: Tomado de (Gutiérrez Zapico, 2019)

En la actualidad se han identificado algunas tecnologías que impactan el negocio del sector energético como son: medición avanzada, generación distribuida, respuesta a la demanda, almacenamiento de energía, vehículos eléctricos, red digital; y estas tecnologías son las que están haciendo que las empresas

del sector eléctrico se vean impulsadas a cambiar la forma tradicional en la que manejan sus procesos y prestan sus servicios (Figura 2).



Figura 2: Tendencias tecnológicas del sector eléctrico

Fuente: Tomado de (CIDET, 2019)

Las tendencias tecnológicas definidas en la Figura 2 están haciendo que los usuarios sean más activos, tal es el caso del uso de los recursos energéticos distribuidos, el cual está propiciando que el usuario se convierta en autogenerador, en donde este puede tomar la decisión de actuar como respaldo a la red eléctrica con el fin de mantener la calidad en el servicio de energía. Se considera como autogenerador a aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del Sistema Interconectado Nacional (SIN), y puede o no, ser el propietario del sistema de generación (CREG, 1998)

Los autogeneradores que generan excedentes se les permite inyectar energía a la red eléctrica, destacándose que esta situación para un usuario autogenerador es muy buena, pero para las operadoras de red no lo es tanto, dado que el usuario está utilizando la red para almacenar la energía, cuyo proceso de precio y venta se encuentra regulado en Colombia por medio de la Resolución 30 del 26/02/2018 “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional” (CREG, 2018). Se aclara que la autogeneración también trae beneficios para los operadores de la red, aunque no se discute que se genera una mayor complejidad en las redes.

Esta es una de las muchas situaciones que hace que disminuyan los ingresos para los operadores de red, incluso para el sistema, generando que las empresas prestadoras del servicio disminuyan sus utilidades. Esto se da por el tipo de la metodología de la remuneración de la distribución, particularmente en modelos de asignación de costos en función de la demanda generando retos adicionales no solo para los inversionistas (posibles menores ingresos) sino para los usuarios que solo puedan hacer uso de la red (posible aumento de los cargos de distribución). Ante estos desafíos, las empresas de servicios públicos de energía en Colombia están viendo la necesidad de realizar acciones que les permitan seguir siendo sostenibles a pesar de los cambios tecnológicos.

Es de aclarar que actualmente gran parte de los ingresos que captan estas empresas del sector eléctrico son regulados, sin embargo, esto ingresos pueden cambiar debido a la entrada de nuevas tecnologías.

Esta situación se está convirtiendo en un nuevo desafío para dichas empresas, las cuales si no toman acciones contundentes pueden desaparecer o disminuir sus ingresos, afectando su sostenibilidad.

Dentro de los desafíos implementados en el sector político o de regulación energética en Colombia se destacan:

- La Ley 1844 del 2017 *“Por medio de la cual se aprueba el Acuerdo de París, adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia”* (Congreso de la república, 2017)
- La Ley 1715 del 2014 *“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional”*(Congreso de la república, 2014)
- El Decreto 2492 del 2014 *“Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuestas de la demanda”* (MME, 2014b)
- El Decreto 2469 de 2014 *“Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración”* (MME, 2014a)
- El Decreto 1073 del 2015 *“Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía”*(MME, 2015)
- El Decreto 348 del 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”* (MME, 2017)
- La Resolución 40072 del 2018 del Ministerio de Minas y Energía - MME *“Por medio de la cual se establecen los mecanismos para implementar la infraestructura de medición avanzada en el servicio público de energía eléctrica”* (MME, 2018)Esta resolución fue modificada por las resoluciones 40483 del 2019 y 40142 de 2020.La Resolución 281 del 2015 de la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME *“Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala”* (UPME, 2015b).
- La Resolución 24 del 2015 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG *“Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectada nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones”*(CREG, 2015b)

En materia empresarial las acciones implementadas se basan en la generación de mayores inversiones en la infraestructura, gestión social y desarrollo de talleres de análisis de los modelos de negocio e implementación de las DERS, como por ejemplo la iniciativa Grid Edge Transformación Colombia, dentro de la cual se acordó que el futuro del sistema eléctrico colombiano debía ser descentralizado y digitalizado, así como también debería garantizar flexibilidad y confiabilidad, brindar soluciones portátiles y otorgar acceso a servicios multiproducto (MinMinas et al., 2017).

La Agencia Internacional de la Energía (IEA), en su estudio World Energy Outlook de 2019 estableció que el mundo energético está marcado por una serie de profundas disparidades. Las fuentes bajas en carbono, lideradas por la energía solar fotovoltaica (PV), suministran más de la mitad de este crecimiento, y el gas natural, impulsado por el aumento del comercio de gas natural licuado (GNL), representa otro tercio. La demanda de petróleo se aplanan en la década de 2030 y los bordes de uso del carbón disminuyen. Algunas partes del sector energético, lideradas por la electricidad, experimentan transformaciones rápidas.

Algunos países, especialmente aquellos con aspiraciones de "cero neto", llegan lejos en la remodelación de todos los aspectos de su oferta y consumo. Sin embargo, el impulso detrás de las tecnologías de energía limpia no es suficiente para compensar los efectos de una economía global en expansión y una población en crecimiento. El aumento de las emisiones se ralentiza pero, sin un pico antes de 2040, el mundo no alcanza los objetivos de sostenibilidad compartidos (IEA, 2019).

El Escenario de Desarrollo Sostenible traza una forma de alcanzar los objetivos de energía sostenible en su totalidad, que requiere cambios rápidos y generalizados en todas las partes del sistema energético. Este escenario traza un camino totalmente alineado con el Acuerdo de París al mantener el aumento de las temperaturas globales en "muy por debajo de 2°C y perseguir esfuerzos para limitarlo a 1,5 ° C", y cumple con los objetivos relacionados con el acceso universal a la energía y la limpieza aire. La amplitud de las necesidades energéticas del mundo significa que no hay soluciones simples o únicas. Se logran recortes bruscos de emisiones en todos los ámbitos gracias a múltiples combustibles y tecnologías que proporcionan servicios de energías eficientes y rentables para todos (IEA, 2019).

Las reducciones de costos en energías renovables y los avances en tecnologías digitales están abriendo enormes oportunidades para las transiciones de energía, al tiempo que crean nuevos dilemas de seguridad energética. La energía eólica y la energía solar fotovoltaica proporcionan más de la mitad de la generación de electricidad adicional hasta 2040 en el Escenario de políticas establecidas y casi todo el crecimiento en el Escenario de desarrollo sostenible. Los formuladores de políticas y los reguladores tendrán que moverse rápido para mantenerse al día con el ritmo del cambio tecnológico y la creciente necesidad de una operación flexible de los sistemas de energía. Cuestiones como el diseño del mercado para el almacenamiento, la interfaz entre los vehículos eléctricos y la red y la privacidad de los datos tienen el potencial de exponer a los consumidores a nuevos riesgos (IEA, 2019).

La expansión de la generación a partir de la energía eólica y solar fotovoltaica ayuda a las energías renovables a superar el carbón en la combinación de generación de energía a mediados de la década de 2020. Para 2040, las fuentes bajas en carbono proporcionan más de la mitad de la generación total de electricidad. La energía eólica y la energía solar fotovoltaica son las estrellas, pero la energía hidroeléctrica (15% de la generación total en 2040) y la nuclear (8%) retienen las principales acciones (Figura 3) (IEA, 2019).

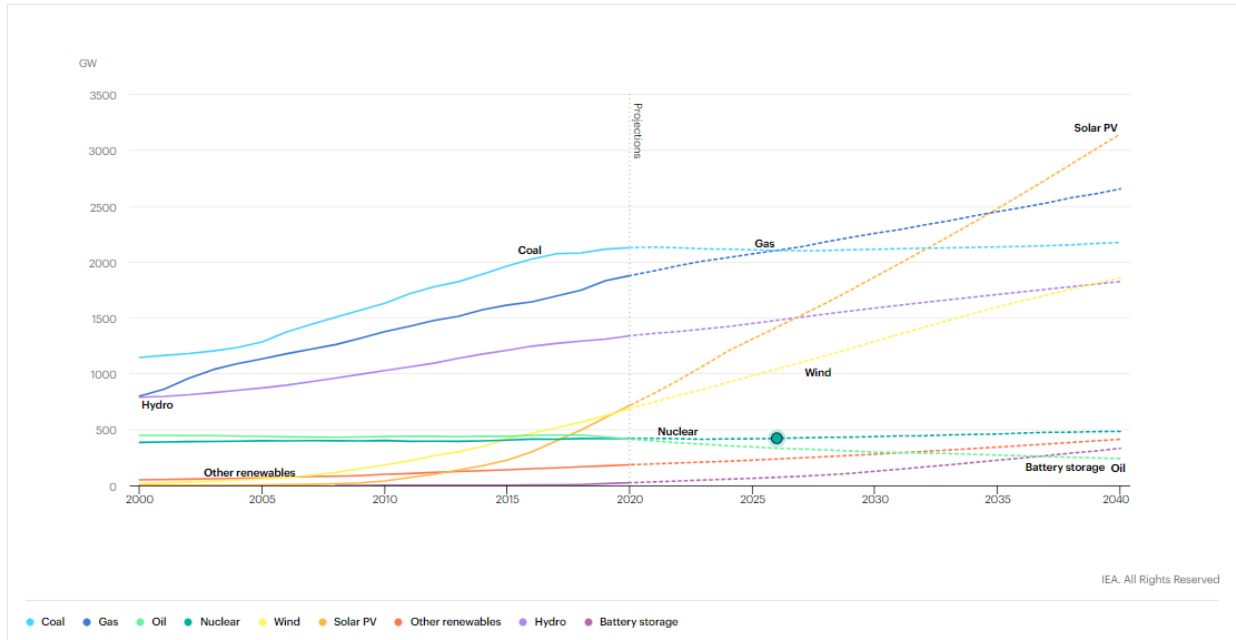


Figura 3: Capacidad de generación de energía instalada por fuente en el Escenario de Políticas Declaradas, 2000-2040

Fuente: Tomado de (IEA, 2019)

Otro de los desafíos a los que se enfrentan las empresas del sector eléctrico colombiano, en especial las de servicio público son: cumplimiento de la normatividad cambios de comportamientos en los usuarios, más restricciones por uso del suelo, menos espacios en las ciudades, cambio climático (situaciones climáticas extremas), marco regulatorio inestable (en proceso de cambio), optimización de recursos, etc.

Una de las referencias importantes en el tema de regularización del sector eléctrico fue la debatida en el Foro Económico Mundial (WEF por sus siglas en inglés), donde se han identificado tres tendencias principales que han venido transformando los sistemas energéticos: Descentralización, Digitalización y Electrificación (Bain & Company, 2018). Para acelerar el desarrollo de estas tendencias, el Foro Económico Mundial en cooperación con los sectores público y privado han desarrollado una serie de perspectivas y buenas prácticas, como lo es el desarrollo de un marco general que brinda lineamientos para diseñar políticas, modelos de negocio, desarrollo de infraestructura y un marco complementario para el transporte en las ciudades en combinación con tecnología y patrones de movilidad (Bain & Company, 2018).

A nivel mundial, el sector eléctrico está pasando por una transición energética, unos países llevan mayores avances que otros, sin embargo, se están desarrollando acciones con el fin de acelerarlos de una manera asequible, fiable y sostenible. Se ha comenzado a invertir en recursos energéticos renovables, dando prioridad a las prácticas energéticas de alto rendimiento, así como se han adoptado tecnologías e infraestructuras de energía no contaminante (ONU, 2016). Esta transición contribuye con el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, facilita el aumento de las energías renovables, el almacenamiento de

energía y la respuesta a la demanda, lo que a su vez puede verse reflejado en el aumento de la flexibilidad de la red (Zangrandi, 2019).

En los países latinoamericanos también se vienen presentando una serie de cambios relacionados con el suministro y consumo de energía eléctrica, entre ellos se encuentra la inminente integración del sector eléctrico tradicional (centralizado) con la entrada de sistemas de generación distribuida. Esta entrada trae consigo cambios en la operación, confiabilidad, calidad del servicio y participación activa del cliente final, por lo que se hace necesario contar con nuevos modelos de negocio (Batlle, 2014). Todos estos cambios afectan la cadena de valor de la prestación del servicio de energía desde los proveedores de insumos hasta las empresas prestadoras del servicio final, de igual forma se identifica que estos cambios propiciarán la entrada de nuevos participantes en el mercado.

Por otra parte, los cambios en las fuentes de generación eléctrica buscan mitigar los efectos del cambio climático y la lucha por la sostenibilidad del entorno. También se sabe que el uso de energía primaria en América Latina y el Caribe (LAC) continuará aumentando durante las próximas décadas, y se estima que el crecimiento de las necesidades eléctricas regionales a 2040 será en promedio del 91,2%, ésta situación se observa en la Figura 4 (Balza et al., 2016).

Necesidades eléctricas al 2040 (TWh)				
PAÍS	2013	2040	CRECIMIENTO	TCPA*
Argentina	139	213	52.7%	1.6%
Brasil	570	1120	96.4%	2.5%
Chile	73	175	139.5%	3.3%
Colombia	65	159	145.8%	3.4%
México	297	556	87.2%	2.3%
Venezuela	118	191	61.4%	1.8%
Otros	290	556	91.7%	2.4%
LAC	1553	2970	91.2%	2.4%

Fuente: Cálculos de los autores
* Tasa de Crecimiento Promedio Anual

Figura 4: Necesidades eléctricas al 2040. Países LAC

Fuente: Tomado de (Balza et al., 2016)

En el análisis de este capítulo se puede decir que el sector eléctrico a nivel mundial enfrenta un gran reto relacionado con la atención de la demanda, es por ello que se deben ejecutar en el corto y mediano plazo la actualización de la regulación y generar las condiciones para incentivar el desarrollo tecnológico

Para el caso colombiano, se puede concluir que el sector eléctrico se encuentra ampliamente regulado, sin embargo el dinamismo de esta regulación no se encuentra desarrollándose a la misma velocidad con la que se generan o exigen las tendencias tecnológicas a nivel mundial, argumento que es respaldado por

la IEA en su estudio World Energy Outlook de 2019, convirtiéndose tal vez esta falta de dinamismo en un limitante para el desarrollo de estas tecnologías por parte de las empresas prestadoras del servicio eléctrico en Colombia. Cabe destacar que la creación de la iniciativa Grid Edge Transformación Colombia es uno de los avances en materia técnica para lograr estas metas de sostenibilidad.

Una de las referencias importantes en el tema de regularización del sector eléctrico fue la debatida en el Foro Económico Mundial, cuyas tendencias principales para transformar los sistemas energéticos son la descentralización, digitalización y electrificación. Estas tendencias se vienen desarrollando en América Latina y el Caribe, sin embargo, debido a la falta de desarrollo e implementación de los DERs y nuevas tecnologías, se prevé un crecimiento promedio de energía a 2040 del 91,2% la cual será suplida con un aumento también en el uso de energía primaria.

Debido a todos estos vacíos e interrogantes que se generan en el ámbito colombiano y latinoamericano en cuanto a la forma de encarar el aumento de la demanda del servicio eléctrico y la visión de sostenibilidad que la generación de este recurso proyecta, se hace necesario la búsqueda de información relacionada con las tendencias tecnológicas que los países desarrollados han implementado para la transformación de sus sistemas energéticos, así como también los retos y desafíos a los cuales se enfrentaron para alcanzar esta transformación y que por ende Colombia debe enfrentar.

En el contexto colombiano, la distribución es la actividad de transportar energía eléctrica a través de una red a voltajes inferiores a 220 kV, bien sea que esa actividad se desarrolle en forma exclusiva o combinada con otras actividades del sector eléctrico cualquiera de ellas sea la actividad principal. (CREG, 1996) (CREG, 1999). Sin embargo, se aclara que el término distribuidor que se utilizará en este trabajo se refiere a la integración de las empresas de servicios públicos de energía que tienen y prestan el servicio de redes a baja tensión, así como a aquellas que se involucran con la atención de la demanda de usuarios finales.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Tendencias para la transformación de los sistemas energéticos

Según el Foro Económico Mundial se han identificado tres tendencias principales que han venido transformando los sistemas energéticos: descentralización, digitalización y electrificación (Bain & Company, 2018). Esto ha generado que se presente una evolución rápida de tecnologías, modelos de negocio innovadores y ha auspiciado el desarrollo o modificación de las regulaciones del sector energético a nivel mundial.

En el desarrollo de estas tendencias, el Foro Económico Mundial en cooperación con los sectores público y privado han desarrollado una serie de perspectivas y buenas prácticas como lo es (Bain & Company, 2018):

- Un marco general de directrices para diseñar políticas, modelos de negocio y desarrollo de infraestructura en el contexto de la transformación de los servicios eléctricos:
 - **Política:** Cambia las reglas del juego rediseñando el paradigma regulatorio, avanzando y reformando la regulación para permitir nuevas funciones en la distribución de electricidad realizada por los operadores de red, generando una innovación e integración completa de DERs.
 - **Infraestructura:** Asegure el despliegue oportuno de la infraestructura para habilitar nuevos modelos de negocio y la sistematización energética en el futuro.
 - **Clientes:** Redefinir la experiencia del cliente, incorporando la nueva realidad de un sistema de electricidad digital, personalizado, potencializado e interactivo.
 - **Modelos de negocio:** adoptar nuevos modelos de negocio para activar nuevas fuentes de ingresos de innovadores servicios de distribución y venta minorista.
- Un marco complementario de recomendaciones para impulsar la electrificación del transporte en las ciudades, en combinación con tecnologías de vanguardia y nuevos patrones de movilidad:
 - **Tomar un multiactor y especificar un enfoque del mercado:** Las industrias de energía, movilidad e infraestructura junto con formuladores de políticas, reguladores y los planificadores urbanos pueden definir colectivamente un nuevo paradigma. El paradigma iría más allá de la división de la industria de hoy y llamaría la realización de un análisis complementario municipal, regional y nacional de las políticas.
 - **Priorizar los vehículos de alto uso:** Concentrarse en la electrificación de flotas, y completar la electrificación del sistema de transporte público, al tiempo que permite la integración de vehículos autónomos.
 - **Implemente la infraestructura de carga crítica anticipando la transformación de la movilidad:** Se basa en fomentar la interoperabilidad, priorizar los centros de carga integrados con el borde de la red de tecnologías y carga inteligente, y desarrollar una experiencia digital de los clientes de extremo a extremo.

Así mismo, dentro de los desafíos que ha venido desarrollando Europa para la transición energética se encuentra la implementación de infraestructura eléctrica como una de las estrategias prioritarias para alcanzar la neutralidad de carbono en el año 2050. Esta estrategia implica cambios como (ONU, 2016):

- Pasar de redes físicas a las digitales.
- Realizar inversiones en redes inteligentes, digitalización y tecnologías de telecomunicaciones.
- Los consumidores están pasando de ser pasivos a clientes inteligentes. Esto se debe a las nuevas tecnologías, al mercado, a estímulos sociales y ambientales.

Es de resaltar que en Europa cuando se diseñaron las redes de distribución, estas no fueron pensadas en la nueva tecnología, sin embargo, en el nuevo modelo energético son valoradas como un gran activo. Cabe mencionar que además de la estrategia anteriormente mencionada, en esta zona se han desarrollado pilotos de nuevos servicios y se han venido implementando millones de Smart Metering (Medidores inteligentes) (ONU, 2016).

En el caso de Brasil, algunas empresas han optado por el desarrollo de “actividades accesorias”, tal es el caso de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica - ANEEL, que busca capturar ingresos de forma diferente a las tradicionales, proporcionando tarifas módicas, como lo son (Hardinge-Bailey de Amorim, 2019):

- Servicios de comunicación de datos
- Eficiencia del consumo de energía eléctrica
- Instalación de cogeneración calificada, etc.

Con este tipo de acciones ANEEL busca generar un equilibrio entre funciones de utilidad regulada y funciones competitivas, dado que hay nuevos participantes en el mercado (Hardinge-Bailey de Amorim, 2019).

Colombia no ha sido ajeno a estos procesos de transición energética, es por ello que se han implementado acciones tanto desde el gobierno nacional como desde las empresas prestadoras del servicio eléctrico, generando dinamismo en dicha transformación. Hoy día ya se tiene identificado de manera general los siguientes desafíos y paradigmas (Tabla 1) (Pérez, s. f.):

PARADIGMAS	DESAFÍOS
Mercado “establecido”,	De oligopolio a competencia
Demanda “cautiva”	Inversiones vs Salida del mercado
Flujo unidireccional de energía	De proveedor a consumidor
Flujo unidireccional de ingresos	Pérdida de “valor” de las redes
Inversión “protegida”	Escasez de fuentes convencionales

Tabla 1: Desafíos y paradigmas del sector eléctrico colombiano

Fuente: Adaptado de (Pérez, s. f.)

A continuación se relacionan algunas de las acciones que se han venido desarrollando para promover y hacer posible dicha transformación, desde las políticas públicas se han generado (Pérez, s. f.):

La Ley 1844 del 2017 “Por medio de la cual se aprueba el Acuerdo de París, adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París, Francia”, adoptado el 12 de diciembre de 2015 durante la COP 21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Congreso de la república, 2017):

- Esta ley ratifica la participación de Colombia en dicho acuerdo y el cumplimiento de los compromisos adquiridos, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% con respecto a las emisiones proyectadas para el año 2030.
- Se establece la promoción y apoyo a la implementación de proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable de mayor escala en el Sistema Interconectado Nacional.

El Decreto 2492 del 2014 “Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuestas de la demanda” (MME, 2014b).

- Creación de tarifas horarias y/o en actividades de transmisión y distribución, inclusión de criterios de respuesta de la demanda en planeación.
- Diseño mecanismos necesarios para que los usuarios voluntariamente puedan ofertar reducciones o desconexiones de demanda en el Mercado de Energía Mayorista – MEM.

El Decreto 348 del 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” (MME, 2017).

- Gestión eficiente de la energía, mediante lineamientos de política energética en materia de sistemas de medición.

La Resolución 40072 del 2018 del Ministerio de Minas y Energía - MME “Por medio de la cual se establecen los mecanismos para implementar la infraestructura de medición avanzada en el servicio público de energía eléctrica”(MME, 2018).

- Define los Objetivos, funcionalidades básicas, implementación, responsables, gradualidad, remuneración, interoperabilidad, seguimiento.

La Resolución 281 del 2015 de la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME “*Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala*”(UPME, 2015b).

- El límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala será de 1 MW, y corresponderá a la capacidad instalada.

La Resolución 24 del 2015 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG “*Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el sistema interconectada nacional (SIN) y se dictan otras disposiciones*” (CREG, 2015b).

- Las condiciones para la conexión el SIN del autogenerador a gran escala serán las contenidas en la Resolución CREG 106 del 2006.
- El contrato de conexión entre el transmisor o distribuidor y el autogenerador a gran escala se acordará libremente entre las partes.
- Definición de las condiciones de respaldo y suministro de energía (suministro de energía, cubrimiento del cargo por confiabilidad).
- Definición de las condiciones para los autogeneradores a gran escala que entregan excedentes.

Otras de las acciones que se están desarrollando son las relacionadas con la optimización de infraestructura, dado que los temas sociales, ambientales, etc, están requiriendo mayores inversiones en recursos que antes.

En Colombia algunas empresas han empezado a realizar inversiones en Generación Distribuida - GD, desarrollar programas de respuesta a la demanda, diversificación de su portafolio de negocio, tal es el caso de celsia (Llanos Beltran, 2019).



Figura 5: Diversificación del portafolio de Celsia.

Fuente: Tomado de (Llanos Beltran, 2019)

Así mismo se han venido generando diferentes espacios para abordar esta temática. Recientemente en un taller desarrollado por el COCIER con apoyo de Colombia Inteligente (COCIER SE-13/19, 2019) se identificó que los modelos de negocio soportados en recursos energéticos distribuidos tienen impacto sobre la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica y que la instalación masiva de los DER generaran impactos significativos en la calidad de la energía eléctrica, como la frecuencia, la cargabilidad y la regulación de tensión, generando necesidades de inversiones en el mantenimiento y expansión de la red (COCIER SE-13/19, 2019).

En diciembre de 2016 se lanzó la iniciativa Grid Edge Transformación Colombia con el fin de acelerar y modernizar el sistema eléctrico colombiano, utilizando las tecnologías como apalancador para resolver los desafíos que actualmente se tienen. Esta iniciativa fue liderada por el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y Colombia Inteligente, logrando identificar cuáles eran las acciones necesarias para implementar la visión del Sector Eléctrico Colombiano (MinMinas et al., 2017). En total se analizaron cuatro pilares de la transformación del Sistema Eléctrico en Colombia, acordándose que el futuro del sistema eléctrico colombiano debía ser descentralizado y digitalizado, garantizar flexibilidad, confiabilidad, brindar soluciones portátiles y otorgar acceso a servicios multiproducto. En este nuevo sistema se busca que los clientes sean informados, conscientes y participen activamente. Los resultados priorizados en esta iniciativa fueron (MinMinas et al., 2017) :

- **Nuevos modelos de negocio:** - Nuevos modelos de ingresos para promover la modernización de la red, innovación y desarrollo de nuevos roles de los actores del sistema eléctrico.
- **Implementación de tecnología:** Utilizar sistemas de medición inteligente para monitorear y mejorar la calidad de servicio, y administrar eficientemente activos como generación y almacenamiento descentralizados.
- **Movilidad eléctrica:** Acelera la velocidad de electrificación del transporte, a través de la promoción de la electrificación de flotas de vehículos e introducción de programas de financiación para el reciclaje.
- **Renovación y reposición de vehículos** de carga y pasajeros.
- **Micro-grids:** Desarrollar soluciones de micro-grids en áreas interconectadas.

En conclusión, todas estas nuevas situaciones que se están presentando impactan el funcionamiento tradicional de las actividades del sector eléctrico colombiano, por lo que se hace importante evaluar dicho impacto, esencialmente en las empresas prestadoras de servicios públicos eléctrico.

3.2 Retos en los eslabones de la cadena de valor del sector eléctrico

En un estudio realizado por la Cámara Colombiana de la Energía, se identifica los retos que presenta el sector eléctrico en cada uno de los segmentos de la cadena de valor (Balza et al., 2016):

- **Generación:** En este segmento se debe establecer la incorporación de Fuentes Renovables No Convencionales - FRNC en la matriz energética, teniendo en cuenta la revisión de los esquemas de contratación de energía a largo plazo, conexiones internacionales, desarrollo y aplicación de

nuevas tecnologías para generar y distribuir una energía más sostenible (Balza et al., 2016).

- **Distribución:** Se debe considerar el Smart Metering (Medidor inteligente) como el presente y futuro de la distribución y comercialización de energía, el Smart Grids (Red Eléctrica Inteligente), la entrega de servicio en Zonas No interconectadas con recursos tecnológicos de última generación entregando soluciones locales que integren los aspectos de generación, distribución y comercialización. Se destaca que los distribuidores son los llamados a liderar el despliegue de la infraestructura eléctrica (Balza et al., 2016).
- **Clientes:** Se debe considerar que los clientes desempeñarán un rol más activo como PROSUMERS (Productor y Consumidor), por tanto, se deben de diseñar mecanismos regulatorios que respondan a la evolución tecnológica y de los mercados (Balza et al., 2016).
- **Proveedores:** Se deben de establecer relaciones enmarcadas en criterios de sostenibilidad y valor compartido, desarrollar cultura organizacional y optimización operativa, establecer una relación de información y acompañamiento permanente que beneficie ambas partes propiciando una colaboración activa en el desarrollo de soluciones para abordar los retos que enfrenta el sector (Balza et al., 2016).

Adicionalmente, un estudio realizado por European Energy Markets Observatory (EEMO), en colaboración con I4CE y Vaasa ETT: “Los retos del mercado eléctrico empujan a las utilities a adaptar sus modelos de negocio a través de la innovación”, han identificado que las empresas del sector deben adaptarse a los cambios tecnológicos que están generando las nuevas tendencias, dado que (EEMO, 2016):

- Los precios de la energía renovable han continuado a la baja y es previsible que persista esa tendencia.
- Los mercados mayoristas de electricidad permanecen muy inestables y sus bajos precios representan un riesgo para la salud del sector, lo que debería acelerar su transformación para incrementar los flujos de ingresos rentables.
- La transición energética, está haciendo que emerjan nuevos modelos de generación descentralizada.

Analizar los efectos de la transformación tecnológica en las empresas ha sido uno de los grandes retos o casos de estudios para la comunidad académica, donde la puesta en marcha de las fuentes de energía renovables como la solar juega un papel importante en la cadena de negocio y distribución de energía. A través de simulaciones de la demanda y sujeto a la política actual en Colombia se llega a la conclusión de que la generación de energía solar en las viviendas son una alternativa para los servicios públicos, sin embargo pueden generar una amenaza para el agente de distribución en el largo plazo (Castaneda et al., 2017).

Un reto que enfrentan las empresas en el ámbito de la generación y comercialización de la energía es el denominado “efecto de orden de mérito” que ocurre cuando la mayoría de las energías renovables tienen costos variables bajos o insignificantes, desplazando así la generación de energía convencional, por lo tanto es necesario que la generación convencional desarrolle cambios en su modelo de negocio, con el fin de no perder la demanda con las energías renovables, y esto se puede lograr con servicios de generación altamente flexibles (Castaneda et al., 2017).

El negocio de servicios integrados es otro que recibe impactos dentro de la cadena, ya que como se dijo anteriormente, los consumidores o clientes además de reducir su demanda se convierten también en proveedores, generando una perturbación clara en la Generación Distribuida (DG) que implica una relación positiva / negativa, transformando y dinamizando los modelos económicos de costo y tarifa que al final se traducen en ciclos de refuerzos, evidenciando la denominada utilidad de la espiral de la muerte (Castaneda et al., 2017).

En conclusión, son tres las tendencias mundiales que están transformando los sistemas energéticos, estas son: descentralización, digitalización y electrificación, cuyo desarrollo ha desencadenado una serie de perspectivas y prácticas en el diseño de nuevas políticas. Estas políticas se centran en la adecuación de la infraestructura de las redes físicas y digitales, la cual es una de las estrategias implementadas en Europa; transformar el rol de clientes, haciendo que la participación de éstos sea más activa; desarrollar modelos de negocio como el Smart Metering; y finalmente desarrollar un marco complementario a los existentes con el fin de impulsar la electrificación del transporte en las ciudades.

En Colombia se han implementado acciones tanto desde el gobierno nacional como desde las empresas prestadoras del servicio eléctrico, generando dinamismo en dicha transformación y desafíos como pasar de un mercado de oligopolio a competencia, liberar parcialmente la demanda, pasar de consumidor a prosumidor, optimización de la infraestructura, inversiones en generación distribuida y espacios de discusión entre las empresas para enfrentar estos desafíos mundiales del sector como lo es Grid Edge Transformación Colombia. Se aclara que ésta fue un ejercicio focal para establecer las acciones de transformación a impulsar por los tomadores de decisión (MinMinas et al., 2017).

El escenario que caracteriza al sector energético colombiano, donde su fuente de generación eléctrica mayoritaria es a través de recursos renovables como las hidroeléctricas, posiciona a nuestro país dentro de un foco particular en vista de implementar las nuevas tendencias y retos mundiales que el sector energético enfrenta, es por ello que se hace necesario, como primera parte presentar una caracterización del funcionamiento del sector eléctrico en Colombia desde el punto de vista regulatorio, institucional y operacional, que permita visualizar o generar los posibles escenarios de transformación del sistema energético en cuanto a la descentralización, digitalización y electrificación.

Para lograr esto, se definirán en la segunda parte de este trabajo las tendencias tecnológicas y desafíos que enfrentan las empresas del servicio público de energía eléctrica en el mundo, enfocándose en las relacionadas con los recursos energéticos, con el fin de generar un análisis de los impactos de la incorporación de estas tecnologías en el modelo de negocio actual.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Proponer estrategias para la adaptación de las empresas prestadoras del servicio público de energía eléctrica ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos en Colombia.

4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el funcionamiento del sector eléctrico en Colombia desde el punto de vista regulatorio, institucional y operacional.
- Identificar las tendencias tecnológicas y desafíos que enfrentan las empresas del servicio público de energía eléctrica.
- Evaluar el impacto de la incorporación de los recursos energéticos distribuidos en el modelo de negocio de empresas prestadoras del servicio público de energía eléctrica.

5 METODOLOGÍA

La metodología implementada en la elaboración del presente documento se basó en la técnica de vigilancia tecnológica (OVTT, 2016), en el cual se realiza la recopilación de información bibliográfica de fuentes secundarias, como páginas web de las principales empresas de servicios públicos de energía a nivel internacional y nacional, informes y estudios realizados por los entes gubernamentales encargados de la vigilancia, control y análisis de la información del sector eléctrico como la UPME e informes y estudios de firmas consultoras en el tema que es objeto de estudio en éste trabajo. La estructura metodológica desarrollada para el logro del objetivo general y de cada uno de los objetivos específicos se evidencia en la Figura 6.

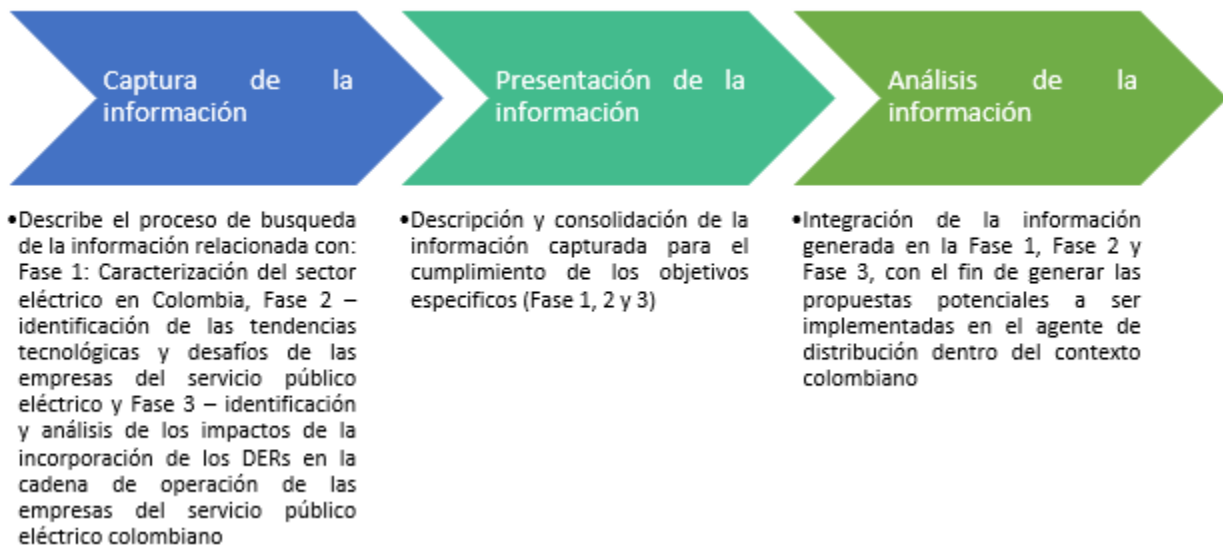


Figura 6: Esquema metodológico para el logro de los objetivos
Fuentes: Elaboración propia

5.1 Captura de la información

Para dar respuesta a cada uno de los objetivos propuestos, se procedió con la búsqueda de información y datos tanto a nivel internacional como nacional, para ello se usaron fuentes secundarias que permitieron la descripción y/o elaboración de los capítulos de antecedentes, marco teórico y revisión de literatura, con lo cual se logró validar la información inicialmente presentada en la propuesta de trabajo, consiguiendo así plantear y delimitar de manera clara la problemática a analizar en el desarrollo de este trabajo.

En cuanto a la búsqueda de la información específica para el cumplimiento del Objetivo 1 - *Caracterizar el funcionamiento del sector eléctrico en Colombia desde el punto de vista regulatorio, institucional y operacional*; se realizó un listado de los principales temas e instituciones a consultar. Posterior a ello se hizo una revisión bibliográfica en las páginas web de las principales instituciones que operan e intervienen en el funcionamiento del sector eléctrico colombiano, tales como la Comisión de Regulación de Energía y

Gas (CREG), Ministerio de Minas y Energía (MME), Super Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), Colombia Inteligente, XM, y de algunas empresas principales del sector.

Esta primera revisión estuvo enmarcada en los sitios web de empresas públicas principales del servicio eléctrico y organismos de planeamiento y regulación energética. Así mismo se realizó lectura del libro “Ocaso de un paradigma, hacia un nuevo modelo eléctrico”, editado por Isaac Dyner y Carlos Jaime Franco, del año 2018 (Dyner & Franco, 2018).

En la búsqueda de la información específica para lograr el cumplimiento de los Objetivo 2 - *Identificar las tendencias tecnológicas y desafíos que enfrentan las empresas del servicio público de energía eléctrica* y Objetivo 3 - *Evaluar el impacto de la incorporación de los recursos energéticos distribuidos en el modelo de negocio de las prestadoras del servicio público de energía eléctrica*, se realizó una línea base de la referencia internacional, identificando los países que en la actualidad se encuentran en la vanguardia de la implementación de recursos energéticos distribuidos y los desafíos que estos han presentado para la incorporación de las tendencias tecnológicas dentro del sector eléctrico. Con esta búsqueda fue posible conocer el panorama general de las principales tecnologías utilizadas para el desarrollo de los Recursos Energéticos Distribuidos (DERs) de los cuales se destaca la autogeneración, generación distribuida, almacenamiento de energía, respuesta de la demanda y cargas móviles; profundizando en las tendencias tecnológicas de generación distribuida.

Algunos de los países consultados se localizan en el continente de Europa donde se destaca España, Suecia, Noruega y Alemania, mientras que en el continente americano los países fueron Brasil, Estados Unidos y Chile. Así mismo, se analizaron estudios de firmas consultoras especialistas en el sector eléctrico como Ernst and Young (EY), Agencia Internacional de Energía (IEA), Comisión de Integración Energética Regional (CIER), entre otros.

En la medida que se encontraban las tendencias tecnológicas y las estrategias implementadas en cada uno de los países analizados, se realizaban búsquedas enfocadas en el impacto que estas generaron en el sector eléctrico de cada país, facilitando de esta manera la identificación de experiencias exitosas y no exitosas para replicar en Colombia, especialmente para los distribuidores.

Específicamente para el objetivo 3 “evaluar el impacto de la incorporación de los recursos energéticos distribuidos en el modelo de negocio de las prestadoras del servicio público de energía eléctrica”, la recopilación de la información presentó un análisis más detallado, para el cual se tuvo como base los resultados e información pertinente de los Objetivos 1 “Caracterizar el funcionamiento del sector eléctrico en Colombia desde el punto de vista regulatorio, institucional y operacional” y Objetivo 2 “Identificar las tendencias tecnológicas y desafíos que enfrentan las empresas del servicio público de energía eléctrica.”, generando una articulación de la información seleccionada, la cual facilitó la propuesta de estrategias para la adaptación de las empresas distribuidoras de energía en Colombia.

En consecuencia, el proceso de captura de información relacionada con cada uno de los objetivos, radicó en consultas mediante ecuaciones de búsqueda de palabras claves, depuración de la información de

acuerdo a criterios alineados con los objetivos del proyecto y finalmente un análisis basado en tendencias, mercado, desafíos, tecnologías, agentes y estrategias del sector eléctrico, permitiendo establecer la caracterización del sector, el estado actual del mismo en Colombia y las tendencias tecnológicas generadas a nivel mundial que están siendo r implementadas.

En los capítulos siguientes se realiza una presentación detallada de la información capturada, desarrollando cada uno de los objetivos específicos en forma de fases, las cuales se encuentran definidas en forma de un proceso vertical que concluye con el logro del objetivo general del trabajo de grado y la solución del problema planteado.

5.2 Presentación de la información

5.2.1 Fase 1 - Caracterización el sector eléctrico.

En sus inicios, la estructura para el suministro de energía eléctrica en Colombia fue producto de las intervenciones estatales. Antes de 1994, las empresas estaban integradas verticalmente, lo que generó un monopolio sobre las regiones particulares donde se encontraban localizadas, destacándose que la coordinación de suministro de electricidad se realizaba de manera centralizada (Dyner & Franco, 2018).

Con la expedición de las Leyes 142 de 1994 “*Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones*” (Congreso de la república, 1994b) y Ley 143 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 la república, 1994a), el funcionamiento del sector eléctrico colombiano fue reformado, se abrió la participación a empresas privadas, para lo cual se tomó como referencia a países pioneros, especialmente a Reino Unido. A partir de esa fecha se ha logrado garantizar el suministro eléctrico y aumentar la cobertura, así mismo se incentivó la sana competencia y se creó el mercado mayorista de energía eléctrica.

5.2.1.1 Instituciones del Mercado de electricidad en Colombia

El sector eléctrico colombiano está compuesto por un esquema institucional que contempla aspectos políticos, regulatorios, de planeación, de mercado, de usuarios, cada uno de ellos dispone de organismos responsables de ejercer funciones específicas y velar con el funcionamiento y desarrollo del sector eléctrico. Este esquema institucional enmarca actividades de dirección, planeación, regulación, control y vigilancia, así como de operación del sistema y de administración del mercado (Tabla 2) (Dyner & Franco, 2018).

ASPECTO	ORGANISMO RESPONSABLE	FUNCIÓN
Político, Dirección	Gobierno nacional a través del Ministerio de Minas y Energía (MME) En algunos casos se asignan responsabilidades específicas a la Presidencia de la República	Diseñar las políticas que se deben de seguir en el sector.
Regulatorio	Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	Reglamentar, a través de normas jurídicas, el comportamiento de los usuarios y las empresas con el objetivo de asegurar la prestación de estos servicios públicos en condiciones de eficiencia económica con una adecuada cobertura y calidad del servicio. Lograr que los servicios de energía eléctrica, gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y combustibles líquidos se presten al mayor número posible de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas que permita garantizar calidad, cobertura y expansión. Sus funciones principales se basan en la Ley 143 de 1994 (Congreso de la república, 1994a)
Control y vigilancia	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD)	Inspeccionar, vigilar y generar control de las empresas prestadoras de servicios públicos de acueducto, alcantarillado, aseo, energía y gas; así como proteger los derechos de los usuarios (SSPD, s. f.). Vigila que las entidades prestadoras de servicios públicos domiciliarios cumplan con sus normas reglamentarias. Esta institución está facultada para emitir sanciones cuando identifica irregularidades
Planeación	Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME)	Planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con las entidades del sector minero energético, tanto entidades públicas como privadas, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos energéticos

		<p>y mineros, producir y divulgar la información minero-energética requerida (<i>Que es la Upme, s. f.</i>).</p> <p>Específicamente en el sector eléctrico es la responsable de realizar las convocatorias de expansión de redes de transmisión y de elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional, el Plan de Expansión del sector eléctrico manteniendo la alineación con el Plan Nacional de Desarrollo.</p>
Operación del sistema	XM	<p>Coordinar la operación de la cadena productiva del sector eléctrico colombiano, mediante la planeación de los recursos de generación de Colombia y los recursos de transmisión de acuerdo con la demanda de energía eléctrica (XM, s. f.-a).</p>
Administración del mercado	XM	<p>Administra el Mercado de Energía Mayorista de Colombia, mediante la atención de los procesos comerciales de los agentes del mercado, tales como: liquidación de la bolsa, contratos y demás servicios asociados, también gestiona el sistema de garantías del mercado (Dyner & Franco, 2018)</p>

Tabla 2: Organismos que intervienen en el funcionamiento del sector Eléctrico colombiano

Fuente: Elaboración propia

Otras de las instituciones que hacen parte del sector eléctrico son:

- **Concejo Nacional de Operación (CNO):** cuya función principal es la de acordar los aspectos técnicos para garantizar que la operación integrada del Sistema Interconectado Nacional (SIN), de tal forma que ésta sea segura, confiable y económica. Es el órgano ejecutor del reglamento de operación. Está conformado por los agentes del mercado (EEB, s. f.).
- **Comité Asesor de Comercialización (CAC):** Asesora a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en el seguimiento y la revisión de los aspectos comerciales del Mercado de Energía Mayorista. También está conformada por los agentes del mercado (*Comité Asesor de Comercialización del Sector Eléctrico, s. f.*).

En la Figura 7 se muestra un esquema genérico de la estructura de funcionamiento del sector eléctrico en Colombia:



Figura 7: Estructura Institucional del sector energía - Colombia.
Fuente: Tomado de (PROEXPORT COLOMBIA, 2010)

Como se mencionó anteriormente, dentro de los lineamientos institucionales del sector eléctrico se encuentra principalmente la Ley 142 de 1994 – Ley de servicios públicos domiciliarios, con ella se busca (Comisión de Regulación de energía y Gas - CREG, 2014):

- Garantizar calidad y disponibilidad de los servicios.
- Ampliación permanente de cobertura (Prestación continua e ininterrumpida).
- Prestación eficiente.
- Participación de usuarios en la gestión.
- Fiscalización de la prestación de los servicios.
- Establecer criterios para definir el régimen tarifario, tales como: eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad, transparencia.

5.2.1.2 Mercado de electricidad colombiano

El mercado de energía en Colombia se encuentra compuesto por usuarios y agentes los cuales se describen de manera detallada a continuación:

- **Usuarios:** Se encuentran clasificados entre los usuarios regulados y no regulados (XM, s. f.-a).
 - **Regulados:** Son la mayoría de los usuarios comerciales, oficiales y residenciales. Pueden ser personas naturales o jurídicas cuyas compras de electricidad están sujetas a tarifas establecidas por la CREG.
 - **No regulados:** Tienen la capacidad para negociar los costos de las actividades relacionadas con la generación y comercialización de energía. Dentro de esta clasificación se encuentran los industriales y comerciales que son grandes consumidores. Tienen una

demanda de potencia superior a 0,1 MW o demanda de energía superior a 55.000 kWh-mes. Pueden ser personas naturales o jurídicas. El mercado no regulado representa alrededor del 30% de la demanda de electricidad de Colombia y está compuesto por más de 4.000 usuarios (Dyner & Franco, 2018).

- **Agentes:** Llevan la energía al usuario final (generadores, transportadores, distribuidores, comercializadores y administradores). En la Figura 8 se puede observar que a 2018 en Colombia habían registrados 109 comercializadores, 37 distribuidores, 87 generadores y 13 transportadores (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2018).
 - **Generadores:** Se encargan de la producción de energía eléctrica.
 - **Transmisores:** Transportan la electricidad a más de 220 KV. Conforman el Sistema de Transmisión Nacional (STN).
 - **Distribuidores:** También conocidos como Operador de Red (OR), transportan la electricidad a nivel regional y la distribuyen localmente a niveles inferiores de 220 KV. Son monopolios naturales regionales.
 - **Comercializadores:** Se encargan de la compra de energía eléctrica en el mercado mayorista y su venta a los usuarios finales, regulados o no regulados. Son los encargados de recibir y distribuir el dinero con los demás agentes.

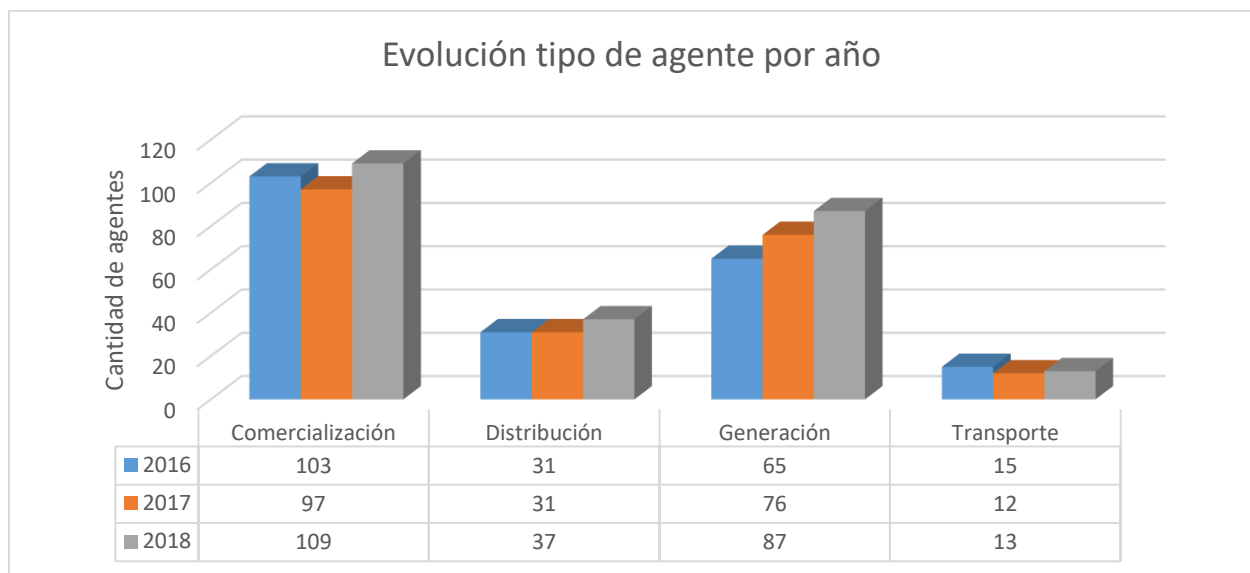


Figura 8: Comparación de la evolución número de agentes por año.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, 2018)

5.2.1.2.1 Mercado de Energía Mayorista

Es el mercado en el cual se transan grandes bloques de energía, en él tanto los generadores como los comercializadores compran y venden energía. En el Mercado de Energía Mayorista (MEM) se distinguen dos tipos:

- **Mercado de corto Plazo:** En este mercado se da una negociación en el corto plazo para la compra y venta de los excedentes de electricidad en la bolsa de energía o spot. Los generadores diariamente ofertan el precio por disponibilidad de energía puesta en el sistema, para ello

consideran la resolución horaria. Los comercializadores son los que representan la demanda y toman el precio de acuerdo con el precio de corto plazo (precio de bolsa).

- **Mercado de Largo Plazo:** Negociación en el largo plazo y se desarrolla mediante contratos. Los generadores y comercializadores suscriben contratos de compra y venta de energías, los cuales son registrados ante Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC). La facturación y recaudo de estos contratos es responsabilidad de las partes negociantes. Es un mercado de carácter financiero y no de entrega física.

En la Figura 9, se muestra el esquema de participación de los agentes en el mercado de energía colombiano.

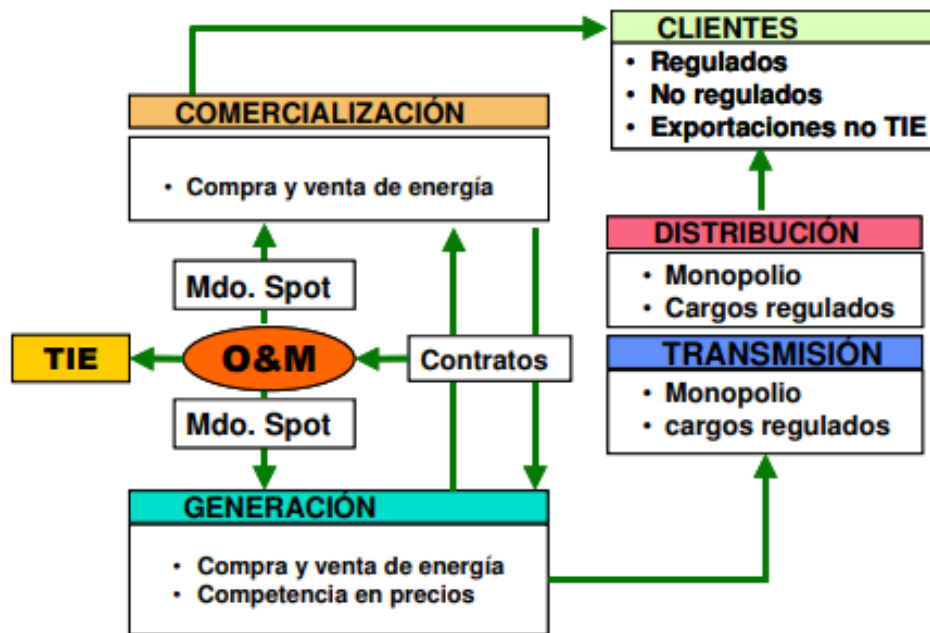


Figura 9: Estructura de participación de los agentes en el mercado de electricidad colombiano
Fuente: Tomado de (Gómez, s. f.)

5.2.1.2.2 Cobertura de energía

Otro aspecto importante dentro del desarrollo del sector eléctrico es la cobertura actual de energía en Colombia. En el informe “Metodología y resultados de la estimación del Índice de Cobertura de Energía Eléctrica (ICEE) del 2018”, indica que el ICEE 2018 es del 96,53%. De acuerdo con los datos descritos en la metodología de la UPME 2018, publicada el 30 de diciembre de 2019 se indica que el ICEE en las cabeceras municipales está alrededor del 99,52%, mientras que para el resto o zonas rurales es del 86,83%, en la Figura 10 se presenta esta información.

A partir de los datos recopilados en el estudio realizado por la UPME se puede identificar que aún hay un 3,47 % de viviendas sin acceso al servicio público de energía. Se aclara que para este estudio tuvieron en cuenta que los usuarios eran las viviendas clasificadas en el sector residencial, con acceso a la infraestructura eléctrica disponible.

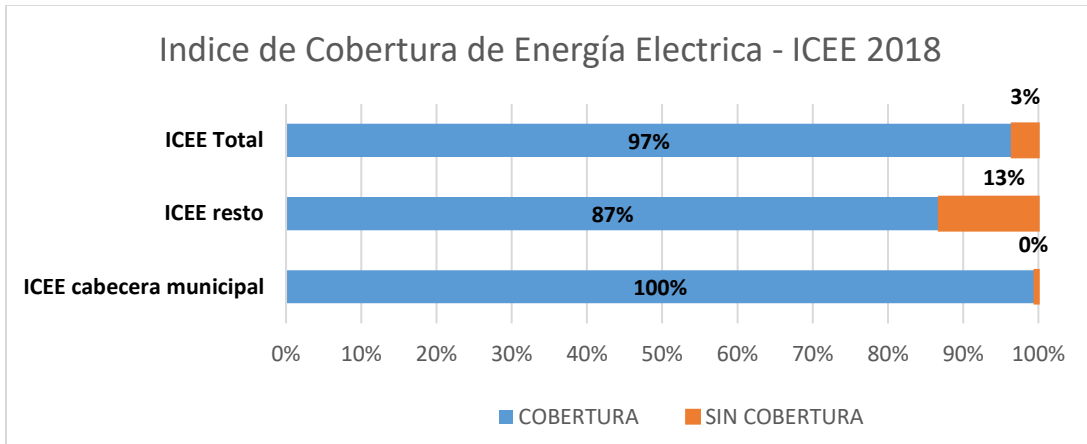


Figura 10: Índice de cobertura de energía eléctrica en Colombia - ICEE en el año 2018
Fuentes: Elaboración propia a partir de SIEL (2020)

Al realizar un análisis por región, se identifica que el departamento con menor cobertura en la cabecera municipal es Guainía con 87,74%, mientras que los de mayor cobertura tanto en las cabeceras municipales como en las zonas rurales o resto, son los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío (Figura 11).

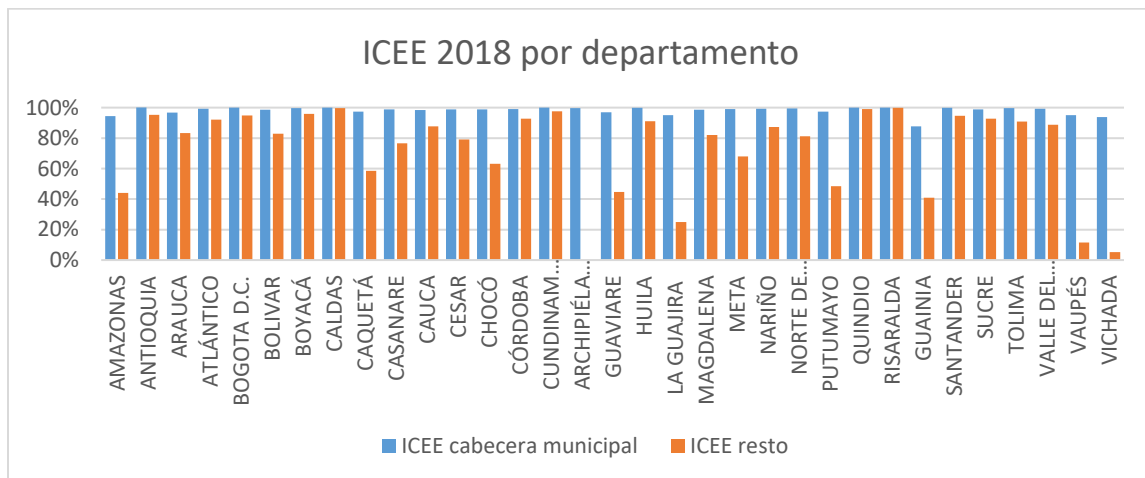


Figura 11: Índice de Cobertura De Energía Eléctrica en Colombia - ICEE por Departamento-
Fuentes: Elaboración propia a partir de SIEL - 2020

En la Tabla 3 se presentan los niveles de cobertura del servicio de energía eléctrica por departamento para el año 2018.

Departamento	2018
AMAZONAS	77%
ANTIOQUIA	99%
ARAUCA	92%
ATLÁNTICO	99%
BOGOTÁ D.C.	100%

Departamento	2018
BOLÍVAR	95%
BOYACÁ	98%
CALDAS	100%
CAQUETÁ	85%
CASANARE	94%

Departamento	2018	Departamento	2018
CAUCA	92%	NARIÑO	93%
CESAR	94%	NORTE DE SANTANDER	96%
CHOCÓ	84%	PUTUMAYO	77%
CÓRDOBA	96%	QUINDÍO	100%
CUNDINAMARCA	99%	RISARALDA	100%
ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA	100%	GUAINÍA	67%
GUAVIARE	75%	SANTANDER	98%
HUILA	97%	SUCRE	97%
LA GUAJIRA	59%	TOLIMA	97%
MAGDALENA	94%	VALLE DEL CAUCA	98%
META	93%	VAUPÉS	50%
		VICHADA	47%

Tabla 3: Cobertura del Servicio de Energía Eléctrica por Departamento [%]
Fuentes: Tomado de la (Ministerio de Minas y Energía, 2019)

Este nivel de cobertura se ha logrado gracias a las estrategias y prestación de los servicios de los agentes, así como a todos los lineamientos de planeación y regulación que han dado las diferentes entidades del sector eléctrico.

5.2.1.3 Participación de los agentes

De acuerdo a la información publicada en el sistema de información de Parámetros Técnicos de Elementos del Sector Eléctrico Colombiano (Paratec), a la fecha, el tipo de agente que cuenta con más empresas registradas son los comercializadores, seguido de los generadores, distribuidores y transmisores respectivamente (XM, s. f.-b). En la Tabla 4 se detalla el número de agentes por actividad. La distribución de estos agentes es del 50%, 30%, 14% y 6% respectivamente, tal como se ilustra en la Figura 12.

TIPO DE ACTIVIDAD	AGENTES REGISTRADOS
Comercialización	141
Distribución	39
Generación	86
Transporte	17
TOTAL	283

Tabla 4: Número de agentes por actividad
Fuente: Elaboración propia a partir de XM (2020)

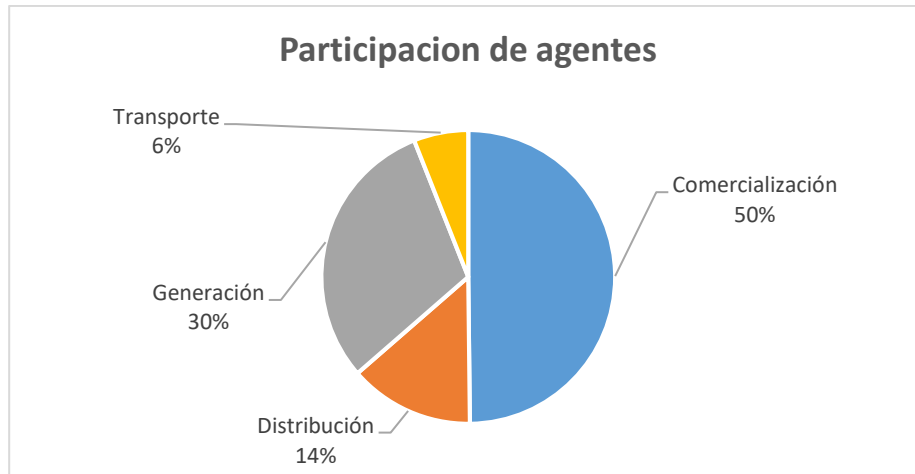


Figura 12: Participación de los agentes en el mercado
Fuente: Elaboración propia a partir de XM (2020)

5.2.1.4 Empresas de servicios públicos en Colombia

De acuerdo con la información publicada por el administrador del mercado XM, la demanda de energía en Colombia para el año 2019 fue de 71.548,14 GWh generando un crecimiento del 3,9% con respecto a 2018 (Tabla 5).

TIPO DE DEMANDA	2018	2019	CREC	PARTICIPACIÓN
NO REGULADO	21800,07	22493,15	3.10%	31,44%
REGULADO	46955,77	49054,99	4.41%	68,56%
Industrias manufactureras	9400.40	9587.80	1.92%	42.63%
Explotación de minas y canteras	5298.81	5520.37	4.18%	24.54%
Servicios sociales, comunales y personales	1750.58	1706.53	-2.65%	7.59%
Construcción, alojamiento, información y comunicaciones	1353.63	1459.62	7.79%	6.49%
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	1344.59	1341.77	-0.28%	5.97%
Establecimientos financieros, seguros, inmuebles y servicios a las empresas	1132.72	1233.21	8.77%	5.48%
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	693.49	755.95	8.84%	3.36%
Transporte y almacenamiento	419.87	448.20	6.66%	1.99%
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	402.63	437.50	8.63%	1.95%

Tabla 5: Comportamiento de la demanda de energía Regulada y no regulada en 2018 y 2019
Fuentes: Tomado de (XM, 2019)

En la Figura 13 se puede apreciar que el porcentaje de demanda regulada atendida fue del 68,56%, mientras que la No regulada fue del 31,44%.

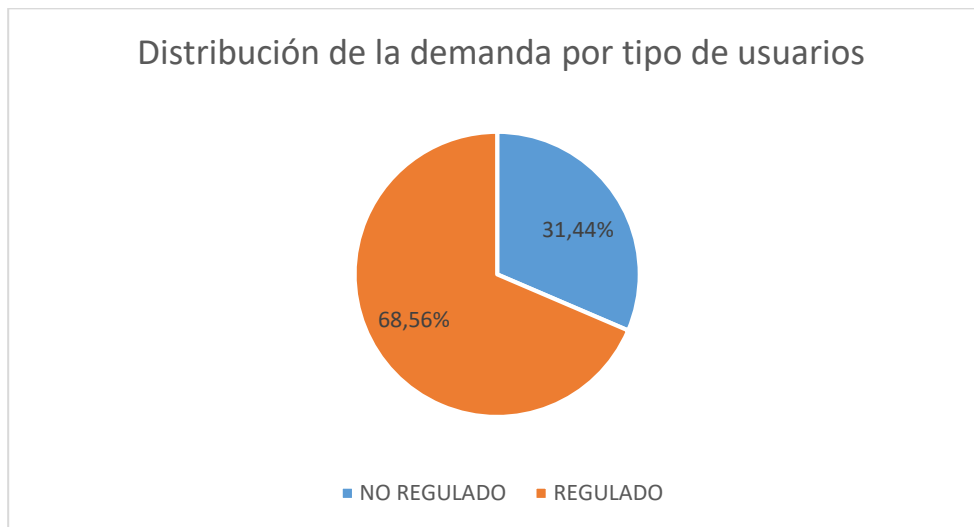


Figura 13: Demanda según tipo de usuario:
Fuentes: Tomado de (XM, 2019)

5.2.1.4.1 Generadores

Actualmente en Colombia hay 86 empresas generadoras de energía. Respecto a la capacidad instalada en Colombia, según los datos reportados por la Asociación Colombiana de Generación de energía eléctrica (Acolgen), Colombia cuenta con la sexta matriz de generación eléctrica más limpia del mundo, dado que su capacidad instalada proviene en su mayoría de fuentes renovables de energía eléctrica con un 68%. En la Figura 14, se observa que las fuentes de generación eólica y solar participan con 0,1% y los cogeneradores con un 0,9%. La generación con fuentes térmicas continúa siendo la segunda fuente que cuenta con más capacidad instalada, 30.7% (Acolgen, s. f.).

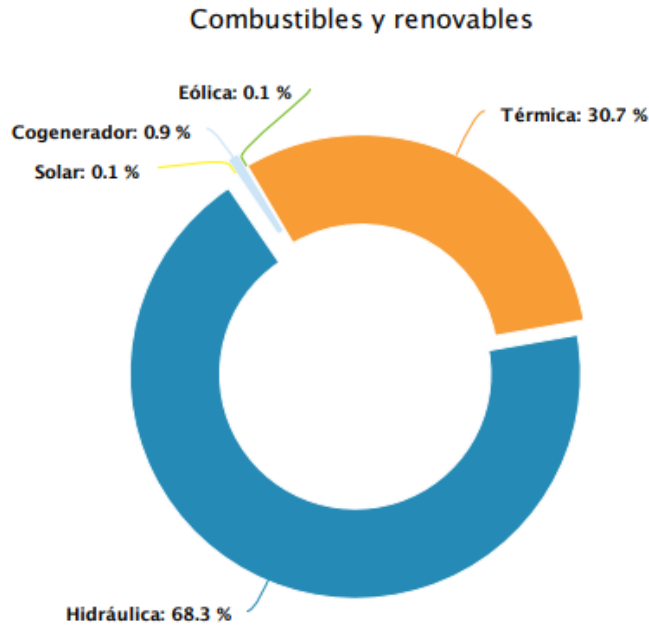


Figura 14: Capacidad instalada en Colombia
Fuente: Tomado de (Acolgen, s. f.)

5.2.1.4.2 Transmisores

Las empresas que actualmente se encuentran registradas como agentes trasmisores en XM y que están activas son 15 en total (Tabla 6).

ID	Empresa trasmisora	ID	Empresa trasmisora
1	CELSIA COLOMBIA S.A. E.S.P.	8	GRUPO ENERGÍA BOGOTÁ SA ESP
2	EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN E.S.P.	9	DISTASA S.A. E.S.P.
3	CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CALDAS S.A. E.S.P.	10	TRANSELCA S.A. E.S.P.
4	ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P.	11	EMGESA S.A. E.S.P.
5	EMPRESA DE ENERGÍA DE BOYACÁ S.A. E.S.P.	12	ISA INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P.
6	INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA S.A. E.S.P.	13	TUPROJECT S.A.S. E.S.P.
7	CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER S.A. E.S.P.	14	DESARROLLO ELÉCTRICO SURIA S.A.S. E.S.P.
		15	TRANSMISORA COLOMBIANA DE ENERGÍA S.A.S. E.S.P.

Tabla 6: Empresas trasmisoras
Fuente: Elaboración propia a partir (SIEL)

La empresa ISA cuenta con la mayor participación, tiene aproximadamente el 85% del mercado de la transmisión, seguida del Grupo de Energía de Bogotá y Empresas Públicas de Medellín (EPM) con aproximadamente el 13%, el porcentaje faltante lo componen el resto de las transmisoras quienes tienen una participación muy baja.

Actualmente Colombia cuenta con un total de 26.896,86 Km en líneas, el 39 % corresponde a líneas de transmisión de 230 kV, seguida de las líneas de transmisión de 115 kV y 110 kV. Las líneas de transmisión de 500 kV solo tienen un porcentaje de 9% (Tabla 7).

TOTAL LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SIN	Longitud (km)	Longitud (%)
	26896,86	
Transmisión 110 kV	3538,42	13%
Transmisión 115 kV	7693,98	29%
Transmisión 138 kV	15,49	0,1%
Transmisión 220 kV	2646,8	10%
Transmisión 230 kV	10466,78	39%
Transmisión 500 kV	2535,39	9%

Tabla 7: Líneas de Transmisión del SIN
Fuente: Elaboración propia a partir de (XM, s. f.-c)

5.2.1.4.3 Distribuidores

A continuación, se relacionan el parámetro de la demanda de energía por operador de red y región en el periodo de tiempo entre enero y febrero de 2020 (Tabla 8). En la Figura 15 se puede observar el mapa de Colombia diferenciado por regiones y departamentos donde operan cada uno de los

distribuidores según sus características, así mismo en la Tabla 8 se puede apreciar las empresas de servicio eléctrico más representativa en cada región.

Regiones	Empresa	% demanda Feb - 2020	Regiones	Empresa	% demanda Feb - 2020
Caribe	Electricaribe	10,46%	Centro	Electrificadora del Meta, E.M.S.A	30,36%
Antioquia	EEPPM	4,27%			
Oriente	Empresa de Energía de Boyacá –EBSA	11,69%			
Chocó	Empresa Distribuidora del Pacifico	5,53%			
CQR	CHEC	1,76%			
			Valle	EMCARTAGO	6,23%
			Guaviare	ENERGUAVIARE	8,15%
			THC	Electro Caquetá	8,81%
			SUR	Putumayo y EMEE	12,66% y 12,48 %

Tabla 8: Principales empresas distribuidoras de energía por regiones.
Fuente: Elaboración propia a partir de (XM, 2020)

De todas las regiones, 6 de ellas están conformadas por más de un departamento, estas regiones son:

- Caribe: Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena, Cesar y la Guajira.
- Oriente: Santander, Norte de Santander, Boyacá, Arauca y Casanare.
- Centro: Cundinamarca y Meta.
- CQR: Caldas, Quindío, Risaralda.
- THC: Tolima, Huila y Caquetá.
- SUR: Cauca, Nariño y Putumayo.

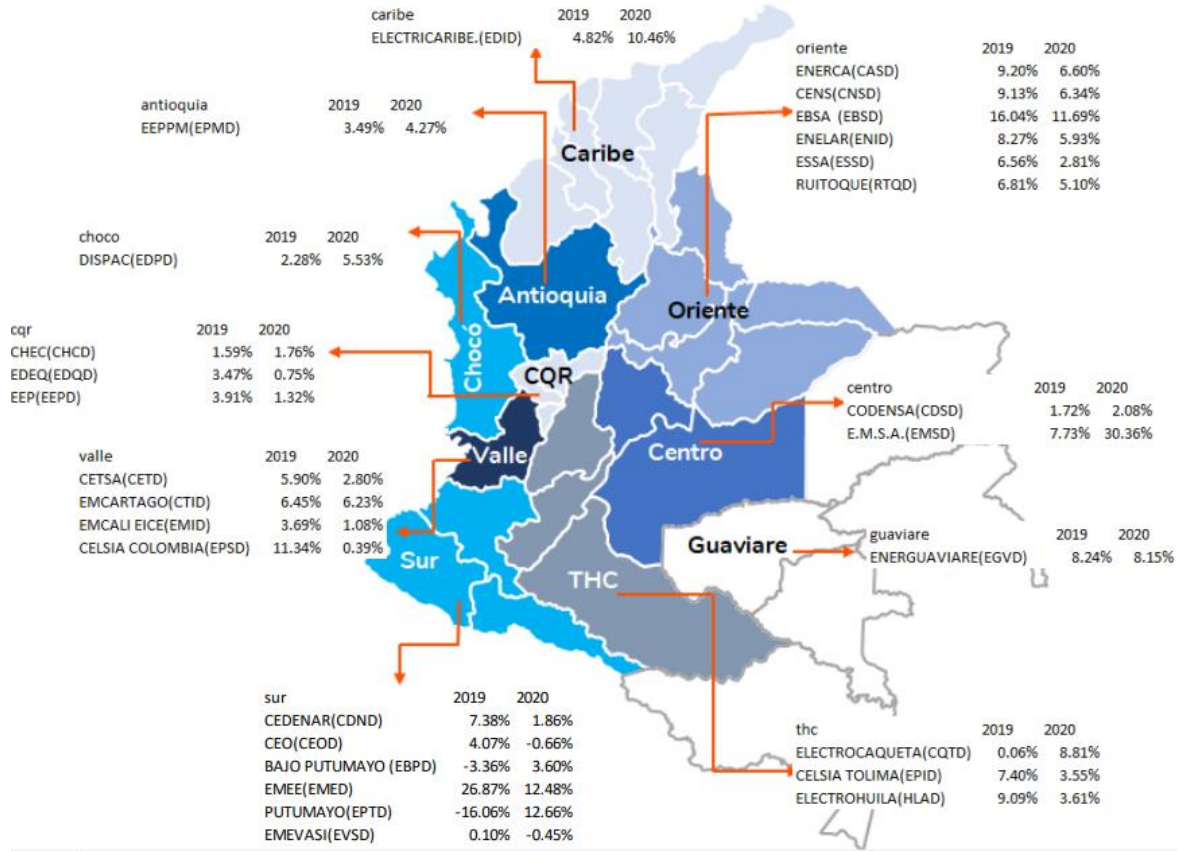


Figura 15: Demanda de energía por operadores de red y región agregado entre enero y febrero de 2020
Fuente: Tomado de (XM, 2020)

5.2.1.4.4 Comercializadores

Actualmente ante el administrador del mercado, 141 empresas comercializadoras de energía se encuentran registradas, sin embargo, tan solo 112 de ellas están activas.

5.2.1.5 Fuentes de Ingresos

A continuación, se detallan las fuentes por las cuales los diferentes agentes perciben ingresos:

- **Generadores:** Los ingresos de los generadores en el MEM son provenientes de las siguientes fuentes (Dyner & Franco, 2018):
 - Ventas en bolsa: “Ventas de electricidad en el corto plazo.
 - Ventas de contratos: Venta de electricidad a comercializadores y otros generadores.
 - Reconciliación Positiva: Ventas de electricidad por fuera de mérito realizadas para mantener la seguridad y confiabilidad del sistema.
 - Reconciliación negativa: Es el pago que reciben los generadores que a pesar de haber salido en mérito, no pueden ser despachados.
 - Servicio de AGC: Prestación del servicio de control automático de generación.
 - Regulación primaria de frecuencia: Penalizaciones hechas sobre generadores que no prestaron adecuadamente el servicio.

- Cargo por confiabilidad: Venta de confiabilidad del sistema.
- **Transmisores:** Los ingresos son provenientes por el cargo del uso del Sistema de Transmisión Nacional (STN) y corresponde a un solo valor a nivel nacional para todas las empresas. Sus ingresos son regulados.

Para determinar los ingresos de los transmisores se debe de tener en cuenta si los activos que hacen parte de la red son anteriores al 31 de diciembre de 1999 (activos existentes) o si son o serán construidos bajo convocatorias públicas internacionales (activos de convocatoria), este último comenzó a aplicarse después del año 1999. El valor del componente de Transmisión es establecido mediante la Resolución CREG 011 de 2009 y es liquidado por XM S.A. E.S.P. (SSPD, 2019).

Se aclara que las empresas transmisoras de energía también reciben otros ingresos por servicios no regulados, sin embargo, estos son menores con comparación con los ingresos regulados

- **Distribuidores:** Los ingresos están asociados a los niveles de tensión 1, 2 y 3, y son determinados mediante un mecanismo de Price cap, donde la CREG determina el precio máximo que puede cobrar el distribuidor de acuerdo al nivel de tensión (Dyner & Franco, 2018).
 - Ingresos por actividades reguladas soportados en criterios de eficiencia y calidad en la prestación del servicio. El esquema de ingresos por calidad está basado en incentivos y compensaciones.
 - Incentivos por costos de administración, operación y mantenimiento de acuerdo a la Resolución CREG 097 de 2008.
 - Ingresos no regulados por:
 - Conexión del servicio para usuarios regulados según régimen tarifario liberal tales como: suministro y conexión del equipo de medida, suministro de los materiales de las acometidas, etc.
 - Servicios de alumbrado público.
 - Alquiler de postes para empresas de telecomunicaciones.
 - Respaldo a las conexiones.
- **Comercializadores:** Sus ingresos provienen de las siguientes fuentes (Dyner & Franco, 2018):
 - Venta en la bolsa: Ventas en el mercado de corto plazo, provienen de la energía sobrante de contratos tipo “pague lo contratado”, dado que no se utilizaron para atender toda la demanda del comercializador.
 - Ventas en contratos: Se realiza a generadores y otros comercializadores con un plazo de un día o superior.
 - Ventas a usuarios no regulados: Ventas de electricidad a usuarios con una tarifa acordada entre las partes.
 - Ventas a usuarios regulados: Ventas a usuarios con una tarifa regulada que depende de la fórmula tarifaria establecida por la CREG, pero tiene en cuenta los parámetros

que dependen de cada comercializador.

Los comercializadores son los únicos que pueden recibir ingresos del mercado de energía mayorista y del mercado de energía minorista. En la Tabla 9 se ilustra cada una de las fuentes de ingreso de las agentes expuestas anteriormente.

Fuente de ingreso	AGENTES			
	Generadores	Transmisores	Distribuidores	Comercializadores
Ventas en bolsa	X			X
Ventas de contratos	X			X
Reconciliación Positiva	X			
Reconciliación negativa	X			
Servicio de AGC	X			
Cargo por confiabilidad	X			
Uso del Sistema de Transmisión Nacional (STN).		X		
actividades reguladas soportados en criterios de eficiencia y calidad en la prestación del servicio			X	
Incentivos por costos de administración, operación y mantenimiento			X	
Actividades no reguladas: Conexión del servicio para usuarios regulados según régimen tarifario liberal			X	
Actividades no reguladas: Servicios de alumbrado publico			X	
Actividades no reguladas: Alquiler de postes para empresas de telecomunicaciones			X	
Actividades no reguladas: Respaldo a las conexiones			X	
Ventas a usuarios no regulados				X
Ventas a usuarios regulados				X
TOTAL	6	1	6	4

Tabla 9: Fuente de ingreso según tipo de agente
Fuente: Elaboración propia a partir de (Dyner & Franco, 2018)

Como conclusión de la descripción de esta primera fase, podemos visualizar una caracterización detallada del sector energético colombiano el cual se encuentra ampliamente regulado a través de sus leyes, decretos y resoluciones, cuya implementación son técnicamente reguladas por las entidades, instituciones y asociaciones que componen el sector energético en Colombia. Se destaca la integración que existe entre cada uno de los agentes que componen la cadena de operación del mercado energético (comercialización, distribución, generación y transporte) los cuales deben competir en un medio regido por subasta con reglas claras y altamente vigilado para el bien de los usuarios.

En los últimos años, las empresas de servicios públicos eléctricos en Colombia han ejecutado sus operaciones en un mercado regulado, con reglas estrictas y claras, al punto de estandarizarse y trabajar dentro de lo que podríamos denominar una zona de confort eléctrico; sin embargo, debido a los cambios que se vienen generando a nivel mundial en este sector, las empresas colombianas deberán transformarse y salir de esta zona con el fin de encarar estos nuevos retos, es por esto que

en el próximo capítulo se definirán las tendencias tecnológicas y desafíos que otros países debieron afrontar para ser sostenibles, todo ello enmarcado en los recursos energéticos distribuible.

5.2.2 Fase 2 - Tendencias tecnológicas y desafíos del sector eléctrico

Como se ha mencionado anteriormente en los capítulos de marco teórico y revisión literaria las principales tendencias que vienen cambiando al sector energético son: la electrificación, descarbonización y descentralización; junto con ellas también se vienen presentando desarrollos tecnológicos y de digitalización, tales como: internet de las cosas, nube (cloud) y blockchain. Estas tendencias son las que están propiciando el desarrollo de nuevos negocios o modelos operativos de negocio, la aparición de nuevos entrantes en el sector y la mejora de los niveles de rendimiento de las empresas existentes (SSPD, 2019).

Esto cambios están impactando principalmente los sistemas de distribución, donde las empresas de este tipo han tenido que desarrollar estrategias para poder responder a los retos que está implicando el desarrollo de sus actividades de monitoreo, comunicación, control y gestión. La integración de nuevas tecnologías en este tipo de servicios se está llevando al suministro de energía mediante redes inteligentes de distribución (Molina Castro et al., 2019).

5.2.2.1 Recursos energéticos distribuidos

Los Recursos Energéticos Distribuidos conocidos por sus siglas en inglés como DER, son recursos energéticos que facilitan la gestión de las redes de distribución y se encuentran conectados a estas o a las instalaciones de los usuarios finales. Con el uso de los DER se busca mejorar la relación costos/beneficio para la generación de energía a pequeña escala. Los DER son habilitadores para el desarrollo de la descentralización del sector eléctrico. En la Tabla 10 se ilustran las tendencias de los DER y los cambios que implica la implementación de estos.

Tendencias	Cambios
Autogeneración y Generación Distribuida	Fuentes energéticas variables
	Gestión por el usuario (El operador de red no tiene control)
	Mitigación de emisiones de GEI
Almacenamiento de energía	Posibilidad de consumir o inyectar
	Gestión por el usuario (El operador de red no tiene control)
Respuesta de la demanda	Cambios de comportamiento horario
	Optimización de inversiones
	Mitigación de emisiones de GEI
Cargas Móviles	Sistema de Carga Inteligente

Tendencias	Cambios
(Vehículos eléctricos)	Incertidumbre en el punto de conexión
	Posibilidad de consumir o inyectar potencia (V2G)

Tabla 10: Tendencias de recursos energéticos distribuidos
Fuente: Adaptado de (Molina Castro et al., 2019)

Estas tendencias tecnológicas han generado la aparición y/o transformación de los agentes del sector eléctrico.

Ante el desarrollo e incorporación de los recursos distribuidos: generación distribuida, almacenamiento de energía eléctrica y térmica, y gestión de la demanda se está viabilizando que el sector eléctrico opere de una manera más descentralizada, en donde los consumidores comienzan a tener un rol más activo (Figura 16).

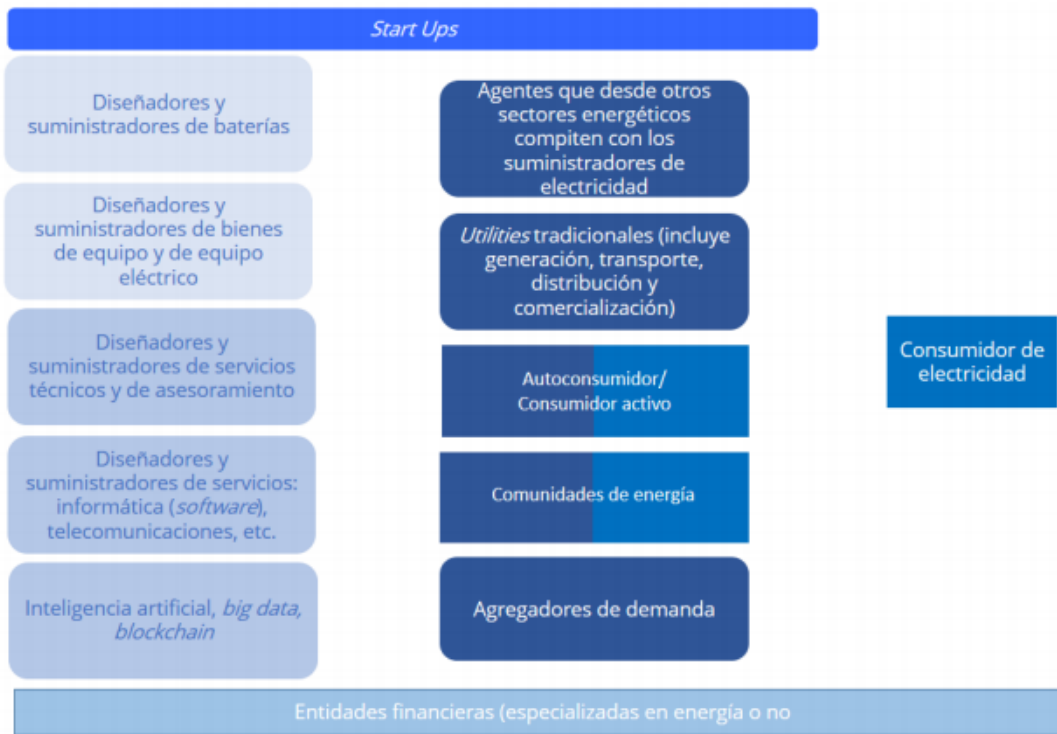


Figura 16: Transformación y nuevos agentes del sector eléctrico
Fuente: Tomado de (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020)

Dentro de este nuevo esquema de funcionamiento han comenzado a aparecer los prosumidores, quienes pueden ser tanto productores como consumidores de energía. Así mismo, la transformación en la operación del sistema eléctrico está haciendo que los agentes actuales como generadores, transmisores, distribuidores y comercializadores replanten sus negocios propiciando la creación de los startups.

Con la implementación de los recursos energéticos distribuidos, generación distribuida se han identificado varios beneficios entre los cuales se encuentran:

- Aspecto económico, se identifica la forma de ahorro de costos en energía, inversiones seguras y periodos aceptables de retorno o pay-back.
- Autonomía y capacidad para participar en el proceso de transición energética a los consumidores y finalmente posibilita la participación activa de los consumidores, dado que estos pueden conformar plataformas/comunidades (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).
- Aspecto ecológico: ahorros energéticos, mitigación de emisiones y la posibilidad de fomentar determinadas fuentes energéticas.
- Aspecto regional: al promoverse recursos energéticos locales, donde la estructura de la propiedad de la infraestructura también puede ser local (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).
- Confort y seguridad en la gestión de los datos, la transparencia del servicio, etc.
- Aspecto tecnológico, con ofertas individualizadas y simplicidad de los equipamientos.

5.2.2.2 *Desafíos del sector eléctrico*

El sector eléctrico es considerado como una de las principales fuentes para el desarrollo de las ciudades y de la industria. Actualmente se han identificado y evidenciado algunos de los desafíos que afronta:

- Cambios en el modelo de negocio desempeñado por los distribuidores de electricidad.
- Evolución de la competitividad de las energías renovables.
- Implementación de las tecnologías en DER en empresas de servicios públicos.

En un estudio reciente realizado por el “ instituto Vasco de competitividad – Fundación Deusto “ (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020) han identificado que los principales factores de cambio que se están presentando en los modelos de negocio del sector pueden ser directos o transversales (Figura 17).

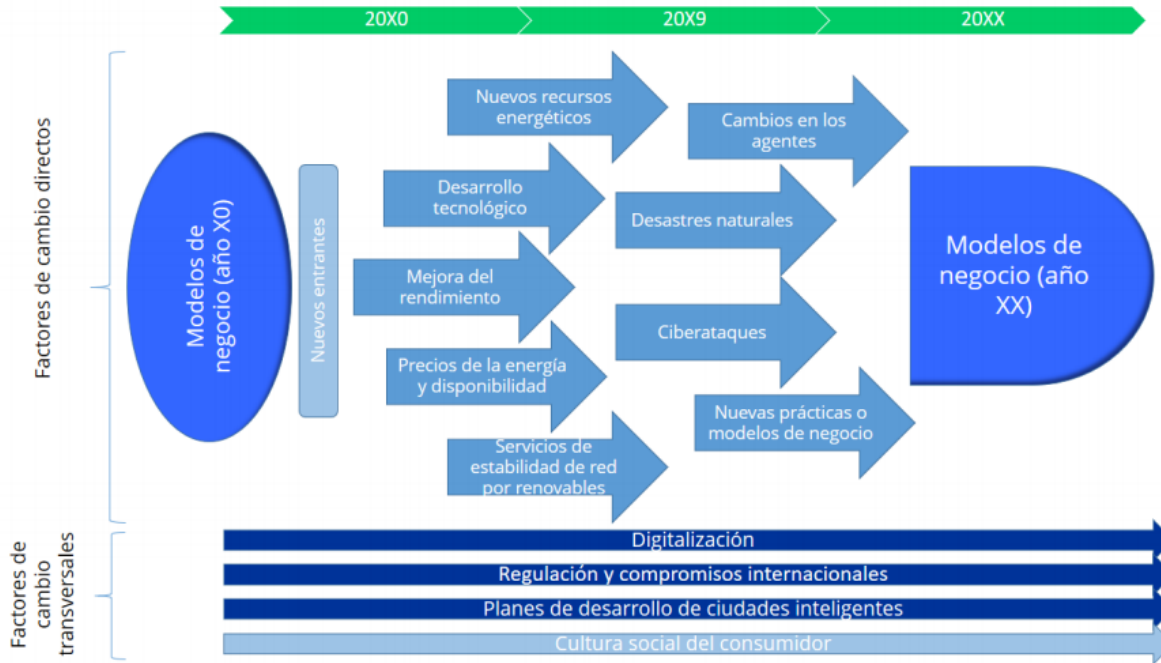


Figura 17: Factores de cambio en el sector eléctrico.
Fuente: Tomado (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020)

Algunos de los cambios directos han estado apalancados en el uso de herramientas tecnológicas tales como la automatización y el machine learning, este último es un método de análisis de datos que automatiza la construcción de modelos analíticos. Este tipo de herramientas le están permitiendo a las empresas reducir sus costos.

Los cambios generan oportunidades para que el sector eléctrico innove y crezca a partir de los desarrollos tecnológicos, disminuyendo los costos de generación con energía renovables (solar, almacenamiento de baterías, eólicas, etc).

Como se observa en la Figura 17 entre los factores de cambio se encuentra la digitalización, la cual promueve que tanto los agentes tradicionales como los nuevos participantes desarrollen o transformen sus modelos de negocio, tales como, análisis avanzados para segmentar a los clientes y las perspectivas de nuevos servicios. Este cambio implica que las empresas deben ser lo suficientemente ágiles para innovar y así poder aprovechar las oportunidades del mercado.

Otro cambio transversal que ha revolucionado la generación de nuevos modelos de negocio es la regulación de cada país, así como los compromisos que estos han adquirido internacionalmente para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), consumo energético, la mejora de la eficiencia energética, etc (IRENA, 2019).

5.2.2.3 Desafíos y estrategias implementadas a nivel mundial - Modelos de negocio

Algunas de las estrategias que se identifican a nivel mundial ante esta transformación de las empresas de servicios públicos tradicionales, serían la compra de agregadores de demanda, tal son

los casos de Engie, Enel y Centrala los cuales compraron a Kiwi Power, Enernoc y Restore respectivamente. Así mismo, otras compañías tradicionales están optando por procesos de adquisición de start-ups digitales o desarrollándolas internamente, esto con el fin de explorar sistemas de gestión de recursos de energía distribuida y mantener su capacidad en el mercado (Booth et al., 2018).

Todos estos cambios están llevando a que las empresas innoven y para ello deben de considerar la perspectiva tecnológica, social y de servicio de manera conjunta, como por ejemplo: Green Mountain Power, ayuda a sus clientes en la adquisición de un vehículo eléctrico (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

Otra de las prácticas por las que han optado empresas del sector eléctrico es el diseño centrado en el ser humano, prácticas comerciales ágiles y adaptadas, tendencias que configuran el futuro del trabajo, contratación pública y economía de la distribución, este tipo de acciones están acelerando el cambio y ampliando las oportunidades para hacer crecer empresas e industrias, así se describe en el informe de modelos de negocios en recursos distribuidos (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

Según la literatura, la implementación de modelos de negocio de recursos distribuidos tiende a asociarse a una tecnología en particular. Sin embargo también se identifican otras clasificaciones como: el servicio que se ofrece, el segmento de mercado a quien se atiende, el flujo de ingresos o el posicionamiento en la cadena de valor del sector eléctrico tradicional (Burger & Luke, 2017).

Dentro de la implementación de los DERs se pueden identificar tres grandes categorías de modelos de negocio los cuales son la generación distribuida de electricidad, la gestión de la demanda eléctrica y los sistemas de agregado zonal (como combinación de aplicaciones de las dos primeras categorías). Para dicha clasificación se consideraron dos parámetros fundamentales: el posicionamiento en la cadena de valor del sector eléctrico y la sofisticación del modelo de negocio. Se aclara que para el objeto de este análisis se considera la generación distribuida, específicamente desde el punto de vista de los distribuidores (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

Otros modelos de negocio de las compañías de servicios públicos se centran en el grado de desintegración y el grado en que el modelo de negocio se centra en un producto o servicio (Figura 18). En este esquema se puede observar la transición que se está viviendo en el sector eléctrico a nivel mundial, donde se está pasando de la comercialización de un producto, como es la energía, al desarrollo de una gama de otros servicios (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

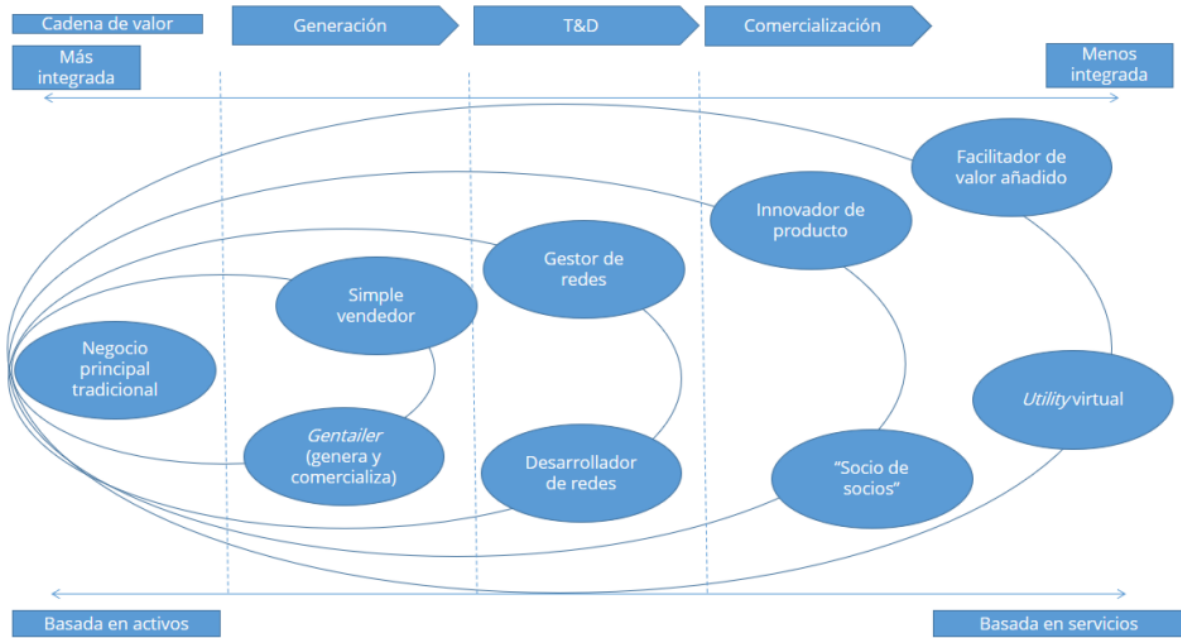


Figura 18: Opciones de modelos de negocio para las empresas de servicios públicos
Fuente: Tomado de (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020)

Este tipo de estrategias está generando una diversificación en los servicios típicos que se venían ofreciendo por las empresas tradicionales del sector eléctrico. En Europa han ido surgiendo nuevos modelos de negocio los cuales se describen en la Tabla 11.

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
Modelo de negocio en generación distribuida		Promueven la evolución hacia sistemas de generación localizados en puntos específicos o cercanos entre sí	Estados Unidos, China, Australia, Alemania, Japón, México, Chile.
Modelo de negocio de gestión de la demanda	Mercado basado en capacidad y reserva de respuesta a la demanda	Son sistemas de gestión de energía que le permiten a los clientes controlar su consumo o producción	Estados Unidos, Francia, Australia, Chile.
	Servicios públicos basados en capacidad y reserva de respuesta a la demanda	Es la venta de servicios de respuesta a la demanda a empresas de servicios públicos reguladas. Con este modelo de negocio las empresas buscan capacidad en firme, reservas	

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
		de operación y mitigación de las limitaciones de las redes.	
Modelo de negocio de almacenamiento eléctrico o térmico	Almacenamiento energético y optimización del usuario	los ingresos provienen del ahorro garantizado o compartido, o por la venta y financiación de los activos de almacenamiento, se realizan mediante acuerdos	Estados Unidos, Francia, Alemania, China, Japón, Australia, Chile.
	Almacenamiento energético para los servicios de redes	Se utilizan principalmente para las compañías (de servicios públicos) reguladas, integradas verticalmente, o a operadores del sistema. Su principal fuente de ingreso es por la compra o financiación de los activos de almacenamiento de venta de servicios de electricidad	
	Almacenamiento energético con generación distribuida	Son productos que se venden principalmente a consumidores residenciales, comerciales, institucionales y municipales. Los ingresos provienen por las ventas y/o por la financiación de los activos solares y de almacenamiento	
	Almacenamiento de energía para el usuario final y co-optimización del sistema	Busca conectar a los consumidores industriales, comerciales, institucionales y municipales con los mercados, ofreciendo capacidad en firme, reservas de regulación y mitigación de las limitaciones de la red. Los ingresos pueden provenir de venta de activos	

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
		de almacenamiento, cuotas de intermediación, o por ahorros compartidos	
	Almacenamiento “en la nube”	Uso de baterías centralizada para almacenar la energía y utilizarla cuando la requiera. El consumidor debe de asumir un pago mensual por este servicio	
Modelos de negocios basados en agregados zonales	Intercambio de electricidad peer to peer	Utilizan plataformas para la creación de un mercado online donde hay un intercambio entre quienes consumen y suministran la energía distribuida, la transacción se da entre iguales (Álvaro Hermana et al., 2018)	Alemania (Lumenaza, sonnenCommunity), en Países Bajos (Vandebron y Powerpeers), en Reino Unido (Piclo-open utility) y en Estados Unidos (TransActive Grid).
	Virtual Power plants-VPP	Es un sistema que integra software y red eléctrica inteligente para despachar y optimizar de forma remota y automática los DER. Los principales ingresos provienen por la venta y financiación de los activos y de las comisiones por intermediación (Picardo Tejera, 2019)	Australia, Bélgica, Francia, Alemania, Países Bajos, Reino Unido y Estados Unidos.
	Microrred	Es el conjunto de recursos de energía distribuida y consumos localizados que operan conectados de forma síncrona a la red principal. También pueden operar de manera aislada	Estados Unidos, Japón.

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
	Comunidades de energía renovables	Son un nuevo agente conformado por aquellos consumidores que desean un suministro medioambientalmente sostenible, fiable y de ámbito local, propenden por el consumo de energía de manera colaborativa. Como ventaja se identifica la minimización de las barreras para los consumidores mediante la posibilidad de ser propietario de una parte del sistema energético renovable. Participa el consumidor, el productor y el prosumidor	Los principales proyectos se encuentran en: Estados Unidos, Australia y Europa (Dinamarca, Alemania [Beegy], Países Bajos, Noruega y Reino Unido)
	Proveedores solares comunitarios	Los ingresos provienen de una cuota que se les coloca a los consumidores debido al acceso de la generación por sistemas solares. El tipo de servicios que ofrecen está relacionado con la instalación de plantas solares fotovoltaicas grandes en zonas alejadas de los consumidores.	-
Modelos de negocio para las utilities tradicionales	Utility tradicional	Para este tipo de modelo de negocios se considera la digitalización como factor clave. Este tipo de utilities deben reaccionar de acuerdo los cambios en el mercado, esto con fin de poder competir con los nuevos agentes en el mercado. Al contar con trayectoria y activos, estas empresas	-

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
		podrían desarrollar la gestión de recursos energéticos distribuidos, el análisis, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, así como análisis de soluciones relacionadas con la ciberseguridad, el empleo de sistemas de nube, las plataformas de big data, la gestión del rendimiento de los activos, las tecnologías de visualización, blockchain o robótica (Wei et al., 2019)	
	Suministradores de energía como servicio (energy as a service, Eaas)	Se pasaría de vender energía a vender servicio a los consumidores, tales como la cantidad de datos sobre los consumos de los clientes. Las principales amenazas para estos agentes proceden de los precios reducidos de los equipos detrás del contador, de los cambios regulatorios sobre utilización de los datos de los consumidores, de los servicios que puedan ofrecer nuevos agentes en el mercado (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020)	-
	Suministradores de soluciones energéticas distribuidas (comprehensive energy solution proviers)	En este modelo de negocios se consideran servicios de consultoría, instalación, financiación, operación y mantenimiento, garantías y servicios de calefacción y refrigeración a cambio de una determinada cuota o abono.	-

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
		Se centra en expandir el papel de los comercializadores de energía y cambiar las expectativas de los consumidores.	
	Suministradores de servicios relacionados con los operadores de la red	En este modelo se puede encontrar los servicios asociados a los pagos por capacidad. A partir de este se puede generar valor mediante la dotación a mayor estabilidad de la red [39]. Bajo este panorama identifican que se puede considerar un posible modelo de negocio futuro, que consistiría en controlar los nuevos recursos distribuidos	Estados Unidos
	Modelos de negocio de carácter colectivo	<p>Buscar responder el deseo de los consumidores de tener un mayor control de la energía que demandan, de su origen y naturaleza (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).</p> <p>Busca conectar la generación distribuida con la demanda. Es típico en mercados donde hay una alta penetración de generación distribuida o donde los consumidores tienen capacidad de elección.</p> <p>Su riesgo está relacionado con la alta penetración de generación distribuida y de sistemas de almacenamiento, así como a los cambios</p>	Alemania, Hawaii o California en Estados Unidos, Reino Unido o Australia

Modelo de negocio según tipo de DERs	Clasificación del modelo de negocio	Descripción	Países que lo han implementado
		regulatorios y nuevos entrantes	
Modelos de negocio basados en tecnología y consultoría		Relacionados con el suministro de infraestructura y relacionados con el ámbito tecnológico, por lo general no hay una relación directa con los consumidores. Alguna de las soluciones que brinda ese tipo de modelos de negocio es el Blockchain.	-
Modelos de negocio desde la perspectiva de la financiación		Relacionado con la financiación, instalación y mantenimiento de sistemas renovables facilitándoles a los consumidores ser dueños de los equipos que utiliza para su generación o consumo de energía	-

Tabla 11 Modelos de negocio en recursos distribuidos de electricidad.
Fuente: Elaboración propia a partir de (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020)

A continuación, se detallan algunas de las principales estrategias implementadas por las empresas en los diferentes países (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020):

- **ALEMANIA:** La transición energética ha llevado a este país a desarrollar procesos de reestructuración:
 - Desde la regulación se estableció la exención del pago de la tasa de EEG de renovables por la electricidad autoproducida y autoconsumida procedente de paneles solares fotovoltaicos, de menos de 10 kW y menos de 10 MWh de generación anual.
 - Comercializar la energía verde regionalmente mediante un sistema de certificados.
 - Adaptación rápida de sus modelos de negocio para responder a la demanda y cambios en los marcos regulatorios.
 - Desarrollo de comunidades de energía ya que ha unido los autoconsumidores y consumidores, entregando energía generada de manera descentralizada.
- **CANADÁ:**
 - Desarrollo de software inteligente, para que los clientes se adapten a los cambios del sistema en tiempo real.

- **ESTADOS UNIDOS:**
 - Algunas empresas han desarrollado soluciones de energía eléctrica in situ y distribuida, con la cual se busca generar cambios en el mercado eléctrico, transformando la forma como se genera y distribuye la energía eléctrica.
- **CHILE:**
 - Impulsar las energías renovables no convencionales (ERNC), acercando la energía solar a los hogares y empresas mediante un modelo innovador y accesible. Han utilizado la financiación para la instalación de equipos solares fotovoltaicos.
- **ESPAÑA:**
 - Desarrollo de soluciones Smart Solar, con la cual los consumidores pueden generar energía solar y consumirla, reduciendo la factura eléctrica mediante el uso de una fuente renovable de energía. Esta estrategia fue posible implementarla gracias al Real Decreto 244 del 2019 con el cual se busca a los clientes por la energía excedentaria que generen las instalaciones domésticas solares y se vierta a la red, compensando el importe correspondiente en la factura de manera mensual.

Analizando el caso particular de los Distribuidores en Europa se encontró que de acuerdo al paquete de energía limpia de la comisión Europea se ha identificado la importancia de los distribuidores en el futuro del sector eléctrico ya que ellos desempeñaran un rol integrador con los demás agentes (Triviño, 2017).

- **Retos/Desafíos**
 - Dar respuesta al nuevo rol de los consumidores y a nuevos servicios como: Flexibilidad de la demanda, sistemas de almacenamiento energético, desarrollo de infraestructuras de recarga de los vehículos eléctricos.
 - Gestión de la energía, desde el punto de vista de la oferta (fuentes renovables y su carácter de distribución habitual) y la demanda (consumidor mucho más dinámico).
 - Hacer más eficiente el uso del sistema y el intercambio de información.
 - Proporcionar información en tiempo cuasi-real a los clientes.
- **Estrategias**
 - Creación de un organismo para agrupar a los distribuidores (DSOs) y que esté habilitado para realizar propuestas normativas. La comisión Europea anunció la creación del organismos DSO-Entity, quien se encargará de la coordinación de la operación y planificación de las redes distribución, desarrollo de propuestas normativas (principalmente para la respuesta de demanda), la digitalización de las redes de distribución (Smart Grids, Smart Metering), la cooperación con ENTSO-E (organismo que agrupa a los TSOs) y la adopción de buenas prácticas para mejorar los niveles de eficiencia energética en la red de distribución (Triviño, 2017).
 - Ingresos: la retribución de los DSOs deberá seguir siendo un modelo basado en incentivos, teniendo en cuenta las inversiones en innovación.
 - Trabajo más colaborativo con los Transmisores (TSOs, Operadores de la Red de Transporte) para hacer eficiente el uso del sistema y el intercambio de información.
- **Implicaciones**

- Debe realizar un despliegue tecnológico en las redes, lo cual exigen realizar nuevas inversiones
- Transformar el rol tradicional de operadores de red (mantener y desarrollar de forma eficiente el negocio de la distribución de electricidad)

5.2.2.3.1 Modelos de negocio relacionados con la generación distribuida

Los modelos de negocio de generación distribuida que se han venido desarrollando en Europa se aprecian en la Tabla 12 (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

Modelo de negocio	Propiedad del equipo	Consumidor electricidad	Relación contractual entre las partes	Ejemplo
Suministro de sistemas	Propietario del inmueble	Propietario del inmueble	Compraventa	Solarwatt, Green Nation Solar Energy
Servicio <i>leasing</i>	Promotor	Propietario del inmueble	<i>Leasing</i> y PPA	Sunrun, Vivint Solar
<i>Rent-the-space</i>	Promotor	Propietario del inmueble	Alquiler del espacio (por parte del promotor) y contrato de suministro (por parte del propietario del inmueble)	Sunrun, Vivint Solar
Propietario con Inquilino	Promotor	Inquilino	Alquiler de la vivienda y contrato de suministro	-
<i>Utility scale</i>	<i>Utility</i>	<i>Propietario del inmueble</i>	Contrato PPA	-

Tabla 12: Modelos de negocio relacionados con la generación distribuida
Fuente: Tomado de (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020)

Como se puede observar en la Tabla 12, este tipo de modelo de negocios considera servicios de planificación, instalación y mantenimiento de los dispositivos de generación distribuida, en este esquema hay variaciones de quienes son los propietarios de los equipos.

La implementación de generación distribuida con fuentes de energía renovable en los sistemas de Distribución, están llevando a que las empresas intervengan sus modelos de negocio o replanteen sus estrategias para el desarrollo de actividades pasando del suministro de energía a la prestación de servicios, como se pudo observar anteriormente (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

En conclusión se confirma que las estrategias que han venido implementando empresas de servicios de energía a nivel mundial están relacionados con la recapitulación o actualización de sus modelos de negocio, éstos han derivado de modelos de mercados emergentes debido a las mega tendencias que impulsan el cambio, como lo es la generación distribuida (Nillesen & Pollitt, 2016).

5.2.2.3.2 Estrategias Implementadas en Colombia

Al igual que en otros países, Colombia ha optado por la incorporación de los DER mediante la reglamentación para su implementación. Como se menciona en la revisión de la literatura algunas de estas reglamentaciones son (Sanchez Ochoa et al., 2019):

- Ley 1715 del 2014: Busca la integración de fuentes no convencionales de energía, principalmente de origen renovable y el uso eficiente de la energía.(Congreso de la república, 2014).
- CONPES 3934: Política de Crecimiento verde del país (Departamento Nacional de Planeación, 2018).
- Decretos del Ministerios de Minas Energía (MME), describe los lineamientos de política para dar cumplimiento a la Ley 1715 del 2014.
 - Decretos 2469 del 2014: establece los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración (MME, 2014a).
 - Decreto 348 del 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(MME, 2017).
- Resolución CREG 063 del 2010: Desarrollo de mecanismos de respuesta a la demanda, e regula el anillo de seguridad del Cargo por Confiabilidad denominado Demanda Desconectable Voluntariamente– DDV. (CREG, 2010).
- CREG 011 del 2015: regula el programa de respuesta de la demanda para el mercado diario en condición crítica. (CREG, 2015a).
- Resolución CREG 029,039 y 049del 2016: Define un esquema de tarifas diferenciales para establecer los costos de prestación del servicio de energía eléctrica a usuarios regulados en el SIN para promover el ahorro voluntario de energía(CREG, 2016).
- a partir de la RES_CREG_049 del 2016, surgió el Programa apagar paga.

En la Figura 19 se muestra el nivel de adopción de los DER en Colombia. En ella se puede apreciar, que a pesar de contar o incentivar la incorporación de los DER a partir del marco regulatorio, no se está teniendo un desarrollo rápido, se observa que el nivel de penetración de estos en Colombia es bajo (Molina Castro et al., 2019).

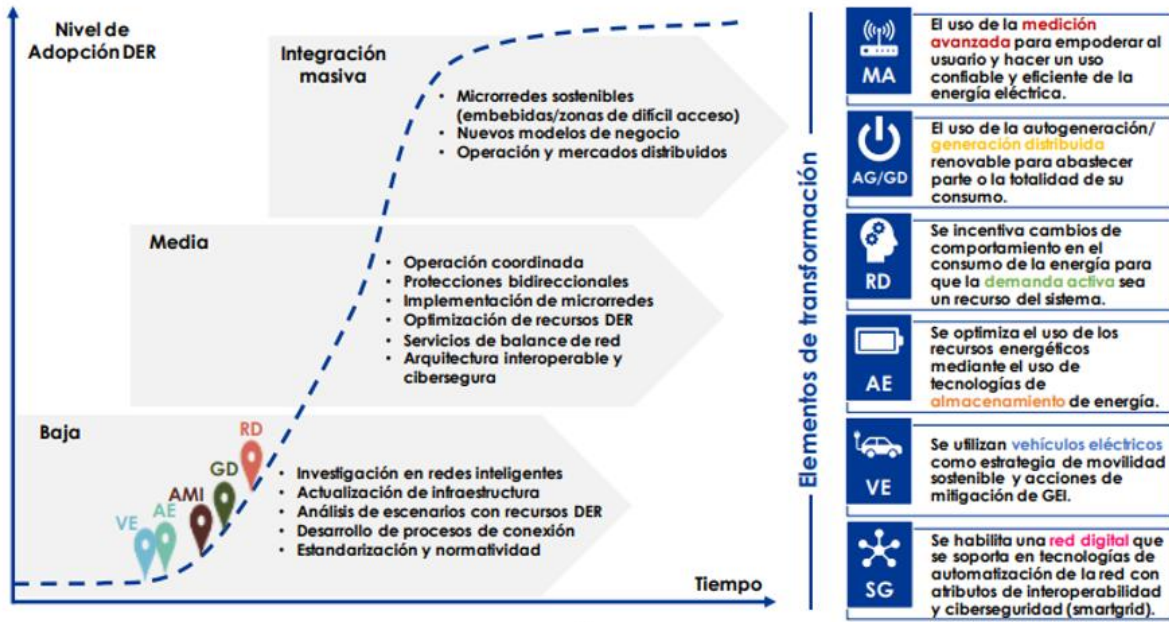


Figura 19: Tendencias tecnológicas en recursos energéticos distribuidos
 Fuente: Tomado de (Molina Castro et al., 2019)

Otras de las acciones que Colombia ha tomado y que está relacionada con los distribuidores es la incorporación de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), en donde el informe de Asocodis en el año 2019 informa que en Colombia a 31 de diciembre de 2018 las empresas tenían instalados en su sistema 161.473 medidores con tecnología AMI, 289.935 medidores prepago, y un Sistema de Almacenamiento de Energía Eléctrica con Baterías. La evolución de esta estrategia se puede visualizar en la Figura 20, donde se observa que la implementación de este tipo de tecnología tuvo un crecimiento promedio de 18% entre 2017 y 2018 (Asocodis, s. f.).

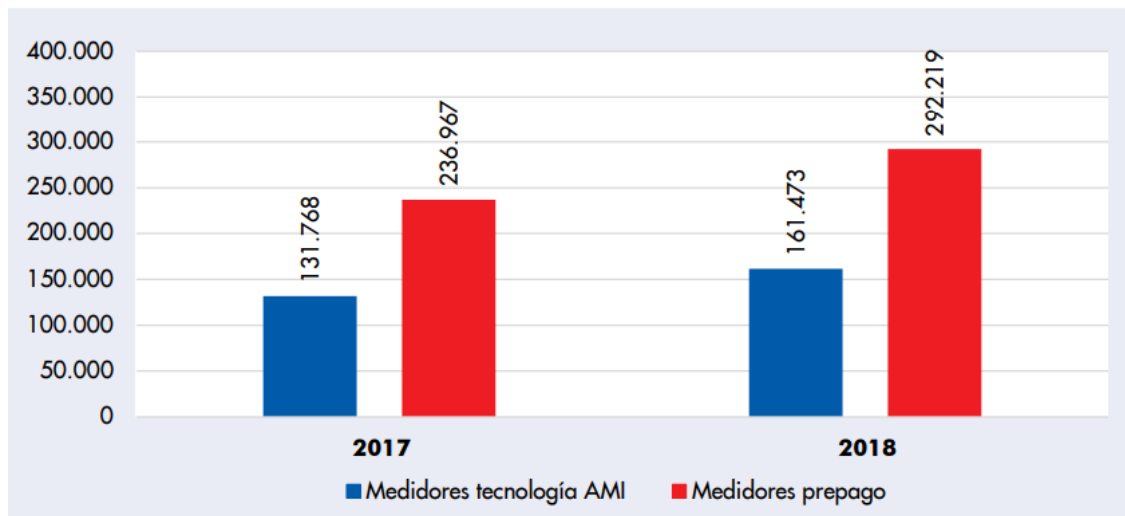


Figura 20: Medidores de Energía, Evolución 2017 Vs 2018.
 Fuente: tomado de (Asocodis, s. f.)

5.2.3 Fase 3 - Impactos de la incorporación de los Recursos Energéticos Distribuidos

En el informe “Retos y oportunidades para la distribución y la comercialización de energía eléctrica en la era de los recursos energéticos distribuidos y mercados digitales” realizado por el Cier, Cocier y Colombia inteligente, se presentaron los resultados de un taller con expertos en el cual buscaban identificar un mapa de acciones para el modelo de remuneración y regulación del negocio de distribución y comercialización (Cocier & Colombia inteligente, 2019).

Este estudio muestra el impacto de los modelos de negocio soportados en recursos distribuidos “DER” sobre la remuneración de las actividades. Alguno de los impactos son (Cocier & Colombia inteligente, 2019):

- Disminución de la demanda, se identifica que los clientes optimizarían su consumo de energía e inclusive se podría presentar pérdida de clientes, ya que estos podrían autoabastecerse.
- Cambios en la forma de uso de las redes y expansión: metodología de asignación de costo
- Expansión de red: obras disparadas por micro generación. La expansión del sistema de distribución puede verse afectado ya que los recursos requeridos para esta actividad serán aportados cada vez por menos usuarios en la medida que se generaliza la generación distribuida, por tanto impactaría a los usuarios que no implementan DERs.
- Las plantas de energía virtuales y la provisión de servicios auxiliares a través de los recursos de energía distribuida, los sistemas de almacenamiento con baterías eléctricas, la inclusión de los prosumidores en la agregación y remuneración de recursos.
- Generación de factores como remuneración de activos por "Price Cap" o "Revenue Cap", el valor del WACC y la demanda que participa en el pago por el uso de la infraestructura, este tipo de modelo de negocio ya está siendo implementado a nivel mundial, así se describe en la fase de estrategias implementadas a nivel mundial, modelo de negocios.
- Impacto en la calidad y confiabilidad de las redes. La instalación masiva de los DERs tiene impactos la frecuencia, la cargabilidad y la regulación de tensión de las redes, generando necesidades de mayores inversiones para el mantenimiento y expansión de la red.
- Aumento en los activos y costos de estos, impactando aumento en la tarifa del negocio de distribución (Cocier & Colombia inteligente, 2019).
- Los usuarios con menor capacidad financiera serian quienes asumirán la mayor tarifa, dado que no tendrían capacidad para desarrollar soluciones de energía renovable.

También es importante considerar como impacto positivo que la implementación de los DER basados en recursos renovables viabiliza soluciones y prestación de servicios de mejor calidad, sin embargo aún se tiene un nivel bajo de adopción para la digitalización de la información que se genera con los recursos energéticos (Cocier & Colombia inteligente, 2019).

Otro aspecto importante para considerar es que la conexión de los DER en las redes de distribución implica una serie de impactos relacionados con la planeación y operación de estos agentes. La

atomización de la red comienza a ser una pieza importante para optimizar la operación del sistema eléctrico.

Finalmente, como un gran impacto se identifica el cambio en la forma en que se planean y se operan los sistemas de distribución a partir de la conexión de los DER.

La integración de recursos energético trae consigo un gran reto como es la creación de un mercado más flexible, lo que impacta la estructura actual de funcionamiento del sector eléctrico y el mercado.

Algunos de los impactos estarían relacionados con los cambios en el marco institucional y regulatorio. Por lo cual sería necesario revisar la estructura del MME, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), con el fin que ellos propongan estrategias que disminuyan las barreras de impactos que trae consigo estas transformaciones (Barrera et al., 2019).

5.2.4 Consolidación y análisis de la información

A partir de la revisión de literatura y desarrollo de la metodología se identificaron variables que pueden incidir en la adaptación de las empresas de servicios públicos de distribución ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos - DER, específicamente la generación distribuida. Algunas de las variables son:

1. Incremento potencial en la flexibilidad del sistema.
2. Costos de tecnología e infraestructura.
3. Cambios reglamentarios requeridos.
4. Cambios requeridos en el papel de los actores.

Para el caso de las empresas de distribución de Colombia y teniendo en cuenta las variables anteriores y las estrategias que se han venido desarrollando, se podría decir que las más acordes para la transformación y/o creación de modelos de negocio de este tipo de empresas son:

1. Desarrollar el rol de integradores de los distribuidores y trabajo colaborativo con los transmisores, nuevos agentes, etc.
2. Implementar una gestión adecuada de sus activos del sistema considerando generación distribuida.
3. A nivel país establecer un plan para la actualización de la infraestructura de este agente.
4. Fortalecimiento de la relación de usuarios y distribuidores, OR.
5. Mantener actualizado el marco político y regulatorio de manera flexible, ágil y asertiva, de tal forma que brinde señales adecuadas a los agentes. (Cocier & Colombia inteligente, 2019).
6. Desarrollar procesos de optimización y automatización para la estabilidad de la red.

A continuación, se presentan algunas de las propuestas clasificadas de acuerdo con las variables definidas anteriormente:

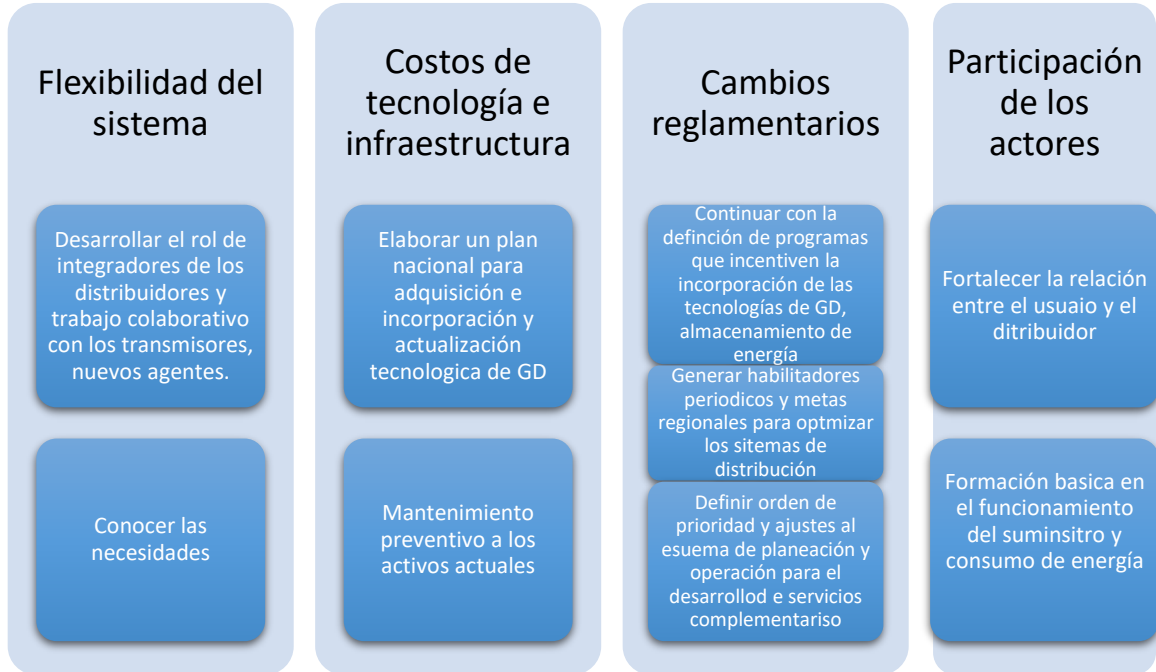


Figura 21: Propuestas de adaptación para las empresas de servicios públicos de energía ante los DERs
Fuente: Elaboración propia a partir de (Colombia inteligente, 2020)

En la Figura 21: Propuestas de adaptación para las empresas de servicios públicos de energía ante los DERs, se presentan 4 bloques que corresponden a las variables más representativas bajo las cuales se realizó la clasificación de las estrategias de adaptación.

La flexibilidad del sistema para la prestación de servicios públicos es una condición necesaria para realizar una integración confiable y segura de los DERs, y así poder garantizar un servicio de energía a costos eficientes. Esta flexibilidad permitiría integrar nuevas funcionalidades en los esquemas de operación de las redes (transmisión /distribución), lo que facilita garantizar la optimización de las inversiones de infraestructura y la eficiencia operativa de sus redes. De esta manera se contribuye al desarrollo de economías de escala, mitigación de riesgos y acceso conjunto al mercado, de manera que se convierte en una forma de acelerar el desarrollo de este tipo de recursos en los sectores residencial, comercial e industrial. (Colombia inteligente, 2020).

Con el desarrollo de las estrategias de costos de tecnología e infraestructura se esperaría fomentar el crecimiento de la industria colombiana en la producción de bienes y servicios relacionados a los DERs. Por otra parte, con las estrategias enmarcadas en la reglamentación regulatoria, se busca actualizar el marco regulatorio para la integración de recursos energéticos distribuidos y así habilitar las condiciones y mecanismos para que los diferentes actores tengan una participación más activa en estas iniciativas. También se esperaría definir y establecer los requisitos y criterios técnicos para la conexión y operación de los DERs., así como la adecuada gestión de los impactos que estos generan.

Finalmente, la participación de los usuarios son clave para fomentar los DERs, por tanto, es importante contar con una caracterización de las preferencias de los usuarios para instalar recursos energéticos distribuidos, priorizando el tipo de incentivos que se requieren para jalonar dichas iniciativas del gobierno y de las empresas prestadoras de servicio, y a su vez contribuir al desarrollo del mercado eléctrico colombiano.

Estas estrategias propuestas no son una guía de "cómo hacer" la adaptación de las empresas de servicio públicos de distribución de energía ante la incorporación de generación distribuida sino más bien un intento para identificar y/o validar desde el panorama de la innovación y del contexto colombiano como potencializar el crecimiento del sector eléctrico ante las tendencias mundiales de los recursos energéticos distribuidos.

Además de las propuestas mencionadas anteriormente, también se destaca otras acciones en las que Colombia ha venido incursionando en materia de respuesta a la demanda, almacenamiento de energía, etc. Algunas de estas son (Colombia inteligente, 2020):

- Realizar investigaciones en el comportamiento del almacenamiento, especialmente en baterías.
- Identificación de los lugares óptimos para las instalaciones de los dispositivos de almacenamiento, lo cual permite minimizar la congestión de las redes eléctricas, la inversión en los sistemas y pérdidas eléctricas
- Desarrollo de estudios técnicos con el propósito de evaluar los beneficios y aplicaciones para soportar la operación del sistema eléctrico. Sin embargo, no se encontraron con aplicaciones operaciones a gran escala en el país

Otras alternativas identificadas son almacenamiento centralizado y descentralizado,

Se debe tener en cuenta que dada las características del sector eléctrico de Colombia en el cual hay una regulación rigurosa toda estrategia que se vaya a implementar con enfoque de desarrollo sistémico, debe ser analizada por las instituciones responsables de las políticas y regulaciones como lo son la UPME y la CREG, para el caso colombiano.

Así mismo, se resalta como los diferentes modelos de negocio descritos en Fase 2 - Tendencias tecnológicas y desafíos del sector eléctrico no funcionarán ni tendrán el mismo efecto en todos los países, ya que como se ha mencionado a lo largo del documento, cada estrategia debe analizarse bajo un contexto específico, desde el funcionamiento del mercado y contexto regulatorio. Esto último es el que agiliza o viabiliza la implementación de unos modelos de negocio más que otros (Larrea Basterra & Bilbao Ozamiz, 2020).

Se reitera que, para implementar estrategias de adaptación de las empresas de distribución, se debe tener en cuenta que un elemento viabilizador para el desarrollo de sus modelos de negocio es el marco jurídico, las políticas y regulación.

Otra consideración importante identificada en los capítulos anteriores, son los beneficios que los recursos energéticos generan en los sistemas de distribución siempre y cuando se implementen estrategias adecuadas y de manera organizada.

Como se observó en este trabajo, países como Estados Unidos, Alemania y España, entre otros, han venido realizando aprovechamiento de los activos ya conectados, optimizando la operación de sus redes directa o indirectamente mediante el uso de las tendencias tecnológicas tales como la digitalización. Es importante mencionar que los distribuidores deberían ampliar su rol y sus responsabilidades en la gestión de los nuevos recursos que se conecten a la red (IRENA, 2019).

También es importante considerar que cualquier estrategia que se implemente, debe realizarse de manera gradual con el fin de minimizar los impactos. Se considera prudente que vaya acompañada de procesos de gestión de cambio con los usuarios.

Finalmente se puede decir que para seleccionar las mejores estrategias de adaptación de las empresas de sector eléctrico y considerando el panorama mundial, se debe considerar la participación de las instituciones políticas y regulatorias, ya que son las llamadas a adecuar y generar habilitadores para jalonar el desarrollo del sector.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusiones del trabajo final

La regularización en del sector eléctrico en Colombia, se encuentra bien detallada y regida por varias Leyes, Decretos y Resoluciones, cuya implementación se encuentra a cargo de las entidades competentes del estado, las cuales se encuentran limitadas en tiempo y ejecución en comparación con la implementación de las transformaciones tecnológicas y recursos energéticos distribuidos que se empiezan a ejecutar por las empresas de energía a nivel mundial.

Las demoras en la implementación de las transformaciones tecnológicas y recursos energéticos distribuidos por parte de las empresas del sector eléctrico en Colombia se debe a los impactos negativos generados por la denominada espiral de la muerte que según los estudios citados se aprecia en el corto plazo y se visualiza con mayor fuerza en el largo plazo; ya que a pesar que la principal fuente de generación de energía en Colombia es la hídrica, el 30,7% de la generación de energía es por medio de térmicas la cual sirve como respaldo de las grandes empresas generadoras para mantener altas las tarifas y/o precio de venta según el parámetro de cargo por confiabilidad, es por esta razón que las empresas alargan el tiempo de la implementación de estas tecnologías y trabajan al ritmo de los entes regulatorios con el fin de mantener estables sus utilidades.

Se identifica que tanto los operadores de redes de baja tensión como los comercializadores presentan el panorama más difícil en el mercado energético a largo plazo, es por ello por lo que las empresas prestadoras del servicio eléctrico que dentro de su operación contienen estas actividades deben ajustar sus modelos de negocio a partir de las tendencias DERs, específicamente por los avances de la Generación Distribuida (DG).

Las empresas de servicios públicos de energía, para innovar en la transformación o creación de su modelo de negocio deben de enfocarse en conocer de primera fuente la necesidad de los consumidores, saber cómo generarles valor. Para ello es importante que tenga en cuenta la experiencia de sus competidores, identificar cuáles han sido los factores de éxito y fracaso, de esta manera la construcción de su estrategia será más asertiva.

Se prevé que cuando se implemente completamente los DERs en las empresas de energía, se va a presentar un dinamismo en sus fuentes de ingreso ya que al contar con un portafolio diversificado se esperaría que la fuente de ingresos regulados disminuya considerablemente. Las empresas de distribución en conjunto con los transmisores son las que tienen mayores oportunidades para transformar sus modelos de negocios.

6.2 Conclusiones asociadas con el logro de los objetivos definidos

6.2.1 Objetivo específico 1: Caracterizar el funcionamiento del sector eléctrico en Colombia desde el punto de vista regulatorio, institucional y operacional

En el capítulo 5.2.1 y subcapítulos relacionados se describe cada uno de los ítems que caracterizan el sector eléctrico en Colombia, el cual se encuentra ampliamente regulado a través de sus leyes, decretos y resoluciones, para cuya implementación son técnicamente reguladas por las entidades, instituciones y asociaciones que componen el sector energético en Colombia. Se destaca la integración que existe entre cada uno de los agentes que componen la cadena de operación del mercado energético (comercialización, distribución, generación y transmisión) los cuales deben competir en un medio regido por subasta con reglas claras y altamente vigilado para el bien de los usuarios. La principal fuente de generación es la hidráulica con el 68,3% y la segunda con 30,7% es térmica, igualmente la empresa que cuenta con la mayor participación como agente trasmisor es ISA con el 85% del mercado. Con esta información se da por cumplido al objetivo específico 1.

6.2.2 Objetivo específico 2: Identificar las tendencias tecnológicas y desafíos que enfrentan las empresas del servicio público de energía eléctrica

En el capítulo 3.1 del presente trabajo se hace una descripción general de las tendencias energéticas, encontrando que la transformación de los sistemas energéticos se basan en la descentralización, digitalización y electrificación, generando un reto enorme a los reguladores del sector energético a nivel mundial, ya que este también debe ser transformado para cumplir con los cambios que generan estas tendencias. Posteriormente en el capítulo 5.2.2 se describe de forma detallada cada una de estas tendencias y la incorporación de los recursos distribuidos, cuyos modelos de almacenamiento de energía, gestión de la demanda y autogeneración contribuyen a la descentralización.

Como desafíos del sector se presentan las modificaciones en los modelos de negocio y la evolución de la competitividad, presentando herramientas como la construcción de modelos analíticos que reducen los costos de las empresas de servicio eléctrico. Dentro de las transformaciones de los modelos de negocio se presenta una desintegración del mismo, cambiando de ser un prestador o vendedor de un servicio a convertirse en un gestor de redes hasta un facilitador de valor añadido, debido a la integración de la cadena de operación y prestación de nuevos servicios y clientes. Con la descripción de estos capítulos se da por cumplido el objetivo específico 2.

6.2.3 Objetivo específico 3: Evaluar el impacto de la incorporación de los recursos energéticos distribuidos en el modelo de negocio de las prestadoras del servicio público de energía eléctrica

En el capítulo 5.2.3 se hace una descripción de los impactos generados por la incorporación de los recursos energéticos distribuidos, detallando las variables y condiciones que generan este impacto,

se describen las estrategias de adaptación de los modelos de negocio de las empresas para minimizar sus consecuencias. Con esta información se da por cumplido el objetivo específico 3.

6.2.4 Objetivo general: Proponer estrategias de adaptación para las empresas prestadoras del servicio público de energía eléctrica ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos en Colombia

En los capítulos 5.2.3 y 5.2.4 se identifican las estrategias de adaptación de las empresas ante la incorporación de los recursos energéticos distribuidos, haciendo énfasis en la consolidación y análisis de la información recolectada e implementación en otros países, dando cumplimiento al objetivo general del Trabajo Final.

6.3 Trabajos futuros

- Caso de estudio del modelo de negocio de una empresa prestadora de servicio de energía en colombiana, análisis bajo escenarios de acciones individuales Vs colectivos para adoptar los DER.
- Análisis detallado de las barreras nacionales de un tipo de agente específico, para el desarrollo de generación distribuida; por ejemplo, operadores de servicio de redes a baja tensión.
- Análisis que integre cada uno de los agentes del sector según las tendencias tecnológicas a implementar en cada uno de ellos.
- Estudios de los casos de transformación de la regulación en otros países y su implementación en Colombia.

7 REFERENCIAS

- Acolgen, A. C. de G. de E. E. (s. f.). *Capacidad instalada en Colombia*. Recuperado 10 de abril de 2020, de <https://www.acolgen.org.co/>
- Álvaro Hermana, R., Larrea Basterra, M., & Álvarez Pelegrý, E. (2018, julio). Autoconsumo eléctrico. Normativa actual y experiencias internacionales de promoción del autoconsumo. *Instituto Vasco de Competitividad-Fundación Deusto*, 39, 157.
- Asocodis, A. C. de D. de E. E. (s. f.). *Evolución Sectorial de la Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica en Colombia 2010-2018* (p. 104). Asociación colombiana de Distribuidores de Energía Eléctrica. http://asocodis.org.co/administrator/components/com_archivos/docs/49fee671f49d7b81eada348cb505046c-INFORME-ASOCODIS-VER7NOV2019-impresion-compressed.pdf
- Bain & Company. (2018). *Frameworks for the Future of Electricity: Leading the Transformation through Multistakeholder Cooperation*. http://www3.weforum.org/docs/Frameworks_Future_Electricity_2018.pdf
- Balza, L., Espinasa, R., & Serebrisky, T. (2016). *¿Luces encendidas?: Necesidades de energía para América Latina y el Caribe al 2040*. <https://publications.iadb.org/handle/11319/7361>
- Barrera, F., Escobar, A., Maiguashca, M., & Rudnick, H. (2019). *Documento Foco 5: Institucional y Regulatorio Misión de transformación energética*. file:///C:/Users/1066175755/Documents/UN/Bibliografia_trabajo%20de%20grado/5.+Revisión+Institucional+y+Regulatorio.pdf
- Battle, C. (2014). *Análisis del impacto del incremento de la generación de energía renovable no convencional en los sistemas eléctricos latinoamericanos | Publications* (p. 63). <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/An%C3%A1lisis-del-impacto->

del-incremento-de-la-generaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADa-renovable-no-convencional-en-los-sistemas-el%C3%A9ctricos-latinoamericanos.pdf

BID, B. I. (2014). *Infraestructura sostenible para la competitividad y crecimiento inclusivo*.

<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6398/Infraestructura%20sostenible%20para%20la%20competitividad%20y%20el%20crecimiento%20inclusivo%20-%20Estrategia%20de%20Infraestructura%20del%20BID.pdf>

Booth, A., de Jong, E., & Peters, P. (2018, enero). *Accelerating digital transformations: A playbook for utilities*. McKinsey.

<https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/accelerating-digital-transformations-a-playbook-for-utilities>

Burger, S. P., & Luke, M. (2017). Business models for distributed energy resources: A review and empirical analysis. *Energy Policy*, 109, 230-248.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.007>

Castaneda, M., Franco, C. J., & Dyner, I. (2017, mayo 20). Evaluating the effect of technology transformation on the electricity utility industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

11.

CIDET. (2019). *Taller Asociados*. [https://rdstation-](https://rdstation-static.s3.amazonaws.com/cms%2Ffiles%2F58643%2F1558725842taller_asociados_2.pdf?utm_campaign=boletin_asociados_cidet_-_conclusiones_taller&utm_medium=email&utm_source=RD+Station)

[static.s3.amazonaws.com/cms%2Ffiles%2F58643%2F1558725842taller_asociados_2.pdf?utm_campaign=boletin_asociados_cidet_-_conclusiones_taller&utm_medium=email&utm_source=RD+Station](https://rdstation-static.s3.amazonaws.com/cms%2Ffiles%2F58643%2F1558725842taller_asociados_2.pdf?utm_campaign=boletin_asociados_cidet_-_conclusiones_taller&utm_medium=email&utm_source=RD+Station)

Cocier, & Colombia inteligente. (2019). *RETOS Y OPORTUNIDADES PARA LA DISTRIBUCIÓN Y LA*

COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA ERA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS Y MERCADOS DIGITALES.

http://www.cocier.org/images/2019/SITE/1319_Resultados_taller_SITE_2019.pdf

Colombia inteligente. (2020). *Recursos energéticos distribuidos: Acciones para su integración*.

<https://www.energiamayorista.com.co/memorias/memorias-mem-2018/>

Comisión de Regulación de energía y Gas - CREG. (2014, mayo). *MARCO REGULATORIO SECTOR ENERGÉTICO EN COLOMBIA.*

https://www.creg.gov.co/sites/default/files/marco_regulatorio_sector_energia.pdf

Comité Asesor de Comercialización del Sector Eléctrico. (s. f.). Recuperado 18 de abril de 2020, de

<http://www.cac.org.co/2016/html/quienes.html>

Congreso de la república. (1994a). *Ley 143 de 11/07/1994.*

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

Congreso de la república. (1994b). *Leyes 142 de 11/07/1994.*

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

Congreso de la república. (2014). *Ley 1715 del 13/05/2014.*

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

Congreso de la república. (2017). *Ley 1844 de 14/07/2017.*

http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1844_2017.html

CREG. (1996). *Resolución CREG-128-1996.*

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/6d80254869fe37130525785a007a603c?OpenDocument>

CREG. (1998). *RESOLUCION CREG-119-1998; Art. 1.*

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/2f614bdf06ce0210525785a007a5ff5?OpenDocument>

CREG. (1999). *Resolución CREG-042-1999.*

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8dc091c529e7917e0525785a007a5d23?OpenDocument>

CREG. (2015a, febrero 12). *RESOLUCIÓN No. 011 DE 2015*.
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/84e16439657b002b05257e52005011b5>

CREG. (2015b). *Resolución 24 del 13/03/2015*.
[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. (2016). *RESOLUCIÓN No. 029 DE 2016*.
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/11d218ae3d892c1605257f70004ed535>

CREG. (2018). *Resolución 30 del 26/02/2018*.
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/\\$FILE/Creg030-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/83b41035c2c4474f05258243005a1191/$FILE/Creg030-2018.pdf)

CREG, C. D. R. D. E. Y. G. (2010). *RESOLUCIÓN No. 063 (27 ABR. 2010)*.
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/1b8ad1b4ea9d21660525785a007a72b3>

Departamento Nacional de Planeación, R. de Colombia. (2018). *Documento CONPES 3934. Política de crecimiento Verde*. <http://www.andi.com.co/Uploads/CONPES%20CV%203934.pdf>

Dyner, I., & Franco, C. J. (2018). *Ocaso de un paradigma, Hacia un nuevo modelo eléctrico* (Primera Edición). FCE, UTADCO.

EEB. (s. f.). *Sector energético en Colombia*. Empresa de Energía de Bogotá.
<http://www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/transmision-de-electricidad/sector-energetico-en-colombia>

EEMO, E. E. M. O. (2016). *Los retos del mercado eléctrico empujan a las utilities a adaptar sus modelos de negocio a través de la innovación*. Capgemini- Observatorio Europeo de los Mercados de

- la Energía 2016, 18ª Edición. <https://www.capgemini.com/es-es/news/los-retos-del-mercado-electrico-empujan-a-las-utilities-a-adaptar-sus-modelos-de-negocio-a/>
- Gómez, A. G. (s. f.). *EL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO*. Recuperado 27 de enero de 2020, de <http://www.xm.com.co/Documents/PDF/SectorElectricoColombiano.pdf>
- Gutiérrez Zapico, A. (2019, junio 12). *La importancia de las redes de distribución para la transición energética*. II Seminario Internacional Transformación de la Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica y su Regulación. Nuevas Tendencias en la Era de la Energía Distribuida, Bogotá.
- Hardinge-Bailey de Amorim, R. E. (2019, junio 12). *Recursos Energéticos Distribuidos en el Brasil: Desafíos, oportunidades y el papel del regulado*. II Seminario Internacional Transformación de la Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica y su Regulación. Nuevas Tendencias en la Era de la Energía Distribuida, Bogotá.
- IEA. (2019). *World Energy Outlook 2019 – Analysis*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- IRENA. (2019). *Innovation landscape for a renewable-powered future. Solutions to integrate variable renewables* (International Renewable Energy Agency). </publications/2019/Feb/Innovation-landscape-for-a-renewable-powered-future>
- Larrea Basterra, M., & Bilbao Ozamiz, M. (2020, febrero 24). Modelos de negocio en recursos distribuidos. *Cuaderno Orkestra*, 64/2020. https://www.researchgate.net/publication/339450094_Modelos_de_negocio_en_recursos_distribuidos
- Llanos Beltran, M. (2019, junio 12). *Experiencias en generación distribuida en Colombia- CELSIA*. II Seminario Internacional Transformación de la Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica y su Regulación. Nuevas Tendencias en la Era de la Energía Distribuida, Bogotá.

- Ministerio de Minas y Energía. (2019). *Metodología y resultados de la estimación del Índice de Cobertura de Energía Eléctrica ICEE - 2018* (p. 33).
<http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturaDelSistemaInterconectadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>
- MinMinas, UPME, & Colombia inteligente. (2017). *ACCIONES PARA LA TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO*.
https://www.upme.gov.co/Memorias_Seminarios_sp/eventoWEF/eventoWEF.html#
- MME. (2014a). *Decreto 2469 de 3/12/2014*.
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36864-Decreto-2469-02Dic2014.pdf>
- MME. (2014b). *Decreto 2492 del 3/12/2014*.
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/36863-Decreto-2492-03Dic2014.pdf>
- MME. (2015). *Decreto 1073 del 26/05/2015*. <https://www.minenergia.gov.co/decreto-unico-reglamentario>
- MME. (2017). *Decreto 348 del 1/03/2017*.
<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20348%20DEL%2001%2003%20MARZO%20DE%202017.pdf>
- MME. (2018). *Resolución 40072 del 29/01/2018*.
https://www.minenergia.gov.co/documents/10180//23517//47695-res_40072_290118.pdf
- Molina Castro, J. D., Sanchez Ochoa, D. E., & Buitrago, L. (2019, diciembre). *Integración de los recursos energéticos distribuidos en el sistema eléctrico colombiano*. <https://cidet.org.co/integracion-de-los-recursos-energeticos-distribuidos-en-el-sistema-electrico-colombiano/>

- Narayan, K. (2016, octubre 28). Los retos del mercado eléctrico empujan a las utilities a adaptar sus modelos de negocio a través de la innovación. *Capgemini España*.
<https://www.capgemini.com/es-es/news/los-retos-del-mercado-electrico-empujan-a-las-utilities-a-adaptar-sus-modelos-de-negocio-a/>
- Nillesen, P. H., & Pollitt, M. G. (2016, diciembre). *New Business Models for Utilities to Meet the Challenge of the Energy Transition*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/304817367_New_Business_Models_for_Utillities_to_Meet_the_Challenge_of_the_Energy_Transition
- ONU, O. de las N. U. (2016). *ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE: POR QUÉ ES IMPORTANTE*.
https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/7_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- ONU. (2018, junio 20). La agenda de desarrollo sostenible necesita un impulso urgente para alcanzar sus objetivos. *Desarrollo Sostenible*.
<https://news.un.org/feed/view/es/story/2018/06/1436322>
- OVTT, O. virtual de transferencia de tecnología. (2016). *CICLO DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA*.
https://www.ovtt.org/guia_innovitech_vigilancia_tecnologica_innovacion
- Pérez González, E. (2018). *Energética 2030: Retos de la Integración de Recursos Energéticos Distribuidos*. <https://www.energiamayorista.com.co/wp-content/uploads/2018/11/2018-11-01-08-30-Energetica-2030-Retos-de-la-Integracion-Ernesto-Perez.pdf>
- Pérez, O. (s. f.). *Mercado Mayorista de Energía Eléctrica: Comercialización de Energía en Colombia*.
- Picardo Tejera, M. (2019). *Ficha sector. Sistemas de gestión de respuesta a la demanda eléctrica (VPP) en Australia 2019* (p. 11). <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2019818631.html?idPais=AU>

PROEXPORT COLOMBIA. (2010, junio 22). *Sector eléctrico, Invierta en Colombia*. 28.

Que es la Upme. (s. f.). Recuperado 18 de abril de 2020, de <http://www.upme.gov.co/QUpme.html>

Romero, E. (2009). *El problema energético mundial*.

http://benasque.org/2009fronterasenergia/talks_contr/064ERP-Problema_Ener.pdf

SSPD. (s. f.). *Funciones | Superservicios—Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*.

Recuperado 18 de abril de 2020, de <https://www.superservicios.gov.co/nuestra-entidad/quienes-somos/funciones>

SSPD, S. de S. P. D. (2019). *Boletín Tarifario DIRECCIÓN TÉCNICA DE GESTIÓN DE ENERGÍA SUPERINTENDENCIA DELEGADA PARA ENERGÍA Y GAS COMBUSTIBLE* (p. 30).

https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Boletines/2020/Abro/boletin_tarifario_energia_iv_trim-2019_150420.pdf

Triviño, N. (2017, junio 29). *¿Qué nuevo rol tendrá la distribución en el sistema eléctrico según el*

“Paquete de Energía Limpia” de la Comisión Europea? | Energía y Sociedad.

<http://www.energiaysociedad.es/boletin/que-nuevo-rol-tendran-los-distribuidores-dsosen-el-sistema-electrico-segun-el-paquete-de-energia-limpia-de-la-comision-europea/>

Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME. (2018, noviembre). *BOLETÍN ESTADÍSTICO DE MINAS Y ENERGÍA 2016—2018*.

http://www1.upme.gov.co/PromocionSector/SeccionesInteres/Documents/Boletines/Boletin_Estadistico_2018.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME. (2015a). *PLAN ENERGETICO NACIONAL COLOMBIA:*

IDEARIO ENERGÉTICO 2050.

http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME (2015b). *Resolución 281 del 5/06/2015*.

https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/18995913/res_281.pdf/6077cb6c-dabc-43fc-8403-cb1c5e832b37

Vanegas López, J. G., & Cataño Rojas, J. G. (2012). Modelos de gestión energética: Revisión de algunas experiencias internacionales y perspectivas para Colombia. *Trilogía*, 6, 17.

<https://doi.org/10.22430/21457778.49>

Wei, J., Sanborn, S., & Slaughter, A. (2019, abril 9). *Digital transformation and the utility of the future*.

Deloitte Insights. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/digital-transformation-utility-of-the-future.html>

XM. (s. f.-a). *Estructura del mercado*. Recuperado 18 de abril de 2020, de

<http://www.xm.com.co/corporativo/Paginas/Nuestra-empresa/que-hacemos.aspx>

XM. (s. f.-b). *Número de agentes por actividad*. Recuperado 18 de abril de 2020, de

<http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/caracteristicas.aspx?q=numero>

XM. (s. f.-c). *Parametros Tecnicos del SIN*. Recuperado 18 de abril de 2020, de

<http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/default.aspx>

XM. (2019). *Informe General del Mercado* (p. 77).

http://www.xm.com.co/Informes%20Mensuales%20de%20Analisis%20del%20Mercado/00_General_Mercado_12_2019_v2.pdf

XM. (2020). *Informe Mensual de Demanda de Energía Febrero 2020*.

http://www.xm.com.co/Informes%20Mensuales%20de%20Analisis%20del%20Mercado/01_Informe_Demanda_y_Fronteras_02_2020_v2.pdf

Zangrandi, R. (2019, julio 12). *Recursos Energéticos Distribuidos Nuevo Paradigma Futuro o Fantasía*.

<https://www.cocier.org/index.php/en/invitacion-site-2019/informacion-comercial/128-eventos/site-2019/1616-memorias-site-2019>