

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS OBSTÁCULOS A LA
IMPLEMENTACIÓN DE REDES INTELIGENTES EN COLOMBIA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Economista

AUTOR

Daniela Bolívar Maya

Laura Montoya Jaramillo

ASESOR

Gustavo Adolfo López Álvarez

UNIVERSIDAD EAFIT 2018

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

MEDELLÍN

Índice de contenido

1. Introducción	3
2. Objetivos	7
2.1 Objetivo General	7
2.2 Objetivos Específicos	7
3. Metodología	7
4. Marco teórico	8
4.1 El sector eléctrico colombiano	8
4.2 Redes Inteligentes	11
4.2.2 Tecnologías de Redes Inteligentes en Colombia.....	13
4.2.3 Ventajas de las Redes Inteligentes	15
4.2.4 Redes Inteligentes en el ámbito internacional.....	17
4.3 Regulación en Colombia	22
5. Análisis	25
6. Conclusiones	28
7. Referencias.....	30

Índice de figuras

Figura No. 1.....	7
Figura No. 2	13
Figura No. 3	25

Índice de tablas

Tabla No. 1.....	20
Tabla No. 2.....	23

1. Introducción

La implementación de Redes Inteligentes a nivel internacional nació de la necesidad cada vez más palpable del uso más eficiente de energía para mantener las comodidades a las cuales está acostumbrada gran parte de la población, ya que permite disponer de más información, y que viene ligada a un consumo creciente de energía proveniente de fuentes tradicionales. El aumento de la demanda junto con la contaminación que de ella proviene en parte, genera la necesidad de usar fuentes renovables y accesibles a cualquier tipo de consumidor, como son la eólica, la solar, la geotérmica, y la hidráulica, entre otras.

Países como Australia, Brasil, Chile, Estados Unidos y Reino Unido tienen grandes avances en el tema de energías renovables y en la implementación de Redes Inteligentes, que tienen como finalidad modernizar la estructura eléctrica tradicional con el uso de fuentes amigables con el medio ambiente y con más información para los usuarios acerca de sus consumos.

Estados Unidos desde hace algún tiempo, en algunos de sus Estados, ha venido implementando una serie de interconexiones de Redes Inteligentes que permiten el vínculo de usuarios con pequeñas redes de energía renovable, que disponen de más información en tiempo real que permite tener control sobre su producción y consumo. Sin embargo, la infraestructura de EEUU difiere mucho de la de Colombia y es por esto, que es importante estudiar otros mercados como Australia, Brasil, Chile y Reino Unido, que poseen una estructura de construcción similar a la del país, llevan también muchos avances y pruebas en el tema y han generado inversiones para suplir su demanda futura y, a la vez, generar respuesta ante problemáticas ambientales que los aquejan.

También, es importante tener en cuenta que para los países en vía de desarrollo esta modernización de la red eléctrica supone un reto mayor, ya que conlleva a gastos económicos muy altos. Desde inicios de este siglo, en Colombia se han buscado vías legales que incentiven la implementación de energías amigables con el medio ambiente, como la Ley 1715 que establece incentivos a los empresarios y beneficios de varios tipos, especialmente tributarios, para que vean atractiva la implantación de fuentes renovables de energía en el país.

Respaldando todo lo anterior, el Trabajo Final de Maestría “Barreras técnicas en las redes de transmisión eléctrica colombianas que dificultan la evolución a redes eléctricas inteligentes”

(Roldán, 2014) y el documento “Smart Grids Colombia Visión 2030” desarrollado por el Grupo Técnico Proyecto Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2016, plantean a profundidad en el ámbito ambiental y técnico el tema que se desarrollará a lo largo del trabajo, y serán guía importante del contenido que se expondrá en la monografía.

La finalidad de este trabajo de grado es conocer las estrategias que se utilizan a nivel internacional en el sector eléctrico, específicamente en la implementación de Redes Inteligentes, para la generación de eficiencia y confiabilidad a largo plazo en el ámbito económico y ambiental; permitiendo tener un desarrollo rentable y sostenible. También se hace una comparación del esquema colombiano con respecto a las estructuras desarrolladas y los retos que enfrentan otras economías del mundo que serían comparables para el caso nacional. La eficiencia y la confiabilidad se ven reflejadas en la disminución de costos de producción, la posibilidad de almacenar energía, la disponibilidad de más información para los usuarios acerca del consumo de energía eléctrica, de un modo seguro

y en tiempo real, y la conexión de pequeños generadores de energías de origen eólico, térmico, solar, entre otras, los cuales podrán comprar y vender energía; aspectos muy importantes que se diferencian de las redes tradicionales y se podrán distinguir mediante la revisión de literatura.

Se espera un aumento significativo en cuanto eficiencia en cada una de las fases que componen la producción de energía, y así obtener energía de buena calidad que pueda satisfacer realmente las necesidades del consumidor, siendo productor y consumidor al tiempo, pues así se reducirán las pérdidas, ya que se podrá almacenar la que no se utilizó o venderla a otros demandantes. Además, se espera que la información asimétrica que tienen los consumidores disminuya progresivamente, haciendo que estos tengan información en tiempo real que les permita tomar decisiones racionales sobre su consumo, basados en las tarifas cambiantes a unas demandas determinadas. Lo anterior, refleja un fortalecimiento en la confiabilidad de los usuarios que les permite conocer información a la que antes no tenían acceso y, a la vez, contar con la seguridad que proveerá la Red Inteligente mediante el sistema informático privado asociado a cada persona.

Adicionalmente, con este trabajo se espera conocer los vacíos en la regulación colombiana frente a Redes Inteligentes, puesto que actualmente esta tiene normas que cobijan las fases que componen el proceso energético tradicional y un primer acercamiento a las energías renovables que hoy en día están aumentando su popularidad gracias a la gran cantidad de beneficios que surgen de ella. Es importante aclarar que la implementación de este sistema en el contexto colombiano no necesariamente requiere la instalación de energías renovables, ya que la red se puede comportar de manera inteligente sin que la energía

provenza de energías limpias. No obstante, en este trabajo se abordará conjuntamente el tema ya que lo que se conoce como

“Smart Grids” requiere la interacción de una serie de características, de las cuales las energías limpias hacen parte debido a la eficiencia a mediano y largo plazo que generan.

Para el desarrollo de este trabajo inicialmente se hará una caracterización del sector eléctrico colombiano, detallando las fases de la cadena de suministro y las principales entidades reguladoras. Luego, se introducirá al tema de Redes Inteligentes, conceptualizándolo y especificando las tecnologías necesarias para su implementación en el país, y teniendo un primer acercamiento a los proyectos de los casos exitosos en Australia, Brasil, Chile, Estados Unidos y Reino Unido, que permiten un contraste con Colombia y su regulación, para dar lugar a un análisis de la viabilidad de la réplica de sus principales características en el caso nacional.

Finalmente, en los resultados se encontrará que Colombia está preparado para acoger las Redes Inteligentes en su territorio, pues a nivel de infraestructura, regulación e investigaciones tiene las bases necesarias para implementar las tecnologías asociadas a este nuevo sistema. No obstante, debe trabajar en fortalecer el apoyo económico del sector público y privado, cuya interacción hará posible la actualización de la red tradicional trayendo múltiples beneficios para los usuarios y para las empresas prestadoras cuya confiabilidad en la prestación del servicio será fortalecida.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar una revisión de literatura de los casos exitosos en la implementación de Redes Inteligentes, mediante el estudio de los casos de Australia, Brasil, Chile, Estados Unidos y Reino Unido para inferir posibles aplicaciones en la red eléctrica colombiana.

2.2 Objetivos Específicos

- Señalar los obstáculos a la implantación de las Redes Inteligentes mediante el estudio de la regulación colombiana con el fin de observar qué obstruye su implementación en el país.
- Identificar las principales variables relacionadas con Redes Inteligentes que ayudan a mejorar la eficiencia en la prestación del servicio mediante la revisión literaria de los casos exitosos en Australia, Brasil, Chile, Estados Unidos y Reino Unido.
- Investigar qué resultados se han obtenido de las experiencias exitosas en el mundo que permitan mejorar la eficiencia y confiabilidad del usuario a través de la búsqueda de información afín.

3. Metodología

Como metodología, se realizará una revisión de literatura que permita identificar los principales aspectos que impiden la implementación de Redes Inteligentes en el sector eléctrico colombiano, mediante la lectura y consolidación de información referente al

tema. En dicha revisión bibliográfica, se incluirá una radiografía sintetizada de la estructura del sector eléctrico en Colombia, de las Redes Inteligentes y las tecnologías ligadas a estas, junto con la experiencia internacional de generación y distribución de energía a través de dicha red. Además, de una revisión a la regulación colombiana frente al tema de implementación de energías renovables y el manejo del sector eléctrico nacional.

4. Marco teórico

4.1 El sector eléctrico colombiano

El sector eléctrico colombiano hoy en día está compuesto por un sistema tradicional que compone el proceso energético en el país. La cadena de suministro está compuesta por 4 fases: generación, transmisión, distribución y comercialización, todas encargadas de llevar la energía al usuario final.

Figura No.1 *Sistema tradicional del proceso energético colombiano*



Fuente: Grupo Energía Bogotá. (s.f.)

Según el libro “Análisis de mercados de electricidad” (Trespacios, Pantoja, Fernández, 2017) en la generación o producción se da la primera transformación de energía proveniente de la naturaleza, para convertirla en energía eléctrica en las centrales generadoras, etapa donde se presencia mucha competencia, ya que la selección de plantas

generadoras se da a través de subastas a sobre cerrado. En Colombia, las hidroeléctricas normalmente proporcionan aproximadamente el 80% de energía demandada por los consumidores y en presencia de fenómenos climáticos como El Niño, esta proporción cambia a un 50% producida por plantas térmicas.

Siguiendo con el proceso de transmisión, se hace referencia al transporte de la energía mediante cables y por medio de subestaciones compuestas por equipos especiales que incrementan y disminuyen el voltaje para hacerlas llegar a todas las zonas del país (rurales y urbanas), para así iniciar la fase de distribución que, por medio de redes de baja tensión, la llevan a los usuarios finales. Por último, se da la comercialización, etapa donde se da la administración del sistema y recaudo del dinero cobrado por los agentes que hacen parte del proceso energético.

Para garantizar al consumidor final calidad y buen servicio, y que la cadena de abastecimiento se cumpla en orden y sea acorde al proceso, existen algunas entidades colombianas con roles importantes en el sector eléctrico del país. Pudiendo destacar:

- La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, s.f.) define sus funciones así:

“Regular la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica, gas combustible y servicios públicos de combustibles líquidos, de manera técnica, independiente y transparente; promover el desarrollo sostenido de estos sectores; regular los monopolios; incentivar la competencia donde sea posible y atender oportunamente las necesidades de los usuarios y las empresas de acuerdo con los criterios establecidos en la Ley”.

- La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, s.f.), es la encargada de “planear de manera integral el desarrollo minero energético, apoyar la formulación de política pública y coordinar la información sectorial con los agentes y partes interesadas” (UPME, s.f.), basándose en las condiciones demográficas, económicas y precios de los recursos, además de elaborar el Plan Energético Nacional y el Plan de Expansión del Sector Eléctrico, en concordancia con el proyecto del Plan Nacional de Desarrollo.
- El Ministerio de Minas y Energía (MINMINAS, s.f.), tiene la responsabilidad de:

“Administrar los recursos naturales no renovables del país asegurando su mejor y mayor utilización; la orientación en el uso y regulación de estos, garantizando su abastecimiento y velando por la protección de los recursos naturales del medio ambiente con el fin de garantizar su conservación, restauración y el desarrollo sostenible, de conformidad con los criterios de evaluación, seguimiento y manejo ambiental, señalados por la autoridad ambiental competente”.

También se puede mencionar a la Superintendencia de Servicios Públicos, Domiciliarios (SSPD), al Centro Nacional de Despacho (CND), al Consejo Nacional de Operación (CNO), que se encargan de vigilar y controlar el buen funcionamiento en cada uno de los aspectos que componen el sector eléctrico colombiano.

Es importante mencionar, según los autores Trespalcios, Pantoja y Fernández (2017) la presencia de un mercado liberalizado, donde se da la existencia de inversionistas públicos y privados que tienen como meta recuperar la inversión del mercado a largo plazo, y así poder suplir las necesidades de los consumidores garantizando siempre el abastecimiento de energía eléctrica en todo el país, que se puede realizar a través del Sistema

Interconectado Nacional (SIN) donde el suministro eléctrico se da por medio de equipos de generación y transmisión de uso común, o a través de las zonas no interconectadas (ZNI) que hace referencia a las regiones del país que deben ser acogidos por sistemas aislados que poseen una regulación especial.

Los usuarios del SIN, están clasificados en un mercado regulado y un mercado no regulado, de cada uno se puede destacar que los usuarios regulados son usuarios industriales, comerciales y residenciales con un consumo mensual menor a 55MW/h y no pueden hacer negociaciones sobre el costo del suministro eléctrico, pues las tarifas para este tipo de usuarios están reguladas por la CREG y van a depender del estrato socioeconómico al que pertenecen. Mientras que los usuarios no regulados, consumen grandes cantidades de energía (mayores a 55MWh en un mes) y pueden negociar libremente los precios de energía directamente con cualquier comercializador (BID, 2016).

4.2 Redes Inteligentes

4.2.1 Definición de Red Inteligente

Hoy en día no existe una única definición que incluya todo el significado de lo que es una Red Inteligente, debido a los avances tecnológicos han venido apareciendo nuevas aplicaciones y funcionalidades que hacen de este concepto algo diferente con el paso del tiempo (BID, 2016).

A continuación, se mencionan algunas definiciones de varias instituciones y autores:

- Según el Estudio de la situación actual de las Smart Grid (Cabeza López-Vázquez, 2016, pp. 20) explica que una Red Inteligente es:

“Un esquema que combina diversas tecnologías, concretamente las que están vinculadas a la comunicación y el control, que transforman dicha red eléctrica en un modelo distribuido, aumentando su nivel de confianza, disponibilidad y reduce el costo de la energía”.

- En el documento Smart Grids Colombia 2030, se citan otras definiciones de instituciones importantes que se destacan en el sector eléctrico, como Electric Power Research Institute (EPRI) y el Smart Grid European Technology Platform (ETP SG) que definen las Redes inteligentes así:

EPRI (Electric Power Research Institute) define Smart Grid como:

“Una red que incorpora las tecnologías de la información y comunicación en cada aspecto de la generación, suministro y consumo de electricidad, con el objetivo de minimizar el impacto medioambiental, mejorar los mercados, mejorar la fiabilidad y el servicio, reducir costos y aumentar la eficiencia” (Electric Power Research Institute, s.f., citado por BID 2016).

ETP SG (Smart Grid European Technology Platform) define la red inteligente como:

“Una red que integra de forma inteligente las acciones de todos los usuarios conectados a ella –generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas– para suministrar electricidad de forma eficiente, sostenible, económica y segura” (Smart Grid European Technology Platform, s.f., citado por BID 2016).

También, el término “Redes Inteligentes” es una manera comercial para identificar el servicio ofrecido por las diferentes compañías eléctricas, y es por esto que no se ha concebido una referencia técnica (Comisión Electrotécnica Internacional, 2010, citado por El-hawary 2014).

4.2.2 Tecnologías de Redes Inteligentes en Colombia

Según el BID (2016), existen tecnologías que hacen posible el paso de un sistema tradicional a una Red Inteligente en Colombia, las cuales se explican una a una a continuación:

- **Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)**

Esta tecnología facilita la toma de decisiones de los usuarios, debido a que mide el estado de la red de cada uno por medio de Contadores Inteligentes que favorecen la comunicación entre los agentes participantes intermedios, como comercializadoras y empresas de servicios energéticos con el usuario final, beneficiándolo ya que podrá tener a la mano toda la información sobre su consumo, ahorro y generación de energía. Esta tecnología se caracteriza por:

- Ayudar a disminuir los costos de operación, ya que los usuarios podrán a la vez pedir disminuciones en la potencia de energía, disminuyendo sus facturas ajustándolo a sus necesidades reales, y los empleados de la compañía no tendrán que desplazarse a realizar estos cambios, haciéndolo de una forma ágil y segura.
- Permitir a los usuarios disponer de toda la información de la red eléctrica incluyendo lo que tienen disponible para el consumo, lo que consumen, han consumido en periodos pasados y generan en tiempo real, datos útiles para consumidores y generadores a la vez, tales como los precios y consumos horarios.

- **Automatización de la Red (ADA)**

Tecnología encargada de mejorar la continuidad y la calidad de la energía generada, caracterizándose por mejorar el suministro de energía, disminuyendo los tiempos de

reparación y reposición de daños e incidencias ocasionados en la red, por medio del Self-Healing que

“consiste en la automatización total del proceso de detección y localización de fallas y reposición de suministro, lo cual minimiza el tiempo de interrupción de suministro” (BID, 2016)

- **Recursos Distribuidos (DER)**

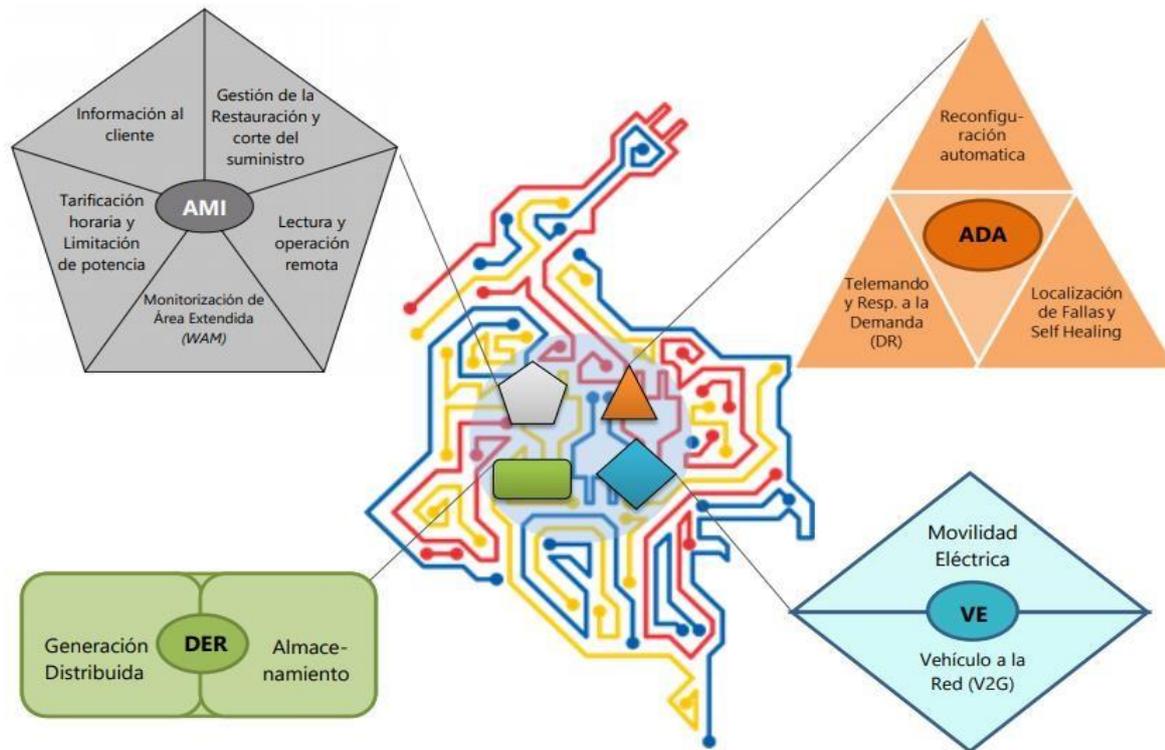
Esta tecnología se caracteriza por brindar la opción de almacenar la energía y de generarla en baja tensión, aumentando la eficiencia y la calidad, disminuyendo la dependencia de otras fuentes de generación, dándole la oportunidad a los usuarios de ser consumidores y generadores al mismo tiempo.

- **Vehículo Eléctrico (VE)**

Esta tecnología está en pro del cuidado del medio ambiente, teniendo como objetivo la sustitución de la mayoría de vehículos que en la actualidad trabajan con combustibles fósiles por vehículos eléctricos, aumentando la eficiencia del sector eléctrico en cuanto a la movilidad de los usuarios, cargando las baterías con recursos energéticos en cualquier momento que el usuario desee hacerlo.

En la Figura No. 2 se muestra una síntesis de las características principales y más representativas de cada una de las tecnologías mencionadas anteriormente, con el fin de conocer las posibles aplicaciones de estas en el sector eléctrico colombiano:

Figura No. 2 Principales funcionalidades para el desarrollo de Redes Inteligentes en Colombia



Fuente: BID, 2016

4.2.3 Ventajas de las Redes Inteligentes

Para Vargas Tobón (2017) las ventajas se evidencian en:

- Disminución de la asimetría de información en el mercado de energía, esto se ve reflejado en que los usuarios mediante las Redes Inteligentes tendrán unos medidores de consumo (contadores inteligentes) que les permitirá tomar decisiones racionales, guiados en las tarifas que varían dependiendo del comportamiento de la demanda del mercado a lo largo del día; permitiendo una reducción del consumo en horas pico donde la energía es más costosa y de aprovechamiento en horas con poco movimiento. Lo anterior, se traduce en un mercado más eficiente, donde los consumidores son participantes activos, que se comportan de manera racional y hacen que la demanda de consumo tienda a aplanarse y no presente fluctuaciones tan fuertes.

- Reducción de la pérdida de energía, directamente relacionado con la ventaja anterior, ya que los usuarios para aprovechar las tarifas más llamativas en horarios de baja demanda van a emplear la energía que en condiciones normales se desperdiciaría.
- A nivel ambiental, un gran beneficio es que la implementación de estas redes reduce la contaminación producida por la quema de hidrocarburos, puesto que se implementan nuevos generadores eólicos y solares, y a la vez la reducción de la demanda en horas populares permite usar principalmente fuentes amigables con el medio ambiente. La instauración del vehículo eléctrico contribuirá a la mejoría en la contaminación, al tener la posibilidad de ser cargado con energía que proviene de fuentes no convencionales y en cualquier momento donde la demanda energética no sea muy alta.

Las ventajas anteriormente mencionadas tienen una relación directa con los programas de respuesta de demanda, que consisten en una modalidad de respuesta por parte del usuario a las tarifas dinámicas o incentivos que define el comercializador de energía, permitiendo así una constancia en la confiabilidad en el sistema y una mejora de la eficiencia en la prestación del servicio (Vargas Tobón, 2017).

Según el documento “Smart Grids y la evolución de la red eléctrica” Fedit. (2011) con la implementación de las Redes Inteligentes se espera fomentar la participación de los usuarios en el sector eléctrico, brindar a los usuarios mejores y más amplios servicios gracias a las mejoras en la calidad de la energía generada de forma eficiente, por medio de sensores y computación que permite, a su vez, la integración del mercado por medio de comunicación entre redes.

4.2.4 Redes Inteligentes en el ámbito internacional

Las Redes Inteligentes en la mayoría de los países se encuentra en un estado temprano. Sin embargo, es pertinente destacar algunas economías que han hecho inversiones importantes en el tema, y desarrollan proyectos piloto que permiten a los mercados captar en gran medida los beneficios de este tipo de redes, y mejorar la eficiencia en el consumo de energía.

En lo que sigue se va a hacer una breve descripción del desarrollo en el tema para Australia, Brasil, Chile, Estados Unidos y Reino Unido, puesto que son economías cuyo progreso en el tema es significativo y podría adaptarse al caso colombiano.

- Australia

En el año 2009, el gobierno australiano anunció el proyecto “Smart Grid, Smart City” cuyo objetivo es promover y generar incentivos para la inversión privada en Redes Inteligentes, que apoyen la iniciativa del Gobierno que destinó AUD 100 millones para avanzar en la implementación e identificar la respuesta de los consumidores ante esta red (BID, 2016).

Fedit (2011) prevé que Australia en los próximos años sustituirá poco a poco las fuentes tradicionales con energías renovables, de la mano con el compromiso de su Gobierno de disminuir las emisiones contaminantes, por lo menos un 5% para el año 2020 y un 60% para el año 2050, esto surge de un proceso de cambio en la regulación respecto al tema y la actualización de la tecnología de la industria energética del país.

- **Brasil**

Brasil es uno de los mercados que lleva mayores avances en el tema de Redes Inteligentes en América Latina, los autores Lee, S., Lee, Y. y Paredes, J. (2012) plantean que, del total de la capacidad energética del país, el 81% corresponde a fuentes renovables, cifra lograda gracias a la inversión de USD 6,9 mil millones en energía eólica, energía hidráulica, energía proveniente de residuos, y biocombustibles (UNEP BNEF, 2011, citado por Lee, S., Lee, Y. y Paredes, J. 2012). Además, para aumentar la calidad del suministro y reducir las pérdidas en este mercado, el Ministerio de Minas y Energía nombró un grupo que centrará su estudio y resultados únicamente en Redes Inteligentes, con el fin de generar proyectos que integren la tecnología y la eficiencia.

Lee, S., Lee, Y. y Paredes, J. (2012) enumeran algunos proyectos que se están desarrollando en torno a este tipo de redes: CPFL, el cual maneja una subestación inteligente; CEE, en cuanto a ondas portadoras analógicas; CELG, referente al uso de tecnologías de comunicación para la supervisión del suministro de electricidad; Ampla adelanta un proyecto en Búzios de ciudad inteligente; y Celpe está desarrollando adecuaciones de redes en la Isla Fernando de Noronha; entre otras de índole similar que se están instalando en alrededor del territorio (Pinto 2012, citado por Lee, S., Lee, Y. y Paredes, J. 2012).

Roldán Zapata (2014) argumenta que Brasil realizó el cambio de infraestructura a causa de la creciente demanda de energía y como respuesta a los tratados internacionales de tipo ambiental a los cuales está suscrito; de esta manera, a la vez que mejora su infraestructura, logra reducir la contaminación y tener un impacto menor en el cambio climático. También,

Roldán Zapata destaca otros proyectos piloto que se llevan a cabo: Ciudades del Futuro en Minas Gerais,

INOVCITY en Sao Paulo, y un proyecto de sensores instalado por el Grupo Electrobras en Amazonas; que mejoran la eficiencia en cuanto a prestación del servicio al cliente se refiere.

- Chile

Chile es uno de los países que se está abriendo a la era de las Redes Inteligentes, según Lee, S., Lee, Y., y Paredes, J. (2012), de su capacidad eléctrica casi el 40% corresponde a fuentes renovables; inversión que surgió debido a que gran parte de su energía era dependiente de las centrales hidroeléctricas con pequeña capacidad y el restante era importada, generando en ocasiones escasez de energía ante una demanda creciente. Por esto, Chile viene desarrollando una serie de proyectos piloto de Redes Inteligentes que le auguran un sistema eléctrico más sofisticado que responda a la demanda; entre ellos se distingue el proyecto ejecutado en Santiago por Chilectra, donde se implantaron a consumidores finales cien contadores inteligentes, a la vez que se automatizó su funcionamiento para asegurar la eficiencia energética (Nigris y Coviello, 2012, citado por Lee, S., Lee, Y. y Paredes, J. 2012). Asimismo, el gobierno chileno ejecutó un proyecto piloto de paneles solares en el pueblo de Huatacondo, que pretende ser el primero de varios que tienen en planes (Lee, S., Lee, Y., y Paredes, J. 2012).

Respecto a la regulación que maneja Chile para el desarrollo de este tipo de redes, el BID (2016) destaca la Ley conocida como “Net metering y generación distribuida”, donde se autoriza a los consumidores finales que cuenten con generadores de tipo renovable a conectarse a la red de distribución. Además, en “la Hoja de Ruta 2050 – Hacia una Energía

Sustentable e Inclusiva para Chile” se establece una política en materia de energía, que tiene el objetivo de modernizar la red con tecnologías como la *AMI*, y con una participación de los usuarios en programas de respuesta de demanda que le permitan al sector ser cada vez más eficiente (BID, 2016).

- **Estados Unidos**

El crecimiento de la demanda energética en Estados Unidos, junto a los retos que trae el cambio climático a nivel internacional, encuentra en las Redes Inteligentes una solución innovadora que permite responder a necesidades de la comunidad, moderniza la red, a la vez que introduce en el marco regulatorio un sistema que trae grandes beneficios para la eficiencia en el mercado energético y la confiabilidad de los usuarios (Roldán Zapata, 2014).

Sin embargo, se presentan algunas complicaciones para la implementación de estas redes, Roldán Zapata (2014) resalta dos de ellas: la regulación entre los Estados que difiere de uno a otro, y la obsolescencia tecnológica de la infraestructura en algunos puntos de la cadena de transmisión; inconvenientes que el Estado trata de disminuir incentivando las investigaciones e inversiones en la actualización de la tecnología y la conexión de fuentes renovables de energía (Lin, Yang, & Shyua, 2013).

El BID (2016) señala como objetivos generales de este tipo de redes: diversificar a nivel de generación las fuentes, y lograr un cambio en la forma como usan los usuarios la red; y para lograrlo ha implementado tecnologías como la *AMI*, además de otras tecnologías de la comunicación, contadores y sensores inteligentes, en las que existe participación de

los consumidores y seguridad informática, que permite la confiabilidad en el sistema y la mejora del sector.

Estados Unidos, para el desarrollo de las Redes Inteligentes ha implementado una serie de tecnologías en ciertos Estados, dentro de las cuales se destaca la interconexión PJM, que Vargas Tobón (2017, pp. 18-19) define como:

“La interconexión PJM es una organización de transmisión que coordina el movimiento de la electricidad en todo o parte de 13 Estados de Estados Unidos y el Distrito de Columbia. PJM opera un mercado de electricidad al por mayor competitivo y gestiona la electricidad de alto voltaje para garantizar la fiabilidad del sistema”.

Además de otros proyectos piloto que el BID (2016) señala, entre los que se encuentran: Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project, Smart Texas y Houston’s Smart Grid.

- Reino Unido

El Reino Unido es uno de los países que más avances tiene en cuanto a regulación al respecto de las Redes Inteligente; este cambio fue motivado por los compromisos internacionales de reducción de las emisiones de dióxido de carbono, y de producción energética de al menos 15% de fuentes renovables a las que se ha inscrito la nación. En el año 2010 se instauró el modelo “RIIO” (Revenue: incentives + innovation + outputs), cuya intención era impulsar la adopción de medidas innovadoras en el sector de energía con el fin de otorgar incentivos a los consumidores empresariales que se unieran a esta propuesta (Crispim, Braz, Castro, & Esteves, 2014). Mientras, la alternativa para los consumidores finales de los hogares está dada por la comparación entre la producción de fuentes renovables y consumo de energía, conocida como filosofía *Carbono Cero*, que surge de

los incentivos de calor renovable (RHI) mediante los cuales se suministran tarifas de acuerdo a la producción térmica (Balta-Ozkan, Davidson, Bicket, & Whitmarsh, 2013, citado por Roldán Zapata 2014).

El BID (2016), distingue una serie de características que fortalecen el panorama de Reino Unido para el establecimiento efectivo de este tipo de redes alrededor del país: Determinación de las responsabilidades para desarrollar Redes Inteligentes y realizar un panel de aprendizaje respecto al tema, a cargo de Electricity Network Strategy Group (ENSG); la posibilidad de acceder a financiamiento para innovaciones en el sector; la intensiva instalación de contadores inteligentes en empresas y hogares; y la participación activa de la sociedad en portales de aprendizaje.

4.3 Regulación en Colombia

Tabla No. 1 *Regulación colombiana referentes a energía renovables y Redes Inteligentes*

Regulación	Temática
Resolución CREG 40072 de 2018	Establece los lineamientos para la implementación de nuevas tecnologías acordes a la medición de energía eléctrica
Proyecto de Resolución CREG 001 de 2018	Establece la obligatoriedad de hacer público el proyecto de resolución “Por la cual se regulan las actividades de generación distribuida y autogeneración a pequeña y gran escala en las zonas no interconectadas”.
Decreto 570 de 2018	Norma que plantea un nuevo mecanismo de mercado que promueva proyectos energéticos dedicados a la diversificación, aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía, seguridad energética y desarrollo sostenible.

Resolución CREG 030 de 2018	Establece la regulación respecto a la autogeneración de pequeña escala, donde usuarios y empresas podrán generar energía con métodos diferentes a los tradicionales y vender los excedentes al sistema interconectado nacional (SIN). Asimismo, se establecieron los procedimientos mediante los cuales el consumidor podrá participar del proceso de generación.
Proyecto de Resolución CREG 121 de 2017	Ordena hacer público el proyecto de resolución “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional”.
Decreto 1543 de 2017	Norma que permitió la creación del Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (Fenoge), que apoya la investigación en proyectos destinados a energías limpias.
Ley 1715 de 2014	Norma que busca impulsar la integración de energías renovables a la red eléctrica tradicional para lograr un manejo eficiente y confiable de este mercado. Dicha ley, establece los lineamientos legales para incentivar la inversión en este tipo de energías mediante estímulos de tipo arancelario y fiscal, lo que está ligado a un compromiso por el desarrollo sostenible que han instaurado las diferentes economías en la última década. Igualmente, la norma es declarada como tema de interés social, lo cual trae consigo inversiones económicas de tipo gubernamental importantes para impulsar el sector y el compromiso activo de la sociedad en este.
Ley 1215 de 2008	Adopción de medidas referentes a la generación de energías, especialmente de biomasa como una fuente de producción para vender energías restantes.
Decreto 3683 de 2003	Concibe la Comisión Intersectorial de Uso Racional de Energía (CIURE) cuya función está enfocada en aconsejar al sector público respecto al tema del uso de energía de forma eficiente.

Ley 788 de 2002	Ley a través de la cual se le dan incentivos en la renta a aquellas empresas que vendan o importen maquinaria que produzca energía de fuentes renovables y reduzcan el gas de efecto invernadero.
Ley 697 de 2001	Establece para el Ministerio de Minas y Energía la función de fomentar el uso de energías alternativas de forma amigable con el ambiente.
Decreto 1682 de 1997	Mediante el cual se elimina el INEA y traslada sus funciones a la UPME.
Ley 143 de 1994	Ley en la que se designa a la UPME como el ente encargado de realizar el Plan Energético Nacional (PEN) y a la vez se responsabiliza al Estado de la aplicación de pautas ambientales en dicho sector.
Ley 142 de 1994	Establece los lineamientos a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) respecto a la autogeneración y cogeneración de energía.
Decreto 2119 de 1992	Decreto a través del cual se encarga al Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas (INEA) la ejecución de planes de tipo científico y tecnológico para aumentar el uso de fuentes alternas de generación de energía.
Ley 51 de 1989	Mediante la cual se instaura el ente encargado de la planeación energética en el país, la Comisión Nacional de Energía, cuya función es admitir programas de generación de energía diferentes a la tradicional y de gestar la energía para las zonas no interconectadas (ZNI)

Fuente: Elaboración propia a partir de Comisión de Regulación de Energía y Gas (2018); Ortiz, Sabogal y Hurtado (2012); Unidad de Planeación Minero Energética (2014); Ministerio de Minas y Energía (s.f.); Semana. (2018).

5. Análisis

Partiendo de los casos exitosos estudiados, se hará un análisis de los proyectos piloto implementados en dichos mercados teniendo en cuenta las características principales de cada uno, con el fin de analizar la viabilidad en Colombia.

Tabla No. 2 *Análisis de casos exitosos internacionales en Colombia*

País	Característica del proyecto	Viabilidad	Justificación
Australia	Generar incentivos para la inversión privada.	Sí	En la regulación colombiana vigente se han establecido incentivos de tipo arancelario y fiscal con el fin de promover la inversión en energías sostenibles.
	Sustituir las fuentes tradicionales por energías renovables.	Sí	Actualmente la mayor cantidad de energía producida en Colombia proviene de fuentes hidráulicas (fuente limpia y renovable), sin embargo, se están implementando fuentes alternativas como la eólica y solar.
Brasil	Grupo interdisciplinario dedicado al estudio de Redes Inteligentes.	Sí	En Colombia se está desarrollando la iniciativa "Colombia Inteligente" que cuenta con un grupo interdisciplinario dedicado a todo lo que abarca la implementación de Redes Inteligentes.

	Ciudad Inteligente / Isla Inteligente.	No	Para el éxito de esta iniciativa se requiere el compromiso de toda la comunidad afectada, lo cual no es muy viable debido a la falta de cooperación de algunos ciudadanos.
Chile	Implementación de Contadores Inteligentes automatizados.	Sí	Empresas del gremio están incluyendo estas herramientas y desarrollando proyectos tentativos.
	Permiso a los proconsumidores de conectarse a la red de distribución.	Sí	En la regulación colombiana vigente se estableció normatividad que permite a los usuarios y empresas vender los excedentes en el sistema interconectado nacional.
Estados Unidos	Lograr un cambio en como los usuarios usan la red	Sí	Con la implementación de Redes Inteligentes, Colombia busca hacer más consiente a su comunidad del consumo eficiente de energía.
	Seguridad informática en las redes de transmisión de información.	Sí	Con la automatización de la red, se implementará al tiempo seguridad informática como característica necesaria para la implementación de Redes Inteligentes.
Reino Unido	Regulación exhaustiva en cuanto a Redes Inteligentes.	Sí	La normatividad colombiana ha integrado en su marco legal características bases de las Redes Inteligentes.

	Programas de Respuesta – Demanda.	Sí	Con la implementación de Contadores Inteligentes se prevé el surgimiento de tarifas dinámicas donde los consumidores responden a la demanda de energía.
--	-----------------------------------	----	---

Fuente: Elaboración propia a partir de BID (2016)

Según el documento “Metodología para la evaluación de proyectos piloto “Smart Grid” en Colombia” (2015), empresas del sector eléctrico colombiano han invertido en proyectos piloto de Redes Inteligentes según su área de interés en diferentes tecnologías que se destacan a continuación en la Figura No. 3

Figura No. 3 *Proyectos piloto Redes Inteligentes implementado por empresas colombianas*

Empresa	AMI	Movilidad eléctrica	Sincro fasores	Energías renovables	Micro-redes	Almacenamiento De energía
EPSA	X	X		X		
EMCALI	X			X		
ELECTRI-CARIBE	X					
EPM	X			X		
ESSA	X					
EBB		X				
XM			X			
ISAGEN				X		
CELSIA				X		
CODENSA	X			X	X	
IPSE				X		
CIDET						X

Fuente: Caicedo, Castillo, Morales, Echeverry y García (2015)

Para la implementación de estos proyectos piloto, es fundamental tener una planeación estratégica que permita evaluar y prever los diferentes riesgos que se puedan presentar durante la ejecución del mismo, también se debe tener en cuenta un plan de contingencia que abarque posibles soluciones y alternativas frente a dificultades u obstáculos que se

puedan presentar, esto con el fin de obtener buenos resultados que permitan altos niveles de eficiencia con el desarrollo de este nuevo sistema inteligente. Estos proyectos permiten evaluar las bases de las características principales de las Smart Grids permitiendo adecuar la estructura al contexto colombiano y generar planes de acción que permitan la réplica a gran escala de los proyectos que resulten exitosos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la regulación colombiana solo desde el año 2017 empezó a regular sobre temas directamente relacionados con Redes Inteligentes, sentando bases para nuevos proyectos de resolución que actualizan la normatividad vigente, para acoger las características propias de este sistema, y frente al tema de energías limpias el avance importante se dio desde el año 2014. Lo anterior, da a entender que es ahora cuando el tema empezará a tomar fuerza y a recibir mayor aceptabilidad por parte del público en general, y se mejorarán las investigaciones relacionadas con los ejes principales como lo son: la tecnología AMI y su aplicabilidad en el mercado colombiano con los contadores inteligentes, la autocatrización de las redes, la generación distribuida y posibles apariciones de vehículos eléctricos que sustituirán a los tradicionales, trayendo consigo gran cantidad de beneficios a nivel rentable y medioambiental.

6. Conclusiones

La monografía estuvo en gran parte basada en el documento del BID “Smart Grids Visión 2030”, alrededor de ella se abordaron las temáticas principales necesarias para una futura implementación de Redes Inteligentes en Colombia, además de la identificación de casos y proyectos exitosos alrededor del mundo que son punto de partida para la adaptación de las tecnologías necesarias en el mercado eléctrico nacional. Las economías seleccionadas para este estudio estuvieron determinadas por similitudes en infraestructura, organización

territorial, normatividad y/o forma de Gobierno; que permitieron hacer un análisis de los vacíos y posibles retos a los que se enfrenta Colombia para la implementación del sistema inteligente.

Con la implementación de Redes Inteligentes en Colombia se podrá generar una disminución de asimetría en la información, ya que con las tecnologías que está íntegra se tendrá un mercado eléctrico más eficiente donde los agentes participantes se comportarán de forma racional, haciendo que la demanda de consumo tienda a aplanarse, y así poder desarrollar una gestión de demanda activa y pasiva, reduciendo los picos en tiempos máximos de consumo. También, es importante mencionar que con este nuevo sistema se reducirán las pérdidas gracias a la detección de fallas en la red y se podrá generar y almacenar energía, lo que ayudará a disminuir la necesidad de inversión en el país destinada a sistemas tradicionales, aumentando la capacidad del sistema eléctrico colombiano, y además, brindar gran cantidad de beneficios a nivel ambiental, ya que se espera utilizar principalmente fuentes amigables con el medio ambiente que será un factor clave para reducir la contaminación.

Contrario a la hipótesis inicial que se tenía respecto a la falta de regulación colombiana para abarcar temas innovadores como las Redes Inteligentes, se encontró durante el estudio que en los últimos años se han creado bases normativas respecto a componentes importantes de la instalación de las tecnologías de Smart Grids. Los avances más significativos se ven en temas relacionados a los contadores inteligentes, la generación distribuida y las actividades de autogeneración a pequeña escala en zonas no interconectadas y en las ciudades, con la posibilidad para los proconsumidores de vender los excedentes al sistema interconectado nacional.

Se puede concluir entonces, que la instalación de Redes Inteligentes en Colombia es posible a nivel de infraestructura con la integración de las nuevas tecnologías a la red tradicional, lo anterior basado en los proyectos de éxito que se han realizado en mercados internacionales con sistemas estructurales similares a los del país, y que podrían ser replicados en el contexto nacional a nivel extensivo. Además, se observa actualmente un gran progreso en el país respecto a las Redes Inteligentes, con el desarrollo de proyectos piloto por parte de las compañías prestadoras de energía e instituciones de investigación, que pretenden impulsar el desempeño de la red incorporando en cada una de las etapas de la cadena de suministro energético las características que integran el conjunto de lo que se denomina “Smart Grids”.

Sin embargo, es necesario una inversión económica muy significativa en la actualización de estructuras obsoletas, especialmente en la red de distribución, y en otros elementos necesarios para implementar las tecnologías de Smart Grids, como los contadores inteligentes que hacen posible que estas redes se integren con la figura de autogeneración en casas y empresas mediante la integración de paneles solares, pequeñas centrales eólicas, sistemas térmicos, entre otros. La inversión debe provenir en mayor parte del sector público, pero el aporte del sector privado y de los empresarios es esencial para lograr la implementación de estas Redes en el país, fomentar las investigaciones acerca del tema, mejorar las plantas productivas con tecnología de este nuevo sistema e incorporar expertos en el desarrollo del tema.

7. Referencias

Banco Interamericano de Desarrollo, Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, e Iniciativa Colombia Inteligente. (2016). Smarts Grids

Colombia: Visión 2030 - Parte I. Obtenido de Unidad de Planeación Minero Energética - UPME. [en línea]. Fecha de consulta: 7 de marzo de 2018. Disponible en:
<http://www1.upme.gov.co/sala-deprensa/fotonoticias/smart-grids-colombia-vision-2030-mapa-de-ruta-para-la-implementacionde>

Cabeza López-Vázquez, J. (2016). Estudio De La Situación Actual De Las Smart Grids. [en línea]. Fecha de consulta: 7 de marzo de 2018. Disponible en:
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9143/386883.pdf?sequence=1>

Caicedo, Castillo, Morales, Echeverry y García. (2015). Metodología para la evaluación de proyectos piloto “Smart Grid” en Colombia. [en línea]. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2018.

Disponible en:
http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Smart%20Grids%20Colombia%20Visi%C3%B3n%202030/4_Part4_Anexo9_Proyecto_SmartGrids.pdf

Cochran M. (2016). Sector Eléctrico – Los términos (El ABC). Apuntes sobre energía. [en línea]. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2018. Disponible en:
<https://merlinken.wordpress.com/2016/02/25/sector-electrico-los-terminos-el-abc/>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2018). CREG definió las reglas para que usuarios puedan producir y vender energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional. Noticias [en línea]. Fecha de consulta: 7 de marzo de 2018. Disponible en:
<http://www.creg.gov.co/index.php/es/noticias/1571-boletin082018>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2018). Misión y Visión [en línea]. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2018. Disponible en:
<http://www.creg.gov.co/index.php/es/creg/quienes-somos/mision-vision>

Crispim, J., Braz, J., Castro, R., & Esteves, J. (2014). Smart Grids in the EU with smart regulation: Experiences from the UK, Italy and Portugal. *Utilities Policy*, 31, 85–93.
DOI:10.1016/j.jup.2014.09.006

Fedit. (2011). Smart Grids y la evolución de la red eléctrica. [en línea]. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2018. Disponible en: http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf

Grupo Energía Bogotá. (s.f.). Sector Energético en Colombia. [en línea]. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2018. Disponible en: <https://www.grupoenergiabogota.com/eeb/index.php/transmision-de-electricidad/sectorenergetico-en-colombia>

Lee, S., Lee, Y. y Paredes, J. (2012). Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles. Banco Interamericano de Desarrollo [en línea]. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2018. Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5753/Las%20redes%20inteligentes%20de%20energ%C3%ADa.pdf>

Lin, C.-C., Yang, C.-H., & Shyua, J. (2013). A comparison of innovation policy in the smart grid industry across the pacific: China and the USA. *Energy Policy*, 57, 119–132. DOI:10.1016/j.enpol.2012.12.028

Ministerio de Minas y Energía (s.f.). Ministerio. [en línea]. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2018. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/ministerio>

Ministerio de Minas y Energía (s.f.). Consulta Normatividad. [en línea]. Fecha de consulta: 10 de abril de 2018. Disponible en: <https://www.minminas.gov.co/normatividad>

Mohamed E. El-hawary. (2014). The Smart Grid State of the art and Future Trends, *Electric Power Components and Systems*, 42:3-4, 239-250, DOI: 10.1080/15325008.2013.868558

Ortiz Motta, D.C., Sabogal Aguilar, J., Hurtado Aguirre, E. (2012). Una Revisión A La Reglamentación E Incentivos De Las Energías Renovables En Colombia. Revista Facultad de

Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión [en línea], Vol. XX, número 2 (Diciembre)

ISSN 0121-6805. Fecha de consulta: 8 de marzo de 2018. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90925810009>>

Roldán Zapata, P. M. (2014). Barreras técnicas en las redes de transmisión eléctrica colombianas que dificultan la evolución a redes eléctricas inteligentes (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Antioquia.

Semana. (Abril de 2018). Leyes decisivas. Energías - Renovables es la apuesta. pp. 33

Trespalacios Carrasquilla, A., Pantoja Robayo, J.O., Fernández Taborda, O.A. (2017). Análisis del mercado de electricidad. Algunas nociones sobre electricidad. (pp. 40-41). Medellín:

Editorial Eafit. Fecha de consulta: 14 de marzo de 2018.

Trespalacios Carrasquilla, A., Pantoja Robayo, J.O., Fernández Taborda, O.A. (2017). Mercado eléctrico en Colombia. (pp. 45-50). Medellín: Editorial Eafit.

Unidad de Planeación Minero Energética. (2014). Ley 1715 13 de mayo de 2014. Normatividad

[en línea]. Fecha de consulta: 7 de marzo de 2018. Disponible en: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

Unidad de Planeación Minero Energética. (2013). Quienes somos. [en línea]. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2018. Disponible en:

<http://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/Quienes-Somos.aspx>

Vargas Tobón, L. (2017). Análisis económico del mecanismo de respuesta de la demanda del sector eléctrico en Colombia (Trabajo de Grado de Pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Antioquia.