



**Propuestas regulatorias para la inclusión de las redes inteligentes en
Colombia, aportando al desarrollo de las ciudades inteligentes en articulación con las
energías renovables**

Elkin Alexander Caro Acevedo

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Ingeniería

Asesor

Álvaro Jaramillo Duque, Doctor (PhD)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Caro Acevedo, 2022)
Referencia	Caro Acevedo, E. (2022). <i>Propuestas regulatorias para la inclusión de las redes inteligentes en Colombia, aportando al desarrollo de las ciudades inteligentes en articulación con las energías renovables</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Maestría en Ingeniería, Cohorte XXV.

Grupo de Investigación Manejo Eficiente de la Energía (GIMEL).



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Noé Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Retribuyo principalmente a mi familia, conformada por mi esposa, padres, hermano, sobrino y amigos, por el apoyo que me brindan para alcanzar mis sueños, tanto académicos como de la vida misma.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	4
Lista de Figuras.....	6
Lista de Tablas.....	8
Glosario.....	9
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Planteamiento del Problema.....	18
Marco Teórico y Estado del Arte.....	24
Diferentes Vías de Transición Energética Sociotécnica, el Caso de Alemania y el Reino Unido	24
Cambios en el camino a la transición energética.....	26
Infraestructura de medición avanzada AMI	30
El papel de las redes inteligentes en el sector eléctrico.....	33
Riesgos para considerar en la implementación de redes de transmisión inteligentes.....	40
El Papel de la generación distribuida y el despliegue de redes inteligentes	41
Análisis de la Situación Normativa y Regulatoria.....	43
Las redes inteligentes y su rol en los AMI	57
AMI en Colombia.....	58
Características del Sector Eléctrico Colombiano	60
Marco Jurídico de las Energías Renovables en Colombia.....	63
Decretos Reglamentarios de la Ley 1715 del 2014 como Base para las FNCER.....	66
Incentivos Tributarios Energías Renovables (FNCER) en Colombia: Marco Legal y Normativo.....	67
Tipos de Tarifas Horarias Aplicadas al Sector Residencial.....	73
Transición Hacia una Ciudad Inteligente	85
Modelos de Ranking para Medir Ciudades Inteligentes.....	87

Energía y Ciudades Inteligentes.....	90
Proyectos Actuales de Smart Cities	93
Metodología	95
Análisis de resultados de la investigación.....	99
Incentivos Financieros	100
Normas y Calidad	122
Discusión sobre la transición y evolución energética, hacia una ciudad inteligente	150
Ruta propuesta para la transformación de Medellín en una ciudad inteligente	155
Conclusiones.....	161
Referencias	169

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema simplificado del sistema de energía eléctrica	27
Figura 2. Esquema simplificado de una red inteligente.....	30
Figura 3. Esquema básico de comunicación bidireccional en la AMI	66
Figura 4. Participación por tecnología en la matriz eléctrica	68
Figura 5. Tipos de tarifas horarias	81
Figura 6. España: ejemplo de tarifa para residencias	91
Figura 7. La planificación de un método factible para la normatividad	108
Figura 8. Métodos normativos	110
Figura 9. Participantes de la encuesta.....	110
Figura 10. Resultados de conocimiento (mecanismos financieros con fondos públicos)	111
Figura 11. Resultado de conocimiento excepciones de impuestos y/o subsidios para sistemas RI	113
Figura 12. Resultados de conocimiento opción financiera específica para la inclusión de RI	114
Figura 13. Resultado de conocimiento excepciones de impuestos para apoyo de equipos y/o máquinas	119
Figura 14. Resultado de conocimiento nueva tarifa horaria aplicable a los clientes	120
Figura 15. Resultado de conocimiento para incentivos de almacenamiento de energía y su distribución	122
Figura 16. Resultado de conocimiento cargo por respaldo para los autogeneradores	125
Figura 17. Resultado de conocimiento si los prosumidores pueden vender los excedentes de energía a la red.....	127
Figura 18. Resultado de conocimiento una normativa o regulación dónde se considere la ciberseguridad de las redes eléctricas inteligentes.....	134

Figura 19. Resultado de conocimiento disposición y son de fácil acceso al público las normas técnicas para la ejecución de nuevos proyectos energéticos en tiempo real 139

Figura 20. Resultado de conocimiento origen de la normatividad sobre la inclusión de las FNCER..... 130

Figura 21. Resultado de conocimiento normas medioambientales sobre la disposición final de equipos eléctricos 142

Figura 22. Resultado criterio modelo ideal de una ciudad inteligente 145

Figura 23. Resultado criterio sobre que necesita Medellín para que llegue a ser considerada una ciudad inteligente 146

Figura 24. Resultado criterios de aspectos que se destaca la ciudad de Medellín actualmente 149

Figura 25. Resultado criterio sobre la conectividad a internet que ofrece la ciudad de Medellín a sus ciudadanos..... 151

Figura 26. Resultado consideración de movilidad en la ciudad de Medellín .. 153

Figura 27. Tiempo de viaje principales ciudades de Colombia 154

Figura 28. Resultado de consideración en la movilidad en la ciudad de Medellín es asequible económicamente..... 155

Figura 29. Resultado de consideración, cómo está la ciudad de Medellín con respecto a la infraestructura activa de electrolineras 156

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación técnica de la red eléctrica colombiana actual frente a una red inteligente	28
Tabla 2. Experiencias internacionales AMI	31
Tabla 3. Proyectos redes inteligentes, elaboración propia	37
Tabla 4. Conceptos normativos y definiciones para la generación distribuida..	43
Tabla 5. Niveles de tensión, rangos de potencia incentivos y tipos de fuente de energía para la GD	51
Tabla 6. Los puntajes de RISE	62
Tabla 7. Marco jurídico de las energías renovables en Colombia	69
Tabla 8. Incentivos tributarios energías renovables (FNCER) en Colombia: marco legal y normativo	75
Tabla 9. Incentivos Ley 1715 de 2014	77
Tabla 10. Tipos de tarifas al sector residencial	84
Tabla 11. Experiencias internacionales: Brasil, Uruguay y Perú	86
Tabla 12. Experiencias internacionales: España, Italia y Canadá	90
Tabla 13. Experiencias internacionales: Nueva York y Australia.....	93
Tabla 14. La Trilogía Urbana (The Urban Trinity) Tomado de Modelos de Ranking para Medir Ciudades Inteligentes 2019	99
Tabla 15. Iniciativas Smart City en función de su Enfoque Tomado de Modelos de Ranking para Medir Ciudades Inteligentes 2019	100
Tabla 16. Características de las Ciudades Inteligentes (sector energético, transporte y movilidad).....	102
Tabla 17. Proyectos actuales de Smart Cities	105
Tabla 18. Resumen de normativas e incentivos por país, América Latina, 2018..	149

Glosario

CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) en Colombia, define algunos conceptos necesarios para comprender cuáles son los tipos usuarios que consumen la energía en Colombia, y como éstos se pueden relacionar con el tema de las Smart Grids (CREG).

Eficiencia Energética: conjunto de técnicas que permiten optimizar y aprovechar al máximo los recursos en cualquier sistema de generación, conversión, distribución y utilización de energía.

Energía Eólica: es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

Energía Solar Térmica: energía térmica obtenida mediante la conversión directa de la radiación solar.

Frontera comercial: se define como la frontera comercial los puntos de conexión del equipo de medida entre el Operador de Red o el Comercializador y el Usuario, a partir del cual este último se responsabiliza por los consumos, y riesgos operativos inherentes a su Red Interna (CREG, 1998).

Medidor: es el aparato o dispositivo que mide la demanda máxima y los consumos de energía activa o reactiva o las dos. La medida de energía puede ser realizada en función del tiempo y puede o no incluir dispositivos de transmisión de datos (CREG, 1998).

Mercado de Comercialización: conjunto de Usuarios Regulados y No Regulados conectados a un mismo Sistema de Transmisión Regional y/o Distribución Local, servido por un mismo Operador de Red (OR), y los conectados al STN del área de influencia del respectivo OR (CREG, 2008).

Nodo: punto donde se conectan físicamente varios elementos de un sistema eléctrico. Normalmente es el barraje de una subestación (CREG, 2008).

Usuario Regulado: persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le denomina también consumidor. Para los efectos de esta Resolución se denominará Usuario Final (CREG ,2008).

Usuario No Regulado: para todos los efectos regulatorios, es una persona natural o jurídica con una demanda máxima superior a un valor en MW o a un consumo mensual mínimo de energía en MWh, definidos por la Comisión, por instalación legalizada, a partir de la cual no utiliza redes públicas de transporte de energía eléctrica y la utiliza en un mismo predio o en predios contiguos. Sus compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente entre el comprador y el vendedor (CREG, 2003).

Autogenerador a Pequeña Escala (AGPE): Autogenerador de energía con una potencia instalada igual o menor al límite definido en el art 1 de la Resolución UPME 281 de 2015 (1MW), estos se dividen en dos grupos, aquellos con capacidad inferior a 100 kW (residenciales) y los que se encuentran entre 100 kW y 1000 kW (pequeñas industrias o proyectos energéticos).

Acuerdo de Compra de Energía (Power-Purchase Agreement o PPA): es un contrato financiero suscrito entre dos partes, el vendedor de energía y el comprador de energía, donde el vendedor por lo general se encarga del desarrollo del proyecto y pacta un precio de energía con el comprador por un periodo fijo.

Excedentes de energía: incumbe a la energía disponible después de que un generador de energía (o prosumidor) ha suministrado su demanda.

Prosumidor: a partir del ámbito energético, un prosumidor es aquel que consume energía eléctrica y además la produce.

Certificados de Energía Renovable (Renewable Energy Certificate or REC): es una herramienta de mercado que acredita que la generación de energía a partir de fuentes de energía renovables y figura los derechos de propiedad de los atributos ambientales, sociales entre otros.

Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE): son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCE la energía nuclear o atómica y las FNCER. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCE según lo determine la UPME.

Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER): son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. Otras fuentes podrán ser consideradas como FNCER según lo determine la UPME.

Eficiencia Energética: es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles.

Resumen

Esta investigación se basó en la visión, panoramas y propuestas para la integración y transformación del sistema eléctrico colombiano al desarrollo de ciudades inteligentes, donde estas se conocen como un desarrollo urbano basado generalmente en la sostenibilidad social, política, ambiental, económica, entre otros.

Actualmente, son muchas las ciudades que se están sumando a este reto y que buscan un modelo energético inteligente, una gestión eficiente de sus recursos y un impulso a modelos de transportes sostenibles, dándonos cuenta de que la energía es parte fundamental del desarrollo de estas ciudades.

Para hablar de la eficiencia, autosostenibilidad y cuidado del medio ambiente de las ciudades inteligentes, es necesario tener en cuenta el tipo de generación y distribución de energía existentes en dichas ciudades y es preciso también analizar la normativa que regula estos servicios energéticos y su infraestructura. Desde hace unos años, Colombia ha empezado a contemplar en su agenda temas como la transición energética, la movilidad sostenible y las redes inteligentes; para que esta transición sea efectiva, es fundamental que en el país se fomente el uso de FNCER (Fuentes no convencionales de energía renovable), para lo cual es indispensable la adaptación del marco regulatorio a este tipo de generación de energía y se genere la sensibilización pertinente en los generadores y consumidores.

Para realizar la investigación se hizo una revisión de la literatura especializada sobre las consideraciones regulatorias que han llevado a países y/o ciudades a ser considerados inteligentes, enfocados especialmente en su sistema energético, caracterizando las variables que puedan intervenir en el marco regulatorio que actualmente rige en Colombia y con base en lo anterior, proponer una ruta de desarrollo para que Medellín sea considerada una ciudad energéticamente inteligente.

Palabras claves: Ciudades inteligentes, Redes inteligentes, Evolución, Transición energética, Sostenibilidad.

Abstract

This research was based on the vision, scenarios and proposals for the integration and transformation of the Colombian electric power system to the develop of smart cities, these are known as urban development, generally based on social, political, environmental and economic sustainability.

Currently, many cities are joining this challenge and seeking an intelligent energy model, efficient management of their resources and an impulse to sustainable transport models, realizing that energy is a fundamental part of the development of these cities.

To talk about the efficiency, self-sustainability and care for the environment of smart cities, it is necessary to take into account the type of energy generation and distribution existing in said cities and it is also necessary to analyze the regulations that regulate these energy services and their infrastructure. For a few years now, Colombia has begun to include issues such as energy transition, sustainable mobility and smart grids on its agenda; For this transition to be effective, it is essential that the use of FNCER (non-conventional sources of renewable energy) be promoted in the country, for which it is essential to adapt the regulatory framework to this type of energy generation and raise awareness pertinent in generators and consumers.

To carry out the research a review will be made of the specialized literature on regulatory considerations that have led countries and / or cities to be considered smart, focused especially on their energy system, characterizing the variables that may intervene in the regulatory framework that currently governs in Colombia and based on the above, propose a development route for Medellin to be considered an energetically intelligent city.

Keywords: Smart cities, Smart grids, Evolution, Energy transition, Sustainability.

Introducción

La temperatura del planeta está aumentando y esto está creando un desequilibrio significativo, desde sequías hasta inundaciones, pasando por extinciones de especies y fenómenos meteorológicos cada vez más fuertes, hoy en día hablar de métodos alternativos a los combustibles fósiles para obtener energía es un tema cada vez más popular.

La preocupación mundial por temas como el calentamiento global ha creado una necesidad urgente de invertir en el desarrollo de opciones que tengan un menor impacto en el medio ambiente sin oponerse a la evolución del ser humano, dentro de estas opciones se encuentra el cambio de generación de energía, particularmente en las energías provenientes de fuentes no convencionales, ya que se consideran como recursos limpios e inagotables que proporciona la naturaleza, aportando beneficios, entre los que destaca especialmente la descarbonización y reducción del efecto invernadero. Sin embargo, una gran parte del consumo energético mundial proviene del petróleo, el carbón y el gas, situación que plantea muchos desafíos a los gobiernos para combatir las consecuencias del uso de energía proveniente de combustibles fósiles.

Hoy en día, los países y sus actores están encaminados en la línea del mejoramiento continuo, donde cualquier cambio que contribuya con la gestión y eficiencia de los procesos es bien recibido, es aquí donde entran a participar las fuentes no convencionales de energía renovables, enfocadas hacia un uso eficiente de la energía mediante las redes inteligentes. Así pues, cuando se habla del concepto de Smart Grids se puede definir como una red eléctrica que permite integrar de manera eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de manera que se asegure la economía, sostenibilidad, estándares de calidad y seguridad del suministro (López-Vázquez, 2016), y donde uno de los objetivos principales es que todos los usuarios conectados a la red puedan ser participantes activos de ella.

El incremento de usuarios y la necesidad de aumentar la cobertura de las telecomunicaciones en un país como Colombia, con un alto desempeño energético, pero con

un costo bajo, ha sido una de las razones principales para pensar en la implementación de la tecnología de Smart Grids. Sin embargo, para que esto sea posible, se debe contar con unas condiciones mínimas que permitan la aplicabilidad de estas redes bajo el esquema regulatorio del país y las necesidades del sector energético del mismo, razón por la cual se debe analizar el estado actual del mercado energético colombiano, los escenarios existentes, las barreras regulatorias y la manera como estas se pueden superar.

Según la UPME - Unidad de Planeación Minero-Energética de Colombia:

Como país en desarrollo ha tenido una responsabilidad mínima en la acumulación de gases de efecto invernadero proveniente de actividades antropogénicas, su política energética está dirigida hacia la satisfacción de las necesidades de los agentes económicos y de la población utilizando los recursos disponibles con criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental (2015).

Sin embargo, Colombia debe trabajar en la implementación de las fuentes no convencionales de energía renovable para garantizar el cumplimiento de las metas propuestas en el COP21 y la seguridad energética de sus habitantes, ya que su población, la industria y las urbes van en aumento.

El objetivo de este trabajo es identificar las barreras para la implementación de esta tecnología en el mercado colombiano, conocer la percepción que tienen los usuarios finales de la red, para determinar su aceptación y los mecanismos que pueden contribuir a ella. Así como establecer algunos de los aportes de esta tecnología al desarrollo de ciudades inteligentes.

Esta identificación fue posible gracias a un trabajo de exploración con los llamados usuarios residenciales e industriales del mercado, mediante la aplicación de encuestas que pretendían saber lo que estos usuarios pensaban sobre todas las tecnologías que acompañan el desarrollo de Smart Grids.

Además, a partir de unos mecanismos de implementación encontrados a nivel mundial, se realizó una consulta con expertos del sector eléctrico, la cual consistió en realizar

entrevistas para conocer su opinión sobre cómo estos mecanismos podrían operar en el contexto colombiano. Los referentes bibliográficos y consultas en la web contribuyeron a configurar el horizonte de este trabajo.

Objetivos

Objetivo General

Identificar las necesidades regulatorias, desde el enfoque de la implementación de redes inteligentes, en Colombia y la contribución que puedan tener estas regulaciones para que la ciudad de Medellín sea considerada una ciudad inteligente desde un punto de vista energético, integrando las FNCER (fuentes no convencionales de energías renovables).

Objetivos Específicos

- Analizar la literatura especializada sobre las consideraciones regulatorias que hayan llevado a países y/o ciudades a ser consideradas inteligentes, desde un punto de vista energético.
- Identificar las variables que intervienen en el marco regulatorio internacional y que puedan ser aplicadas en Colombia para la transición e inclusión de las FNCER.
- Determinar las falencias del marco regulatorio colombiano para la inclusión de las redes inteligentes y el impacto que puedan generar para el desarrollo energético de las ciudades inteligentes.
- Proponer una ruta de desarrollo para que Medellín sea considerada una ciudad energéticamente inteligente.

Planteamiento del Problema

La evolución de la industria ha ocasionado muchos impactos sobre el medio ambiente, especialmente por el aumento del consumo energético, por lo que se vienen realizando estudios y proyectos que buscan mitigar las problemáticas ambientales y energéticas de la actualidad. Como resultado de estos estudios se observa la llegada de nuevas tendencias al mercado como la generación distribuida, mediante “turbinas eólicas, instalaciones fotovoltaicas, minihidráulica, solar térmica, residuos, marinas, geotérmicas” (Hernández, 2015). El uso de estas tecnologías contribuye al desarrollo de ciudades inteligentes o Smart Cities, al respecto se aporta una definición en el primer informe del observatorio CT+i de la Corporación Ruta N, dicho concepto puede ampliar la perspectiva frente a la aplicación de estas tendencias tecnológicas:

Smart Cities esbozan un contenido amplio de discusiones sociales, económicas, culturales, tecnológicas, políticas y educativas que giran en torno a la consolidación de condiciones sostenibles y sustentables en el tiempo. Éstas, buscan un continuo mejoramiento de sus procesos, espacios y servicios (...), apoyándose en los diversos desarrollos científicos, tecnológicos, de información y comunicación para convertirse en ciudades integrales (Corporación Ruta N, 2018).

Con la anterior definición de ciudad inteligente, surge la siguiente pregunta: ¿Qué hace que una ciudad sea inteligente?

Según la CIAPE (corporación iberoamericana de asuntos públicos y empresariales) hay que tener en cuenta 10 aspectos principales para que una ciudad sea inteligente, los cuales son:

1. La incorporación de la tecnología de información y comunicación (TIC) a los servicios públicos.

2. Empresas de servicios públicos eficientes. El uso de contadores inteligentes, manejo de energías renovables, recolección adecuada de agua y reciclaje de efluentes, así

como métodos adecuados de eliminación de residuos sólidos son claramente el sello de una ciudad inteligente.

3. El uso creativo de las asociaciones público-privadas es un atributo clave del concepto de ciudad inteligente.

4. Protección y seguridad.

5. La sustentabilidad financiera.

6. La participación ciudadana en el gobierno.

7. El capital social.

8. La planificación del tránsito: en este sentido el uso de vehículos eléctricos y vías para bicicletas.

9. Las características ecológicas: minimizar la huella de carbono y el respeto al medio ambiente son acciones de rigor.

10. Los criterios de población mínimos para la planificación de la incorporación de elementos en relación con consumo energético, tránsito y otros servicios públicos (Gestión de tendencias e innovaciones TIC, 2018).

Con lo dicho anteriormente, el sector eléctrico en Colombia juega un papel principal y es trascendental para el desarrollo socioeconómico, en su generación, transmisión, distribución y el uso eficiente de la energía. Este sector enfrenta un gran cambio, ya que, por sostenibilidad, demanda y economía ha tenido que evolucionar en poco tiempo. En esta evolución energética entra a participar el tipo de fuentes de energías, jugando un papel principal en las ciudades inteligentes, las cuales tienen que ser sostenibles y eficientes energéticamente. Dando así el paso a las redes inteligentes, las cuales aportan a la evolución de las ciudades, contribuyendo a su desarrollo eficaz a partir del consumo eficiente de energía en contextos urbanos.

La implementación de este tipo de redes puede constituir uno de los principales elementos para el desarrollo de las llamadas ciudades inteligentes. De acuerdo con la European Technology Platform Smart Grids (plataforma tecnológica europea de redes inteligentes) una red inteligente es entendida como:

Una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella (generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones) con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico (González López, 2012).

Entre las fortalezas de las redes inteligentes se destaca que pueden ser manejadas mediante las TIC (tecnología de la información y comunicación), lo cual permite que nuevas aplicaciones faciliten, a los consumidores, los prosumer (productor y consumidor de energía) y a los operadores de red, el monitoreo y manejo del consumo y suministro energético, dichas aplicaciones ayudarán a tener comunicaciones integradas, interfaces mejoradas, tecnologías de detección, mediciones, entre otras (Trashorras Montecelos, 2017).

Pese a que la mayor parte de la energía de las ciudades en Colombia es generada por medios hídricos, es importante considerar las redes inteligentes como una opción sostenible, la necesidad de cambios energéticos se evidencia en las condiciones ambientales de las grandes ciudades de Colombia; en los últimos años, Medellín ha sufrido un gran impacto ambiental sobre la calidad del aire, debido a las altas emisiones de CO_2 , gases y partículas generadas por los sectores de la industria y el transporte; según Ambientalia, compañía Bogotana dedicada al control ambiental y fuentes informativas la contaminación ambiental de Medellín llegó en el año 2017 a un nivel muy alto, obligando a las autoridades a declarar la alerta roja máxima y tomar medidas urgentes en la movilidad y las empresas manufactureras (Ambientalia, 2017), y corroborando la información, en el Área Metropolitana y los municipios del Valle de Aburrá, realizaron el balance y cierre del período de gestión de episodio de contaminación atmosférica para la temporada febrero – abril de 2019, donde afirmó el director del SIATA, Carlos David Hoyos, la afectación de la calidad del aire (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019).

El aumento poblacional también ha generado impacto en el sector, haciendo que la demanda de energía vaya en aumento, y el sistema energético deba suplir las necesidades de la población sin afectar nuestro entorno (XM, 2019), donde muestra la demanda en

diferentes escenarios proyectados al 2030, escenario bajo 107514 GWh, escenario medio 105018 GWh y escenario bajo con 102533 GWh. En Colombia se deben afrontar estos nuevos desafíos, considerando los aspectos técnicos, políticos, regulatorios y ambientales.

Dadas las condiciones anteriormente mencionadas se hace indispensable generar conciencia, principalmente en los entes gubernamentales y empresariales, sobre la importancia de las tecnologías Smart Grid, ya que estas “ayudan a satisfacer las crecientes necesidades de electricidad, a la vez que minimizan el impacto ambiental y contribuyen a los esfuerzos por limitar las emisiones de CO_2 ” (Trashorras Montecelos, 2017), además esta tecnología viene de la mano con las energías renovables no convencionales.

El conocimiento de las ventajas de las redes inteligentes debe ir acompañado de un diagnóstico regulatorio y de los cambios que pueden afectar la forma de regular las FNCER. El código de redes del sistema interconectado nacional fue establecido en Colombia mediante la Resolución 25 de 1995, y está compuesto por los códigos de planeamiento, conexión, operación y medida (XM,2017). Esta resolución está articulada a la generación de decretos regulatorios y el código de redes del sistema interconectado nacional, el cual fue instituido en Colombia mediante la resolución CREG (Comisión de regulación de energía y gas) 025 de 1995, y se compone de los códigos de planeación, conexión, operación y medición de energía; todas estas evoluciones y desarrollos energéticos generan una transición regulatoria, lo que conlleva a la adaptación de las personas jurídicas y naturales a estos nuevos reglamentos.

La ley fundamental en Colombia para la regulación y la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional es la ley 1715 de 2014, la cual define en su artículo 5, numeral 17 como Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER).

Aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la

biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares (Ley 1715, 2014).

Esta ley en su artículo 1° se plantea como objetivo:

Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (Ley 1715, 2014).

Las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), especialmente la energía eólica, la energía solar y los pequeños aprovechamientos hidráulicos tienen una propiedad particular: la variabilidad en su generación de energía. Dicha inestabilidad es un reflejo del comportamiento de su fuente primaria, la cual depende de los fenómenos climáticos, meteorológicos e hidrológicos del momento como la irradiación solar, el viento y los pequeños caudales de agua (Useros Fernández, 2013).

Estas potenciales fuentes de energía se pueden dividir en dos grupos: las fuentes de generación síncrona y las no síncronas, entre las síncronas están “los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, para las cuales la velocidad de rotación de sus generadores depende de la frecuencia del sistema de potencia” (XM, 2017), y entre las fuentes no síncronas se encuentran las “fuentes energéticas eólicas y solares, cuya generación no responde de manera natural a la respuesta de frecuencia del sistema” (XM, 2017). Para la energía eólica y solar la frecuencia debe ser controlada de forma distinta a la energía hidráulica. Se observa además que en la ley 1715 de 2017 existen vacíos técnicos, ya que no están reglamentadas de manera específica las condiciones de cada FNCER:

Artículo 19 numeral 1°

La energía solar se considerará como FNCER. Se deberá estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG.

Artículo 20 numeral 1°

La energía eólica se considerará como FNCER. Se deberá estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG (Ley 1715, 2014).

Por lo anterior, esta investigación busca establecer un panorama sobre la revisión y análisis del marco regulatorio en países y/o ciudades a nivel mundial, indagando por la forma en que éstas realizaron la inclusión de las energías renovables no convencionales y los cambios que requirieron para innovar en el mercado.

Dado al anterior análisis, se puede partir de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los retos y necesidades regulatorias para la inclusión de redes inteligentes en Colombia, aportando al desarrollo de ciudades inteligentes de manera articulada con las energías renovables?
- ¿Es posible lograr ciudades sostenibles con los recursos económicos y energéticos disponibles?
- ¿Las soluciones para lograr ciudades inteligentes basadas en innovación tecnológica también deberían ir acompañadas de cambios en los hábitos de consumo y gestión de los recursos?
- ¿Cuál debe ser el papel de la ciudadanía en el desarrollo de las ciudades inteligentes?
- ¿La transferencia tecnológica y la colaboración público-privada son puntos cruciales en el desarrollo de las ciudades inteligentes?
- ¿Qué desarrollos necesita una Smart Grid?

Con base en esta pregunta se desglosan los siguientes puntos:

- a) ¿Sirven para mejorar el pronóstico de generación y consumo de energía?

- b) ¿La capacidad de las líneas de transmisión y distribución son diferentes a las que se tienen actualmente?
- c) ¿Existe una respuesta hacia la demanda, con base en sus precios dinámicos?
- d) ¿Están directamente relacionadas con el almacenamiento de energía a gran escala para la transmisión y el almacenamiento de energía a pequeña escala (detrás del medidor) para distribución?

Marco Teórico y Estado del Arte

Las urbes modernas afrontan una demanda cada vez mayor de energía, lo que involucra diversos desafíos, entre ellos la crisis previa de recursos energéticos procedentes de fuentes fósiles tradicionales y las diversas implicaciones de la contaminación ambiental (Gómez et al., 2018), la transición energética es fundamental para la sostenibilidad y evolución de ciudades y así llamarlas inteligentes; no existe una definición genérica contextualizada de ciudad inteligente, sin embargo, según la fundación Vida Sostenible se define como:

Ciudades con un desarrollo urbano orientado hacia la sostenibilidad, que se sirven de la infraestructura, innovación y tecnología para responder a las necesidades básicas de instituciones, empresas y ciudadanos, tanto en el plano económico, como en los aspectos operativos, sociales y ambientales. (Vida Sostenible, s.f.)

Con esta justificación se ve la importancia de una evolución energética para garantizar un camino factible al desarrollo.

Diferentes Vías de Transición Energética Sociotécnica, el Caso de Alemania y el Reino Unido

Al hablar de países precursores o pioneros en la transición energética, es posible imaginar estados desarrollados y con una economía estable, en este trabajo se decide analizar a Alemania y El Reino Unido, ya que la transición energética que ellos tuvieron fue exitosa y por caminos diferentes, además, se ven a sí mismos como pioneros en la transición

energética produciendo bajas emisiones de carbono. Las transiciones son procesos a largo plazo que surgieron a partir de desarrollos, luchas, retrocesos, movilizaciones y oportunidades de negocio.

Estos países se convierten en casos de ejemplo para probar las vías de transición reformuladas y diferenciadas. Muchas tecnologías de producción de energías renovables son tecnologías escalares y se pueden implementar en diferentes configuraciones, en un artículo llamado: “Una tipología reformulada y un análisis comparativo de varios niveles de transiciones energéticas bajas en carbono”. Alemania y el Reino Unido (1990–2014), ostentan que Alemania principalmente desplegó estas tecnologías descentralizadas a pequeña escala (eólica terrestre, solar-fotovoltaica, biogás), mientras que el Reino Unido desplegó principalmente tecnologías de energía renovable centralizadas a gran escala (parques eólicos terrestres, parques eólicos marinos, conversión de biomasa de centrales eléctricas de carbón, gas de vertedero). El Reino Unido además consideró otras opciones bajas en emisión de carbono a gran escala (energía nuclear, captura de carbono y almacenamiento) como clave para su transición energética. Ambos países alcanzaron transiciones muy diferentes, Alemania promulgando una sustitución tecnológica y, con iniciativas de la misma comunidad, dando rienda suelta a nuevos participantes en el mercado energético y el Reino Unido promoviendo una transformación principalmente con instituciones y empresas (Geels et al., 2016).

Desde un análisis más detallado a la transición energética en Alemania, se observa que esta se vio impulsada después del accidente nuclear de Fukushima en 2011, ya que, este gobierno adoptó una transición energética oficial conocida como: Energiewende (transición basada en energías renovables, eficiencia energética y desarrollo sostenible) que incluía una eliminación gradual de la energía nuclear para 2022, además de metas para el incremento en el uso de electricidad renovable en un 35% para 2020, 40% al 45% para 2025, 55% al 60% para 2035 y 80% para 2050 (Geels et al., 2016).

Por otro lado, la ley Change Act del 2008, sobre el cambio climático en el Reino Unido, se comprometió con la reducción del 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero

(GEI) para 2050. El Plan de transición de bajas emisiones de carbono del Reino Unido (2009) articuló un objetivo del 30% de electricidad renovable para 2020 y casi una descarbonización completa de la electricidad para 2030. Ambos países han logrado algunos avances, con la contribución de las energías renovables al aumento de la generación de energía de un 3.6% a un 26,2% entre 1990 y 2014 en Alemania y de un 1,9% a un 19,1% en el Reino Unido (Geels et al., 2016).

Cambios en el camino a la transición energética

Se puede partir por afirmar que los cambios de generación de energía no son utópicos ni deterministas, sino que son actividades y compromisos que requieren un esfuerzo continuo por parte de diversos actores involucrados en dicha transición, y que implican debates sobre los efectos, costos y beneficios de las tecnologías aplicadas.

Las transiciones pueden comenzar a partir de una ruta de evolución e innovación socio técnica que conlleva a transformaciones graduales, generando cambios en las fuentes energéticas usadas tradicionalmente, para implementar otras que faciliten el desarrollo socioeconómico de una región o país; dichas transiciones deben librar batallas para modificar lo establecido por las instituciones gubernamentales y regulatorias.

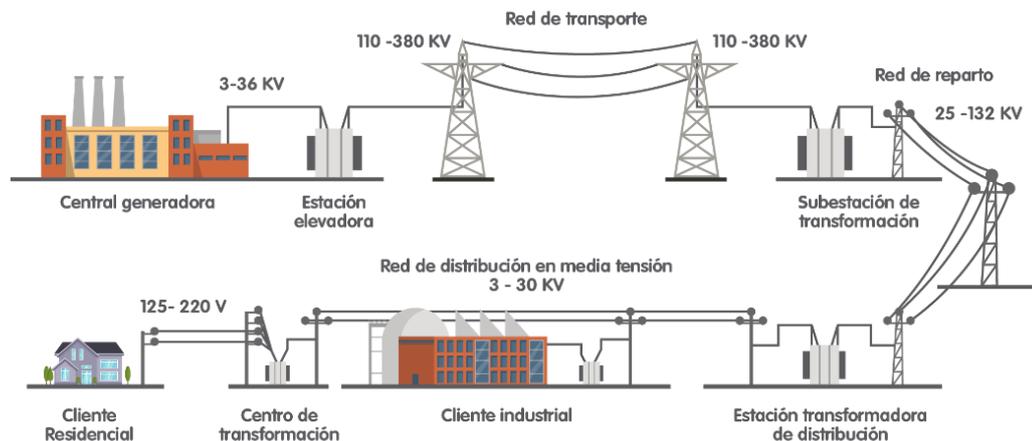
Teniendo en cuenta lo anterior, resulta incuestionable hablar de la importancia que tiene la transición energética, la cual está relacionada con el sistema eléctrico e implica su actualización y eficiencia para suplir las necesidades de la demanda y ofrecer seguridad energética en las etapas de generación, transmisión, distribución y consumo. Esta transición puede lograrse mediante la implementación de las FNCER, con una infraestructura avanzada de transmisión, distribución, comunicación (TIC) y medición inteligente que permita la interacción activa del usuario y la descentralización energética (Tecnológico de Monterrey, s.f.).

Para entender la evolución del sistema eléctrico, es fundamental dar un contexto del actual sistema centralizado de energía en Colombia (ver Figura 1), se puede evidenciar que la energía eléctrica procede de las centrales de generación de energía, la cual es transmitida

a subestaciones, a través de líneas de transmisión de alto voltaje que recorren grandes distancias. Posteriormente esta energía pasa por transformadores de bajo voltaje y se distribuye al consumidor final.

Figura 1

Esquema simplificado del sistema de energía eléctrica



Fuente: (Abreus Aguilar, 2014)

Junto con el crecimiento demográfico, la demanda de energía eléctrica y las necesidades de la población tanto urbana como industrial han cambiado, por lo que la infraestructura existente se ha tenido que adaptar a las medidas provisionales tomadas por los gobiernos y proveedores del servicio eléctrico que rigen en el país. Hoy en día, el suministro eléctrico y la red eléctrica necesitan una reestructuración que les permita adaptarse a las necesidades de una sociedad en constante cambio, generando seguridad energética, economía e independencia.

La investigación y el desarrollo en la ingeniería de sistemas de energía han dado paso a redes más confiables y eficientes que interactúan en dos direcciones, recibir e inyectar energía a la red. Esto transforma la estructura de la red eléctrica, ya que, en lugar de tener la red de una sola dirección, desde una central general hacia todos los clientes consumidores, se crea una relación de comunicación y retroalimentación de usuario y proveedor de energía.

El aspecto más crítico en esta transición es la búsqueda de equidad energética, por lo que Colombia debe impulsar la expansión del sistema eléctrico para incrementar la cobertura; esta expansión muestra la posibilidad de implementar las nuevas redes en Colombia con base en energías no convencionales, mejorando la calidad y confiabilidad de los servicios energéticos, diversificando la matriz energética y manteniendo el desarrollo económico, sin incrementar las emisiones de dióxido de carbono. Todo esto ha dado lugar al futuro de la red eléctrica, llamada red inteligente, esta brinda varios beneficios al modificar la estructura y la forma en cómo se realiza la generación, transmisión, distribución y consumo de la energía. En la Tabla 1, se detalla la comparación técnica de la red eléctrica colombiana actual frente a una red inteligente.

Tabla 1

Comparación técnica de la red eléctrica colombiana actual frente a una red inteligente

Red eléctrica actual en Colombia	Red Inteligente
Electromecánica	Digital
Comunicación unidireccional	Comunicación bidireccional
Generación centralizada	Generación distribuida
Pocos sensores	Sensores a lo largo de la red inteligente
Monitoreo manual	Auto-monitoreo
Restauración manual	Reconfiguración automática
Fallas y apagones	Adaptativo y aislado
Control limitado	Control generalizado
Pocas opciones para la implementación de las TIC	Múltiples opciones de implementación de las TIC

Fuente: (Giral Ramírez et al., 2017)

En la Tabla 1 vemos las características de una red eléctrica convencional centralizada, distinguida por sistemas electromecánicos, con una comunicación unidireccional, que ofrece

pocas opciones para implementar las nuevas tecnologías de información y telecomunicación, generando grandes desventajas como, por ejemplo, el insuficiente control, operación, monitoreo y seguimiento de fallas. La identificación de estas desventajas permite evidenciar la necesidad de implementar redes eléctricas inteligentes, las cuales utilizan tecnología digital para monitorear la generación, transmisión, distribución y consumo de electricidad, satisfaciendo de manera efectiva la demanda energética y minimizando los costos y el impacto ambiental, así mismo, maximizando la confiabilidad del sistema y brindando estabilidad, seguridad y practicidad.

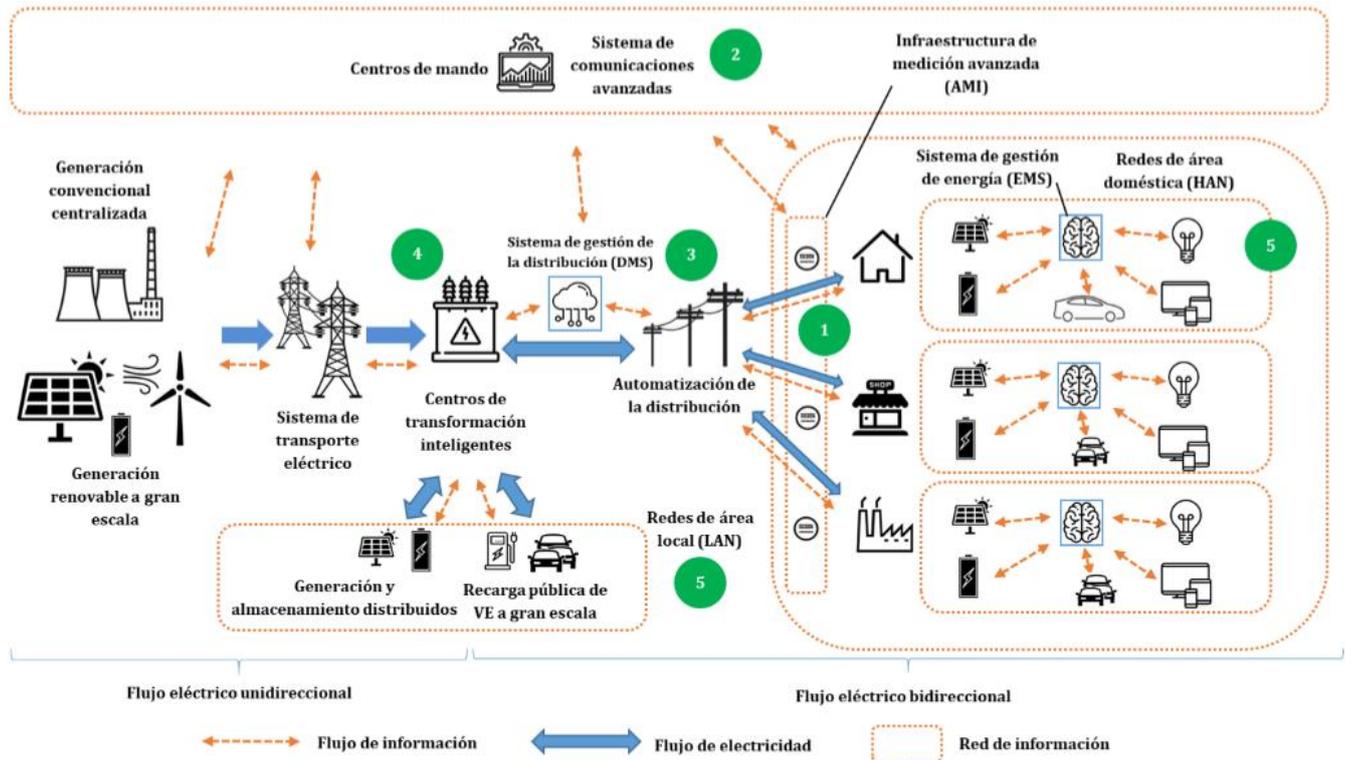
Esta nueva infraestructura requiere cambios en las normas y reglamentos actuales, que regulan la producción y consumo de energía eléctrica. En la Figura 2, tomada de la investigación “Las redes inteligentes y el papel del distribuidor de energía eléctrica”, se muestra la evolución de la red eléctrica de una manera más resumida y fácil de interpretar, en ella, los autores manifiestan que las redes eléctricas inteligentes se pueden agrupar en cinco bloques de funcionalidades, los cuales son:

- (1) infraestructura de medición avanzada
- (2) sistemas avanzados de comunicaciones
- (3) automatización de la distribución hasta la baja tensión
- (4) centros de transformación inteligentes
- (5) redes de área locales y domésticas, resaltando las características que brindan la nueva generación, distribución y almacenamiento de energía.

(Fernández Gómez y Menéndez Sánchez, 2019)

Figura 2

Esquema simplificado de una red inteligente



Fuente: (Fernández Gómez y Menéndez Sánchez, 2019).

Infraestructura de medición avanzada AMI

Las redes eléctricas tradicionales están evolucionando gradualmente gracias a la conexión de nuevas tecnologías, para convertirse en Smart Grids. Así, la cadena de suministro eléctrico obtiene un valor añadido cuando se crean nuevos mercados y servicios para dar solución a las necesidades actuales, el elemento clave de esta transformación es el contador inteligente, que permite articular la relación entre el sistema eléctrico y el consumidor final de energía, asimismo determina el tipo de relación comercial y técnica entre los agentes implicados.

La Infraestructura de medición inteligente es un sistema que integra elementos de hardware y de software, con base en un medidor inteligente, contiene también una infraestructura de comunicaciones integrada que permite intercambios bidireccionales de información y de registros en tiempo real, todos los elementos del sistema interactúan entre

sí de forma fiable, flexible y eficiente para permitir interacciones entre el usuario final y la empresa comercializadora.

Los sistemas AMI están conformados por cuatro elementos básicos:

- 1) Medidor inteligente
- 2) Concentrador de datos
- 3) Red de comunicaciones
- 4) Sistema de gestión de la información

El medidor cuenta con funcionalidades que le permiten recoger y almacenar datos, los cuales brindan información y asimismo la pueden transmitir, en tiempo real, al usuario o a la empresa prestadora de servicio. De igual manera, la infraestructura de comunicaciones que estos medidores poseen permite transferir la información para que un sistema de gestión computacional o de analítica de datos la examine, la analice y por medio de estos resultados pueda tomar decisiones más asertivas, como por ejemplo el uso eficiente de la energía.

En los últimos años, los sistemas AMI se han venido implementado en todo el mundo con diferentes objetivos. Algunas experiencias enfatizan la definición de marcos regulatorios que apoyan la adopción masiva de contadores inteligentes, países como España, Francia, Italia, Estados Unidos, entre otros, han adoptado estos tipos de tecnologías para armonizar y evolucionar el mercado energético. Algunos casos destacados se presentan en la Tabla 2 (Téllez Gutiérrez et al., 2018).

Tabla 2

Experiencias internacionales AMI

Francia	Programa Linky: se proponía implementar 35 millones de medidores inteligentes, de potencia menor a 36 kVA, al año 2021. Este reemplazo no tiene costo para el usuario. Este fue uno de los primeros pasos hacia las redes inteligentes del futuro en Francia, de hecho la modernización permanente de la red eléctrica francesa y el despliegue de contadores inteligentes para la medición eléctrica están consagrados en la ley de “transición energética para el crecimiento verde”, en aplicación de las directivas europeas, y en 2016, a petición de Ademe (Agencia de Gestión del Medio Ambiente y la Energía). La implementación de estas redes inteligentes tiene ventajas, entre ellas se encuentra la integración de energías renovables en la red eléctrica, así como una mejor gestión de la generación intermitente de
----------------	--

	<p>las fuentes no convencionales de energía. En este sentido, es un factor fundamental para poder asegurar aún más la estabilidad de la red eléctrica, permitiendo reducciones significativas en el fraude y la mala facturación (Álvaro Hermana y Larrea Basterra, 2018).</p>
España	<p>Proyecto Star: (Sistema de Telegestión y Automatización de la Red) Adelantado por Iberdrola, se trata un referente mundial de eficiencia en las inversiones en redes y contadores inteligentes, que esperaba sustituir más de 10 millones de medidores al año 2018 e implementar un sistema de telegestión y automatización de la red. Comprende medidores de potencia asignada hasta de 15 kVA. Hoy en día el grupo Iberdrola, a través de su filial en España, ha concluido el proceso de digitalización de su red de distribución en el país con la instalación de más de 10,8 millones de contadores digitales y la infraestructura que los soporta, así como la adaptación de alrededor de 90.000 centros de transformación, a los que ha incorporado capacidades de telegestión, supervisión y automatización. Tras la finalización de este, se ha continuado con la instalación de contadores inteligentes, superando el parque actual de contadores los 11,4 millones (Iberdrola, s.f).</p>
Italia	<p>Proyecto Telegestore: Inició en el año 1999 y sustituyó en su primera fase 32 Millones de medidores. En el año 2016 se inició la segunda fase, que tuvo como objetivo la instalación de 21 millones de medidores inteligentes de segunda generación.</p> <p>La infraestructura de Telegestore estaba compuesta por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Treinta y dos millones de unidades de medidores inteligentes. • Transmisión de datos hacia y desde los medidores. • Sistema central para la gestión remota de los medidores. • Red de telecomunicaciones. <p>Este proyecto obtuvo resultados en la reducción del precio de energía para el consumidor, en el mejoramiento de la calidad del servicio, y en la reducción de aproximadamente 30.000 toneladas de CO2 en el 2010 (Corporación Ruta N, 2015).</p>
Houston	<p>Proyecto Center Point: Desarrollado por Center Point Energy Houston Electric (CEHE), pretende integrar las tecnologías necesarias para transformar la manera en la que la energía se compra, se entrega y se utiliza por parte de los consumidores finales, los proveedores minoristas de electricidad y las compañías eléctricas.</p> <p>Beneficios Realizados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor confiabilidad del sistema de distribución: como resultado de la automatización asociada con las actualizaciones de las subestaciones, CEHE ha evitado aproximadamente 15,5 millones de minutos de interrupción del servicio de los clientes desde 2011. Donde se implementó esta automatización, el proceso de restauración de interrupciones ha mostrado año tras año mejoras del 9% (2011), 22% (2012), 25% (2013) y 35% (2014 al 31 de agosto). • Costos de operación y mantenimiento reducidos: Dado que ya no es necesario leer físicamente los medidores, CEHE ha sido capaz de reducir significativamente el personal de lectura de medidores y los costos asociados con esta actividad. Los gastos también fueron reducidos a través de la función de cambio de servicio remoto de los medidores inteligentes y otras mejoras de eficiencia en operaciones y actividades de mantenimiento.

	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del uso de combustible de la flota de camiones y tarifas de servicio reducidas: CEHE ha automatizado el proceso de orden de servicio y eliminó la necesidad de los recorridos para leer un medidor o iniciar o suspender el servicio de energía. Los ahorros acumulados de combustible resultantes fueron de aproximadamente 950,000 galones (al 31 de agosto de 2014). Además, CEHE ha tramitado casi 10 millones de servicios automatizados pedidos por sus clientes desde julio de 2009. • Costos reducidos por detección de robo: los medidores AMS (Medidor trifásico de medida semidirecta) envían alertas de manipulación del medidor CEHE y análisis interno del medidor, los datos de consumo permiten a la empresa de servicios públicos identificar tendencias inusuales asociadas con el robo de electricidad, CEHE ha reducido los costos asociados con el desvío o robo en aproximadamente 2 millones de dólares al 31 de diciembre de 2013 (Bartel, 2014).
Brasil	<p>Proyecto Eletropaulo Digital: Adelantado por la compañía AES Brasil en el año 2017 pretende la instalación de 62000 medidores inteligentes, de los cuales 2100 estuvieron destinados a la normalización de comunidades de bajos recursos. Se invirtieron más de 70 millones de reales en el nuevo modelo de distribución de energía para la ciudad de Barueri. AES Eletropaulo tuvo como objetivo transformar a Barueri en el primer municipio, de una región metropolitana de Brasil, en tener una red inteligente de distribución de energía que beneficie a cerca de 250 mil habitantes, desarrollando e implementando soluciones de monitoreo, medición, supervisión, comunicación e inteligencia en la red eléctrica, integrando y tomando los sistemas de la empresa a un nuevo nivel tecnológico. Obtuvieron un reconocimiento con el Premio "Valor Inovação Brasil 2018" en este mismo año invirtieron más de 20 millones de reales en un amplio programa de transformación digital, que utiliza inteligencia artificial para optimización de procesos e implementación de nuevas tecnologías (Asociación Mercosur de Normalización, s.f).</p>

Fuente: (Téllez Gutiérrez et al., 2018)

El papel de las redes inteligentes en el sector eléctrico

La transición energética tiene que ir de la mano con los entes gubernamentales, ya que estos deben establecer políticas claras y consistentes en torno a las regulaciones y planes para los nuevos sistemas eléctricos, que permitan la inversión en innovación y transformación del actual sistema eléctrico, encaminándolo hacia las redes inteligentes.

Las regulaciones actuales y los sistemas de mercado pueden impedir el desarrollo de estas redes, por lo que los entes gubernamentales deben ofrecer nuevas opciones a largo plazo para invertir en la construcción de nuevos sistemas de generación de energía, garantizando mejores precios y la participación prioritaria del prosumer.

Así mismo, es fundamental que los gobiernos y las instituciones inviertan en la educación de los consumidores para que comprendan la regulación y beneficios que esta transformación traerá.

De acuerdo con lo anterior, se destacan 4 principios básicos para el desarrollo de redes inteligentes, tomados del informe de investigación realizado por Orkestra Instituto Vasco De Competitividad:

(1) un marco normativo y retributivo estable y transparente, con un proceso regulatorio justo (due regulatory process) definido por reglas conocidas por todos los agentes y con una actuación independiente del regulador.

(2) esquemas de incentivos financieros flexibles, para que los inversores asuman los riesgos asociados a inversiones en activos innovadores con vidas útiles largas y en nuevos procesos en un entorno cambiante.

(3) esquemas equilibrados de reparto de los beneficios y costos de las inversiones en redes inteligentes entre las empresas reguladas y los consumidores, que garanticen resultados en términos medioambientales y de calidad y seguridad de suministro al mínimo costo para los consumidores;

(4) eficiencia en el costo de implementación de los esquemas regulatorios (p. ej., costos de supervisión) por parte del regulador (Fernández Gómez y Menéndez Sánchez, 2019).

El avance de las redes inteligentes es esencial para el desarrollo social e industrial, estas ayudarán a suplir la demanda energética, al mismo tiempo que aportarán a mitigar el impacto ocasionado por el cambio climático. Para tener una base clara en torno a la implementación de dichas redes, es importante promover la colaboración internacional que permita conocer experiencias y programas piloto en cuanto a las regulaciones, tecnologías y desarrollos de nuevos estándares en las redes de distribución, principalmente las redes inteligentes; el conocimiento de estas experiencias debe profundizarse en los siguientes ámbitos:

Técnico: la necesidad de establecer los requisitos mínimos de información y procedimientos para su entrada en operación e integración al SIN (por ser intermitentes).

Operativo: modificaciones al cálculo de las reservas para regulación de frecuencia y modificaciones a los procesos de pronóstico de demandas, despacho económico y redespacho.

La regulación tradicional solamente beneficia la inversión de capital en activos de larga duración, esto debe cambiar para otorgar incentivos o premios a los prosumidores y a las empresas de servicios públicos que migren hacia el uso de energías no convencionales, inviertan en innovaciones en pro del desarrollo de ciudades inteligentes y se esfuercen por alcanzar el logro de los objetivos de desarrollo sostenible.

Varios países ya iniciaron con las etapas de construcción de la infraestructura para las redes inteligentes con el objetivo de preparar un suministro de energía inteligente y seguro. Hace una década, la Oficina de Mercados de Gas y Electricidad del Reino Unido, (Ofgem), se propuso desarrollar un nuevo marco regulatorio que recompensaría a las empresas de servicios públicos por su innovación, protegiendo a los consumidores y asegurando que las empresas operen la red de manera eficiente y sostenible, dando como resultado un marco denominado RIIO.

El marco de regulación RIIO del Reino Unido se fundamenta en Ingresos = Incentivos + Innovación + Productos, con este principio consideran que ayudan a tener un mejor rendimiento energético y establecer los controles en sus precios, este marco es considerado como el sistema regulador más completo desarrollado hasta la fecha (Ofgem, s.f.). Para comprender mejor cómo funciona RIIO, se hace referencia a cuatro características principales, las cuales son:

Un plan tarifario de varios años: Ofgem instituye que los ingresos de las empresas de servicios públicos se pueden cobrar durante un período tarifario de ocho años, esto tiene como objetivo principal incentivar las inversiones a un plazo más largo, ya que es necesario para la transición a una red moderna.

El enfoque del gasto total (totex): Totex combina una parte de los gastos de capital (capex) y los gastos operativos (opex) en un activo regulador que permite una tasa de rendimiento de ambos, en función de una división porcentual preestablecida, esto ayuda a que las empresas fortalezcan su capital de inversión y puedan realizar contrataciones con terceros y, de esta manera, se presenten ganancias mutas para los clientes y las empresas prestadoras de servicios.

Incentivos de rendimiento: además del incentivo de eficiencia, incluido en el plan tarifario plurianual y el límite de ingresos, Ofgem establece objetivos específicos que las empresas de servicios públicos deben cumplir, los cuales están vinculados a seis categorías de desempeño: confiabilidad y disponibilidad, entorno, conexiones, servicio al cliente, obligaciones sociales y seguridad.

Fondo de innovación: Ofgem creó un fondo para patrocinar proyectos piloto innovadores, donde las empresas de servicios públicos puedan experimentar nuevas tecnologías en operación, comercialización, distribución de energía y gas, además de proyectos que puedan tener beneficios ecológicos.

RIIO representa la evolución en la regulación de las compañías de energía en el Reino Unido, fue adoptado en octubre de 2010 y puesto en marcha para la transmisión de electricidad en abril del 2013 y para su distribución en abril de 2015 (Girouard, 2019).

Otro caso destacable para nombrar en la inclusión de las FNCER y sus redes inteligentes es el caso de la República de Corea, sobre el cual se manifiesta que:

Referente internacional en este tema, aplicando medidas desde el 2010 y trazando una ruta nacional para la implementación a gran escala de redes inteligentes proyectando beneficios económicos, sociales y ambientales contundentes para el 2030, evidenciando ahorros millonarios en importaciones de recursos energéticos, la generación de miles de nuevas fuentes de empleo por año y un impulso económico en su mercado de aproximadamente 74 mil millones de dólares (Tecnológico de Monterrey, s.f.).

Algunas de las medidas adoptadas por Corea para alcanzar estos objetivos son:

- Inversión en la infraestructura para las redes inteligentes, desde contadores inteligentes y redes de transmisión bidireccional, hasta la infraestructura de carga para vehículos eléctricos.
- Planificación en la expansión de los suministros de energía renovable y vehículos eléctricos.
- Establecimiento de sistemas de suministro de energía de emergencia, en caso de que la red de carga para vehículos eléctricos sufra un aumento de carga.
- Introducción de un sistema inteligente de gestión de electricidad.
- Introducción de tarifas variables en tiempo real.
- Desarrollo de un sistema de estandarización y certificación de tecnologías energéticas para impulsar su comercialización, investigación y desarrollo.

Estos seis aspectos se pueden tener en cuenta en la valoración para que Medellín sea considerada una ciudad energéticamente inteligente (Smart City), valorando también los beneficios ambientales de este nuevo esquema eléctrico.

Continuando con el tema, la implementación de una Smart City se lleva a cabo con base en las necesidades de cada ciudad y en su plan estratégico o gubernamental, de acuerdo con su crecimiento poblacional. Por esta razón no es posible hacer una comparación exacta, ya que todas las ciudades manejan diferentes desarrollos tecnológicos. Málaga es un ejemplo de una ciudad que potencializa su desarrollo en el consumo eficiente de la energía, en el informe "Smartcity Málaga: Un modelo de gestión energética sostenible para las ciudades del futuro" realizado por Endesa, se detallan las actuaciones practicadas en la ciudad aplicando el concepto de Smart Grids desde el año 2009, teniendo como objetivo principal reducir las emisiones de CO_2 a la atmósfera, adoptando medidas como la implementación de vehículos eléctricos, igualmente la reducción de un 20% en el consumo de energía. Este proyecto de ciudad inteligente va de la mano con el consorcio de 11 empresas que en la zona de la playa de la Misericordia están realizando la implementación

progresiva de redes inteligentes, de manera que estas puedan gestionar la distribución para el consumo eficiente de la energía.

Otro ejemplo importante es la ciudad de Singapur, esta es considerada por el Banco Mundial como la mejor ciudad para hacer negocios y la más adecuada para favorecer el crecimiento empresarial. Singapur está instaurando un sistema energético inteligente (IES), mediante el flujo bidireccional de información, que permite la reducción y eficiencia del consumo de energía en al rededor del 3% gracias a la implementación de dispositivos que miden, recolectan y analizan el uso de la energía, dichos dispositivos son los AMI (infraestructura de medición avanzada) (Colado et al 2014).

Adicionalmente, la estabilidad de la red no es un problema en Singapur, ya que poseen una de las redes de electricidad más fiables, con un tiempo real de interrupción promedio de menos de un minuto por cliente al año. Estas redes poseen un sistema avanzado de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) con canales de comunicación de dos vías que pueden detectar las fallas e interrupciones del suministro de energía de manera automática.

Por otro lado, pretenden integrar en su sistema un gran número de fuentes de energía en la modalidad de plug-and-play, (enchufar, conectar y usar). En el caso de Singapur consta de sistemas fotovoltaicos y pequeñas plantas de cogeneración, asimismo han creado un instituto llamado Energy Research institute Nanyang Techonological University. Este instituto se centralizará en áreas referentes a la energía solar, los vehículos eléctricos y las redes inteligentes (Colado et al 2014).

En este análisis se tuvieron países en los que existen ciudades inteligentes destacadas a nivel mundial, son pioneros en la inclusión de las FNCER y sus regulaciones han sido referentes de otros países para dicha inclusión, estos países son: México, Estados unidos, Reino Unido, Alemania, Chile, España, entre otros.

Tomando en cuenta los países mencionados anteriormente, se presenta la Tabla 3, en la que se incluyen iniciativas o proyectos relacionados con la implementación de las redes inteligentes, esto ayudará a tener un mejor análisis de las necesidades y problemas que se

hayan presentado con este tipo de infraestructuras, así como las diferencias y similitudes de los proyectos instalados a nivel mundial.

Tabla 3

Proyectos redes inteligentes

País	Proyecto
Alemania	El proyecto eTelligence realizado por EWE proporciona herramientas importantes para el futuro, al vincular de manera inteligente los campos de las telecomunicaciones y la energía con el objetivo de que Alemania pueda obtener el 50% de su energía de fuentes renovables para 2030.
Corea	El proyecto de la isla de Jeju, que está llevando a cabo la empresa de servicios públicos coreana Kepco con Hyundai Heavy Industries y la compañía de acero POSCO, busca establecer un sistema inteligente y renovable para promover el uso de energías renovables, energías distribuidas y vehículos eléctricos que no se pueden adaptar a la infraestructura de red existente.
EE. UU	Opower ha desarrollado un modelo de negocio en torno al análisis de datos de medición y otras fuentes de datos. Actualmente, Opower cuenta con ocho de las 10 mayores empresas eléctricas de EE. UU. Como clientes, llegando a más de 22 millones de clientes de servicios públicos en todo el mundo. Su enfoque ha ahorrado 3.700 millones de kWh en total y ha reducido las emisiones de carbono en 2.6 millones de toneladas.
Brasil	Búzios fue elegido como uno de los mejores proyectos tecnológicos de Enel Group en Sudamérica. Se están instalando aproximadamente 10,000 medidores electrónicos, dos estaciones eléctricas y 130 puntos de iluminación LED, más 48kW de generación distribuida, 17 puntos de automatización de red, y edificios inteligentes, entre otras tecnologías, que cubrirán alrededor de 10,363 consumidores en los sectores residencial, comercial e industrial.
Tasmania	El objetivo principal del Proyecto de Integración de Energía Renovable en la Isla de King (KIREIP) de Hydro Tasmania es aumentar la generación de energía renovable y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Fuente: (Engerati, 2014)

Riesgos para considerar en la implementación de redes de transmisión inteligentes

Para la implementación de las redes inteligentes, se destacan dos riesgos generales, los cuales son:

Riesgos físicos

Con la introducción de redes inteligentes y el posible aumento de la carga en las líneas de transmisión, los operadores de sistemas de energía eléctrica se verán obligados a operar los sistemas muy cerca de sus límites de estabilidad. Este nuevo punto operativo por sí solo representa un aumento en la vulnerabilidad del sistema, por lo que es necesario examinar el comportamiento general del sistema más de cerca, para mantener los márgenes de seguridad en sistemas interconectados. La estabilidad de la señal, especialmente en las oscilaciones entre la transmisión y la distribución será un problema común en las grandes redes eléctricas de todo el mundo; a medida que aumenta el tamaño del sistema y la carga en la red, las vibraciones multifuncionales también tenderán a aumentar (Velasco-Ramírez et al., 2013).

Riesgos cibernéticos

La transmisión de energía a través de redes inteligentes depende en gran medida de los sistemas de control informáticos. El hecho de tener un sistema de comunicaciones basado en tecnología IP (protocolo de telefonía vía Internet) que usa datos digitales, lo hace más vulnerable a los riesgos cibernéticos. Cualquier falla intencional o no intencional de la red eléctrica puede tener consecuencias devastadoras, sin procedimientos de cifrado eficientes para la seguridad del sistema, cualquier persona con pocos conocimientos de ingeniería y comunicación podría desconectar a todos los usuarios conectados a la red de transmisión inteligente.

En 2009, el Wall Street Journal, informó que ciberespías de China, Rusia y otros países habían penetrado las redes eléctricas de Estados Unidos, efectuando un software que podría perturbar el funcionamiento del sistema. Desafortunadamente, las redes inteligentes pueden ser un sistema de fácil acceso para los piratas informáticos que navegan por el ciberespacio.

Otro ejemplo que ocasionó apagones en una escala similar fue el de Nueva York en 2003, que dejó a 50 millones de personas sin energía ni servicios de comunicación. Otro caso se presentó el 23 de diciembre de 2015, alrededor de la mitad de los hogares en la región ucraniana llamada Ivano-Frankivsk (con una población de 1,4 millones de habitantes) se quedó sin electricidad durante unas horas. Según el medio de noticias ucraniano TSN, la causa de la interrupción energética fue un “virus troyano” utilizado en un “ataque de hackers” (Lipovsky y Cherepanov, 2016).

Una vez que se haya ingresado y manipulado la red inteligente, sería posible controlar millones de dispositivos de protección o medidores al mismo tiempo. También podría afectar el equilibrio de carga de un sistema local a través de un aumento o disminución repentinos del factor de demanda (Velasco-Ramírez et al., 2013).

El Papel de la generación distribuida y el despliegue de redes inteligentes

Es importante partir de una base de datos sobre la inclusión de las nuevas fuentes de generación de energía en diferentes países, y poder observar en qué estado se encuentran a nivel mundial. La generación de energía a partir de fuentes de energía renovable (RES) está aumentando en el mundo, en gran parte debido a los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones, establecidos por la Comisión Europea.

Con el fin de planear un sistema de integración de energías renovables es necesario analizar modelos específicos para sistemas energéticos. Su revisión considera una gran variedad de tipos de modelos, sistemas de energía renovable y otros aspectos que permitan evaluar los desafíos que enfrenta el sistema de energía actual.

En la red tradicional de transmisión y distribución (T&D), grandes fuentes abastecen de electricidad a un gran número de clientes privados, comerciales e industriales, que pueden estar ubicados cerca o lejos de las centrales eléctricas, lo que implica diversos retos para el suministro eléctrico.

En contraste, un sistema de generación descentralizado o un sistema de generación distribuida (GD) tiene fuentes descentralizadas más pequeñas que generan electricidad

mucho más cerca de las personas que la utilizan. Hay muchos productores y aunque producen menos individualmente, todos están conectados a la red, y juntos pueden ser muy eficaces.

Varias tecnologías forman la columna vertebral de un sistema de GD, algunas de las más conocidos son la energía solar, eólica e hidroeléctrica; también está la cogeneración de calor y energía, esta es un sistema que produce calor y electricidad de forma simultánea en una sola planta, alimentada por una sola fuente de energía primaria; otra tecnología son los dispositivos de almacenamiento de energía la cual puede permanecer conectada a la red, además almacena energía hasta que se necesita.

¿Cuáles son las ventajas de la generación descentralizada?

- Mayor confiabilidad del sistema eléctrico.
- Un suministro de energía de emergencia y/o operación anti-isla.
- Reducción de los requisitos de potencia pico.
- Compensaciones de inversiones en instalaciones de generación, transmisión o distribución que de otro modo se recuperarían mediante tarifas.
- Prestación de servicios auxiliares, incluida la energía reactiva.
- Mejoras en la calidad de la energía.
- Reducciones en los efectos del uso de la tierra y los costos de adquisición de derechos de vía y eliminando la necesidad de líneas eléctricas aéreas.
- Reducción de la vulnerabilidad al terrorismo y mejoras en la resiliencia de la infraestructura (Cummings, 2016).

Todos estos son conceptos realmente importantes, sin embargo, es necesario comprender a fondo los problemas relevantes relacionados con DER (recursos energéticos distribuidos) antes de instalar cualquier tecnología. Los siguientes pasos generales ayudarán a percibir la implementación de los DER:

- Aclarar las razones para querer DER.
- Identificar las opciones tecnológicas actuales y futuras.

- Evaluar el costo y los ahorros.
- Comprender las regulaciones y el proceso de desarrollo del proyecto.
- Comprender los riesgos y las incertidumbres (Capehart, 2016).

En general, los DER proporcionan al consumidor mayor confiabilidad, calidad de energía y la posibilidad de participar en mercados competitivos de energía eléctrica; asimismo, tienen el potencial de reducir las sobrecargas en las líneas de transmisión, controlar las fluctuaciones de precios, fortalecer la seguridad energética y brindar mayor estabilidad a la red eléctrica (Capehart, 2016).

Otro aspecto importante que puede promover la GD es la tecnología Blockchain, la cual podrá ayudar a los operadores de sistemas de generación distribuida a optimizar las operaciones de la red, ganar flexibilidad y permitir la fijación de precios en tiempo real mediante la administración de dispositivos conectados a través de contratos inteligentes automatizados (acuerdos de autoaplicación integrados en el código de computadora y administrados por un blockchain). Blockchain tiene el potencial de respaldar el comercio de energía distribuida, al manejar los complejos acuerdos comerciales entre diferentes partes en el mercado de la energía.

Análisis de la Situación Normativa y Regulatoria

Este enfoque sobre la normatividad de la energía tiene sus raíces en los profundos temores de los consumidores sobre la seguridad del suministro de energía, lo que lleva a ejercer una fuerte presión sobre los responsables políticos para que encuentren soluciones efectivas y puedan garantizar y establecer un vínculo entre la política energética y el desarrollo sostenible.

El ejercicio realizado en la Tabla 4, consistió en revisar información de varias fuentes actuales para analizar los sistemas de energía en países como Inglaterra, España, Estados Unidos, Chile, entre otros, motivados por la necesidad de representar mejor la integración de las energías renovables variables, el despliegue de generación distribuida como base

principal de las redes inteligentes y un análisis básico de sus marcos regulatorios; esto dará claridad para analizar las tecnologías y definiciones de varios países.

Tabla 4

Conceptos normativos y definiciones para la generación distribuida

País	Definición de GD	Normatividad Relacionada	Definición de Autogenerador	Normatividad Relacionada
Panamá	Producción individual de energía solar fotovoltaica para su consumo en el mismo punto donde fue generada. Este sistema estará conectado a red permitiendo inyectar los excedentes.	Proyecto de Ley 573	Persona natural o jurídica que produce y consume energía eléctrica en un mismo predio para atender sus propias necesidades. No usa, comercializa o transporta su energía con terceros o asociados; pero puede vender excedentes a la Empresa de Transmisión Eléctrica y a otros agentes del mercado.	Ley 6 de 3 de febrero de 1997
El Salvador	Aquella que está directamente conectada a las redes de distribución cerca de los usuarios finales y no tiene despacho centralizado. Generadores conectados a las redes de distribución en los alimentadores de las redes primarias y secundarias.	No. 162-E-2012	(Autoproducción): se considera usuario autoproducción renovable (APR) al usuario final que produce energía para su propio consumo y que eventualmente inyecta excedentes de energía a la red de distribución. <ul style="list-style-type: none"> • 5 KW máxima capacidad permitida. • Posibilidad de inyectar a la red de distribución todos los excedentes. • Contrato bilateral por 15 años. • Precio de la energía en base a ofertas de licitación de 15 MW. 	Legislativo No. 808 / 12 de septiembre de 1996
México	Generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características: a) Se realiza por un Generador Exento en los términos de esta Ley, y b) Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución	Ley Industria Eléctrica (LIE) 2016	Autogenerador: de acuerdo a la Ley de Industria Eléctrica se deben de tener en cuenta los siguientes conceptos: Autoabasto local: figura en la que se puede generar únicamente para el consumo de la electricidad dentro de las propias instalaciones y se puede vender excedentes o comprar faltantes.	Ley Industria Eléctrica (LIE) 2016

	<p>que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado.</p> <p>Generador Exento: propietario o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no requieren ni cuenten con permiso para generar energía eléctrica en términos de esta Ley (Sistemas Menores de 500 KW). Estos generadores pueden vender su electricidad y Productos Asociados a un Suministrador de Servicios Básicos, para lo cual la CRE calculará las contraprestaciones aplicables. Los Generadores exentos también podrán participar en el Mercado Eléctrico.</p>		<p>Autoabasto remoto: figura en la que se puede hacer uso de la Red Nacional de Transmisión o las Redes Generales de Distribución con un cargo por porteo para llevar la electricidad de un punto a otro y así entregarla a centros de carga que forman parte de la sociedad de autoabasto. Abasto Aislado es similar a la figura de Autoabasto local, por lo que el uso de la Red Nacional de Transmisión o las Redes Generales de Distribución sólo tiene la finalidad de vender o comprar el faltante o sobrante de electricidad. Para transmitir energía eléctrica de un punto a otro de la red, el generador deberá de participar en el Mercado Eléctrico Mayorista.</p>	
Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • El termino Generación Distribuida significa una instalación de generación de energía eléctrica que está diseñada para servir a los consumidores de electricidad al por menor o cerca del sitio de la instalación. • Generación eléctrica que alimenta a la red de distribución, en lugar de la red de transmisión masiva, ya sea en el lado de la utilidad del medidor, o en el lado del cliente. 	Ley de Política Energética 2005.	El concepto de generación distribuida varía según los estados y no se puede identificar una legislación única en lo que a generación distribuida se refiere.	Actualmente no dispone de un régimen regulatorio específico para la generación distribuida, depende del Estado.
Inglaterra	Un proyecto de generación se clasifica como generación distribuida si opera mientras está conectado eléctricamente a la red de distribución. También es conocido como 'generación embebida'.	Ofgem	<p>Auto generador no está definido.</p> <p>(Autoconsumo): donde utiliza la electricidad que se genera para evitar importar de la red, por lo tanto, reduce sus facturas de electricidad.</p> <p>(Generador): persona que genera electricidad bajo</p>	RIIO-1 y RIIO-2

			licencia o exención bajo la Ley de Electricidad de 1989.	
Colombia	Generador distribuido: persona natural o jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al Sistema de Distribución Local y con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW.	El 28 de agosto del 2017 la CREG publica la resolución 121 de 2017	Autogenerador: usuario conectado al SIN que realiza la actividad de autogeneración. El usuario puede ser o no ser propietario de los activos de autogeneración.	El 28 de agosto del 2017 la CREG publica la resolución 121 de 2017
Guatemala	Generación Distribuida Renovable: es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW).	Resolución CNEE-227-2014 artículo 2, definiciones.	Generador Distribuido Renovable: es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de Generación Distribuida Renovable. Estos serán considerados como Participantes del Mercado Mayorista.	Resolución CNEE-227-2014 artículo 2, definiciones.

Chile	La Generación Distribuida (GD): es la producción de energía eléctrica con muchas medianas y pequeñas generadoras localizadas en o cerca de los centros de consumo, que se conectan a las redes de distribución o directamente a la demanda.	2. LEY N° 20.571, que el artículo 149 bis de la Ley, establece que los usuarios finales sujetos a fijación de precios, que dispongan para su propio consumo de equipamiento de generación de energía eléctrica por medios renovables no convencionales o de instalaciones de cogeneración eficiente.	Autogeneración: consiste en la generación de energía eléctrica realizada en nuestro hogar, escuela o negocio. Incluso comunidades como edificios o condominios podrán ponerse de acuerdo para hacerlo. Como requisito para poder inyectarla a la red, ésta debe haber sido generada mediante energías renovables no convencionales o mediante de cogeneración eficiente. Además, el sistema de generación no debe producir más de 100 kilowatts y la capacidad conectada del inmueble debe ser inferior a 5.000 kilowatts.	Artículo 225 del decreto con fuerza de ley N°4/20.018, de 2006, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado del decreto con fuerza de ley N° 1, de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos.
España	Del mismo modo, se excluyen del régimen de autorización administrativa las instalaciones de producción con potencia nominal no superior a 100 kW y se anuncia la futura y próxima regulación del suministro de la energía eléctrica producida en el interior de la red de un consumidor para su propio consumo que incentivará el autoconsumo. Con estas medidas se pretende el desarrollo de la generación distribuida, que presenta beneficios para el sistema como son la reducción de pérdidas en la red, la reducción de necesidades de inversiones en nuevas redes y, en definitiva, una minimización del impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno.	La Directiva 2009/28/CE del 23 de abril de 2009, establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables.	En España puede “asimilarse” la generación distribuida a lo que la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico denomina instalaciones de producción con retribución específica pero que hasta su entrada en vigor se conocía como régimen especial (Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid 2007).	Ley 54/1997, Ley 24/2013 del Sector Eléctrico

En muchos países la generación distribuida es un potencial que se está desplegando y se puede desarrollar aún más; tanto los municipios como las instituciones tendrían la oportunidad de volverse autosuficientes generando su propia energía, mientras que el exceso de energía se retroalimenta a la red. Al invertir en fuentes de energías descentralizadas y renovables, los consumidores de energía pueden hacer que el sistema eléctrico sea más eficiente, confiable y sostenible, al mismo tiempo que obtienen un mejor control sobre sus facturas de energía. La pandemia de Covid-19 ha demostrado cómo la generación distribuida puede desempeñar un papel crucial en la restauración de la energía y responder rápidamente a un escenario de crisis proporcionando energía de respaldo durante los cortes.

Sin embargo, los beneficios de la GD pueden no ser equitativos, creando dificultades operativas y económicas para las empresas de distribución y los operadores del sistema. Para evitar esto, es necesario implementar políticas y regulaciones apropiadas. Afortunadamente, los sistemas de energía con niveles más altos de la GD han desarrollado enfoques para abordar estos problemas y estos pueden adoptarse para otros sistemas de energía. En la Tabla 5 se hace una descripción de países como Panamá, El Salvador, México, entre otros países semejantes a Colombia por su cultura, orografía, economía, etc., en cuanto a tensión, rangos de potencia, incentivos, y tipos de fuentes de generación de energía.

Tabla 5

Niveles de tensión, rangos de potencia incentivos y tipos de fuente de energía para la GD

País	Nivel de tensión para conexión (KV)	Rangos de Potencia para Operación Auto - generadores (kW)	(Incentivos)	Tipos de fuentes o recursos que incluye la GD
Panamá	< = 1 KV (BT: Baja Tensión) NO requiere trámite de Licencia de Generación (Ley 45 de 2004). Procedimiento de hasta 500 kW (Resolución AN No 5399-Elec de 2012). No Aplica CÓDIGO DE REDES FOTOVOLTAICO Res. AN No.6979-Elec de 03/01/2014 > 1 KV < 35 KV (MT: Media Tensión) Requiere trámite de Licencia de Generación (Ley 37 de 2003). Aplica CÓDIGO DE REDES FOTOVOLTAICO Res. AN No.6979-Elec de 03/01/2014	< = 500 kW (Pequeñas centrales particulares de energía solar). > 500 kW (Sistemas de centrales solares)	- Exención de impuestos de importación, repuestos y operación de plantas que no se interconecten a la red de distribución para unidades de hasta 500 KW - Exención para pago de tarifas de transmisión y distribución para unidades de hasta 10MW - Exención para pago de tarifas de transmisión y distribución para unidades de entre 10 y 20 MW - Excepción para pago para distribución, pagan tarifa de transmisión normal para unidades mayores de 20 MW	La Generación Distribuida en Panamá tiene por interés fuentes nuevas y renovable y como: Energía geotérmica, eólico, solar, conversión directa a la electricidad, combustión de desechos y desperdicios de origen nacional y energía hidroeléctrica.
El Salvador	* < = 0,6 KV (BT: Baja Tensión) * > 0,6 KV < 115 KV (MT: Media Tensión). 13,2 KV ó 23 KV	* < = 5000 kW (Sistemas de centrales solares)	*10 años período de exención para unidades menores a 10MW *5 años para unidades entre 10 y 20 MW	La generación Distribuida Renovable en El Salvador aprovecha los recursos como: Hidroeléctrica, Geotérmica, Eólica, Solar, Biomasa, biogás.
México	Clasificación de Centrales: *1 KV (BT: Baja Tensión) Capacidad de generación neta (P) unidad generación sistemas trifásicos P < = 50 kW (Tipo BT); sistemas monofásicos P < = 30 kW * > 1 KV < 35 KV (MT: Media Tensión) Capacidad de generación neta (P) P < = 250 kW (Tipo MT1); 250 kW < P < 500 kW (Tipo MT2) Circuitos de Distribución en MT: Tensión en el circuito de distribución: 13.8 KV, Límite de capacidad de generación neta: 4 MW; Tensión en el circuito de distribución: 23.0 KV, Límite de capacidad de generación neta: 8 MW; Tensión en el circuito de distribución: 34.5 KV, Límite de	< 500 kW (0,5 MW)	* 1 CEL (Certificado de Energía Limpia) equivale a MG/hora de energía limpia generada para vender en el mercado, los cuales se puede intercambiar a través de contratos en el mercado CEL, subastas mensuales organizadas por CENACE o en una liquidación anual Anexo: México, creó una ley General de Cambio Climático en el 2012 donde establecen las directrices para enfrentar los efectos adversos del cambio climático, creando el Fondo para el Cambio Climático (FMC) el cual tuvo gran influencia para crear el programa llamado "Proyecto de Eficiencia y Sostenibilidad Energética en Municipios	La generación Distribuida en México incentiva el uso de fuentes de energía y procesos Limpios como: El Viento, la Radiación Solar en todas sus formas, Energía oceánica en todas sus formas, Calor de yacimientos geotérmicos, Bioenergéticos, Aprovechamiento del poder calorífico del metano y otros gases asociados de disposición de residuos, Aprovechamiento del hidrogeno o celdas de combustible, Energía de Centrales Hidroeléctricas, Energía Nucleoeléctrica, Energía por

	capacidad de generación neta: 10 MW (Para los anteriores casos los transformadores de potencia que formen parte de la RGD se tendrá hasta el 80% de la capacidad de cada transformador de potencia)		(PRESEM)" esto fue apoyado por el BID.	residuos urbanos, Energía por Cogeneración, Energía por Ingenios Azucareros, Energía por centrales Térmicas, Tecnologías con bajas emisiones de carbono y otras tecnologías que determine la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Estados Unidos	<p>Pequeños Generadores:</p> <p>* < 5 KV y <= 500 kW independiente de la ubicación</p> <p>* >= 5 KV < 15 KV y <= 2 MW independiente de la ubicación</p> <p>* >= 15 KV < 30 KV y <= 3 MW independiente de la ubicación</p> <p>* >= 30 KV < 69 KV y <= 4 MW independiente de la ubicación</p>	<p>* < 20 MW (Pequeños generadores).</p> <p>* > 20 MW (Grandes generadores).</p>	<p>*Net Metering (Balance Neto): el único requisito necesario para acogerse al Net Metering es un contador. Los contadores suelen ser bidireccionales por lo que pueden contabilizar flujos en ambas direcciones, lo que permite que se pueda conceder un crédito para que la energía generada e inyectada a red pueda ser consumida más adelante. El crédito que se acumula mediante Net Metering equivale al valor económico considerando la tarifa minorista completa.</p> <p>*Tarifa con Prima (Feed-in Tariffs (FIT's)): se requieren dos contadores. El segundo contador contabiliza la energía que fluye desde la planta de generación a la red., de esta manera se puede establecer un precio distinto para la energía consumida y para la energía generada. Los esquemas FIT tienen una duración de unos 15-20 años, previa fijación de un precio superior al del mercado minorista, que disminuye con el tiempo (tarifa regresiva).</p> <p>*Virtual Net Metering: consiste en hacer un balance neto contando con un sólo contador que se comparte entre varios consumidores, que comparten un huerto o una planta solares comunitaria. La normativa que les aplica varía de un estado a otro en función de si el crédito se valora a precio mayorista o minorista, el plazo de compensación o la existencia de cargos adicionales.</p>	<p>La generación distribuida en Estados Unidos usa fuentes renovables (tecnologías de fuentes renovables) como: Energía Eólica, Fotovoltaica, Sistemas Solar Térmicos, Energía Geotérmica, Sistemas Alimentados con Hidrogeno, Sistemas Basados en Biomasa, Biocombustibles, Energía Hidráulica, Celdas de Combustible y Microturbinas.</p>
Inglaterra	<p>* < 1 KV (BT: Baja Tensión) En la práctica esto significa 400/230V</p> <p>* > 1 KV < 22 KV (AT: Alta Tensión) En la práctica esto significa 6,6, 11 ó 20 KV</p>	<p>* <= 50 kW (50 kW o menos trifásico o 17 kW o menos monofásico (Pequeñas unidades de generación)</p> <p>* < 50 MW (Central de Energía Pequeña)</p> <p>* >= 50 MW < 100 MW (Central de Energía Mediana)</p>	<p>*Generación entre 50 y 100 MW puede tener una exención por este requerimiento desde el secretario de Estado de Energía y Cambio Climático.</p> <p>*Tarifa con Prima (Feed-in Tariffs (FIT's)): incentivo financiero para apoyar la generación de energía renovable distribuida</p>	<p>La GD o Embebida en Inglaterra (y Reino Unido), tiene fuentes de energía renovable y sustentable como: Tecnología de Carbón Limpio, Metano de Mina de Carbón, Biomasa, Biocombustibles, Celdas de</p>

		*> = 100 MW (Central de Energía Grande)	y en pequeña escala, hasta 5 MW. Los FIT están disponibles para las siguientes tecnologías de generación: Digestión Anaeróbica, Hidráulica, Solar Fotovoltaica, Eólica, unidades domésticas combinadas de calor y energía (CHP) también son compatibles.	Combustible, Fotovoltaicas, generación de Olas y Mareas, Hidrogeneración, Microgeneración, Recursos Geotérmicos y Otros.
Colombia	Según el consultor Alberto Rodríguez en su trabajo LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA y SU POSIBLE INTEGRACIÓN AL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL, Las Universidades Nacional y de Los Andes en cuanto al nivel de voltaje de la GD, dicen que las soluciones deben estar en media tensión por características técnicas: 11.4 kV, 13.2 kV y 34.5 kV. Según lo anterior, la GD estaría en los niveles 1, 2 y 3 definidos por la CREG, es decir, a menos de 57.5 kV. En Colombia, por la definición de niveles de tensión la distribución puede cobijar todas las redes de nivel inferior a 220 kV.	Autogenerador a gran escala. primero de la Resolución UPME 281 de 2015 (hasta 1 MW) Autogenerador a pequeña escala. UPME 281 de 2015 (hasta 1 MW) Generador distribuido. 0,1 MW (100 KW)	La Ley 1715 de 2014 capitulo 2, artículo 8, le confirió a la CREG la facultad de definir las normas, para la remuneración de los excedentes que generen autogeneradores de pequeña escala, que utilicen Fuentes No Convencionales de Energía Renovable-FNCER-, los cuales se reconocerán mediante un esquema bidireccional como créditos de energía. Ley 1715 de 2014: ARTÍCULO 11. incentivos a la generación de energías no convencionales. Los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en este sentido tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada. ARTÍCULO 12. instrumentos para la promoción de las FNCE, incentivo tributario IVA. Para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos de IVA. ARTÍCULO 13. instrumentos para la promoción de las energías renovables, incentivo arancelario, exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes. ARTÍCULO 14. instrumentos para la promoción de las FNCE, incentivo contable depreciación acelerada de activos. La	Es necesario agregar a la definición de GD algunos otros elementos que configuran el carácter fundamental de esta alternativa generacional, como son el uso de diversas fuentes de energía, entre las que se encuentran la eólica, solar, térmica e hidroeléctrica, entre otras; diferentes tipos de combustibles como biomasa, gas natural, diésel, biodiesel, etanol, gasolina, etc. para tecnologías basadas en sistemas de combustión; la alta eficiencia en la generación.

			<p>actividad de generación a partir de FNCE, gozará del régimen de depreciación acelerada. La depreciación acelerada será aplicable a las maquinarias, equipos y obras civiles necesarias para las disposiciones analizadas por preinversión, inversión y operación de la generación con FNCE. Para estos efectos, la tasa anual de depreciación será no mayor de veinte por ciento (20%) como tasa global anual.</p>	
Guatemala	<p>Los niveles de tensión utilizados principalmente por el Distribuidor son: 120, 240, 13,200, 13,800 y 34,500 Voltios.</p>	<p>De generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW)</p>	<p>Decreto No 52-2003 •Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado -IVA-, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable, para los periodos de preinversión y de construcción, durante un periodo que no excederá de diez años.</p> <p>• Exención del Impuesto sobre la Renta -ISR-, por 10 años. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la fecha en que el proyecto inicia la operación comercial.</p>	<p>Dentro de estos recursos se tienen las energías hidráulica, geotérmica, eólica, solar (térmica y fotovoltaica) y la biomásica (leña, carbón vegetal, bagazo de caña de azúcar, biocombustibles y residuos urbanos, forestales, agrícolas y estiércol).</p>
Chile	<p>Nivel de tensión / Máxima capacidad de GD 400 V red / 50 kVA 400 V barra / 200 - 250 kVA 11 - 11,5 kV red / 2 - 3 MVA 11 - 11,5 kV barra / 8 MVA 15 - 20 kV red o barra / 6,5 - 10 MVA 63 - 90 kV red / 10 - 40 MVA</p>	<p>• Cientes regulados: Clientes con tarifas reguladas*</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generación basada en energías renovables o cogeneración eficiente • Capacidad de generación de hasta 100 kW • Medidor bidireccional • Inversores y módulos fotovoltaicos autorizados por SEC** <p>* Modificación Ley 20.517 a Ley 21.118: NetBilling permite la instalación de proyectos de hasta 300 kW de energías renovables para autoconsumo conectados a la red de distribución.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos sin inyecciones de energía en la red (Norma Técnica Eléctrica N°4), por ejemplo, en consumidores con un consumo base de electricidad elevado. • Proyectos pequeños (< 100 kW) de clientes regulados de las empresas distribuidoras (Ley 20.571 y DS 71/2014 – 103/2016). • Proyectos con excedentes que se inyectan en la red y de capacidad superior a 100 kW (DS 244/2005): Pequeños medios de generación distribuidos (PMGD). • Venta de energía a costo marginal (horario) o a precio estabilizado (precio de nudo, calculado por CNE cada 6 meses, hoy +- 60 US\$/MWh). 	<p>Dentro de las convencionales, la más importante hasta la fecha es la hidráulica a gran escala. Por otra parte, en el ámbito nacional, se definen como fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNOC) a la eólica, la pequeña hidroeléctrica (centrales hasta 20 MW), la biomasa, el biogás, la geotermia, la solar y la energía de los mares.</p>

<p>España</p>	<p>Tecnología renovable conectada a redes de baja tensión (menos de 1 kV) En cuanto a la red de media tensión (1-36 kV), las tecnologías que más conexiones disponen actualmente son la solar fotovoltaica, la hidráulica y la cogeneración.</p>	<p>El Real Decreto 1699/2011 regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia que resulta de aplicación para aquellas instalaciones en régimen especial u ordinario de potencia no superior a 100 kW.</p>	<p>* Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico (BOE 27/12/2013). * Real Decreto 413/2014, de 6 de junio (BOE 10/06/2014) por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. * Real Decreto 960/2020, de 3 de noviembre (BOE 04/11/2020) por el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica. PROGRAMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PYME Y GRAN EMPRESA, acogido al RD 263/2019: Cuantía del incentivo = 30% x Inversión incentivable del proyecto solicitado. En todo caso el importe de incentivo no podrá ser superior al porcentaje del 35%, 45% o 50% de los costes incentivables, según se trate de gran empresa, mediana o pequeña empresa, respectivamente. * Incentivo máximo: 15 millones de euros por proyecto y/o beneficiario. * Inversión mínima: 25000 € (IVA excluido). Actuaciones incentivables: medidas de eficiencia energética y aprovechamiento de calores residuales mediante la mejora de tecnología en equipos y procesos industriales. Inversión ≤ 14379 €/tep. Implantación de sistemas de gestión energética, de acuerdo a la UNE-EN ISO 50001. Inversión ≤ 14501 €/tep. Las actuaciones anteriores deberán cumplir los requisitos establecidos en el Anexo IV del RD 263/2019, y no podrán haberse iniciado con anterioridad a la fecha de registro de la solicitud. Destinatarios de los incentivos: empresas con la consideración de pyme o gran empresa cuyo CNAE 2009 se encuentre entre el 07 y el 39, excluyendo el 12 y el 34 LÍNEA DE INCENTIVOS PYME SOSTENIBLE ADAPTADA AL SECTOR INDUSTRIAL (FEDER regional): • Cuantía del incentivo: 22 tipos de</p>	<p>Según el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, las energías renovables que más contribuyen a la producción energética en España son la energía eólica (51%), la energía hidráulica (36%) y la energía solar (8%). Entre todas producen aproximadamente el 40% de la demanda energética total del país.</p>
----------------------	--	---	---	--

			actuaciones, incentivadas entre el 25% y el 45%. <ul style="list-style-type: none"> • Incentivo máximo: 1 millón de euros por proyecto. • Inversión mínima: 3000 € (IVA excluido). 	
--	--	--	---	--

Si bien la generación distribuida ofrece una variedad de beneficios, también incluye una variedad de tecnologías relativamente nuevas y en desarrollo. Los sistemas de energía y las redes deben adaptarse a los efectos de estas nuevas tecnologías, por tal razón es importante que estos problemas iniciales se reconozcan y se aborden, a fin de garantizar que los beneficios de la generación distribuida puedan realizarse plenamente. Aunque se pueden implementar muchos tipos de generación de energía distribuida, como la eólica, PCH (pequeñas centrales hidroeléctricas), la biomasa, entre otras, cabe mencionar que el sistema de energía de GD más común actualmente es una matriz solar fotovoltaica, ya que sus beneficios para las personas y empresas de servicios públicos son muchos además de que pueden ser amigables con el medio ambiente, al mismo tiempo, pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ayudando a minimizar el cambio climático, asimismo obtener un bien económico (Cummings, 2016).

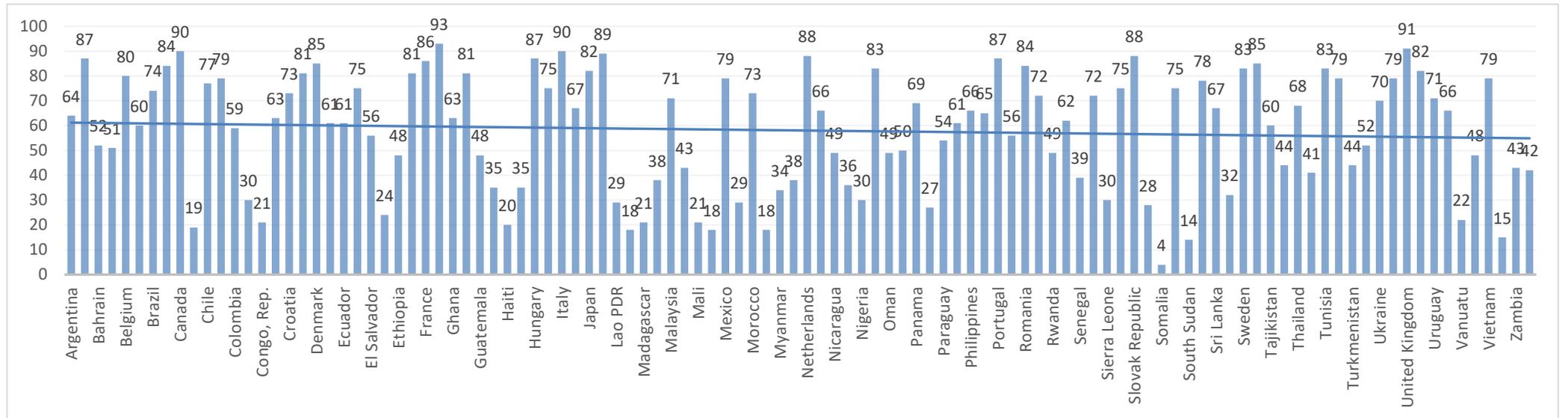
Evaluando la posición de Colombia para el despliegue de la GD, se relaciona un estudio donde se encuentran listados los países según los puntajes del RISE (indicadores regulatorios para la energía sostenible), estos puntajes darán un reflejo instantáneo de las políticas y regulaciones en el sector energético, organizadas por los tres pilares de la energía sostenible los cuales son: acceso a la energía, eficiencia energética y energía renovable (Rise, 2017).

En la Tabla 6 se presentan los puntajes de varios países según RISE, Colombia se encuentra con 59 puntos en promedio, teniendo en cuenta el acceso a la energía con un puntaje de 100, la eficiencia energética con un puntaje de 35, energía renovable con 44, indicando qué

está por debajo de la línea de tendencia comparado con otros países, haciendo una alerta sobre la necesidad del despliegue de la generación distribuida y por ende, la implementación de las energías renovables no convencionales.

Tabla 6

Los puntajes de RISE



Fuente: (Rise, 2017)

Las redes inteligentes y su rol en los AMI

La aplicación de medición inteligente genera y permite recolectar información de consumo de energía en tiempo real, asimismo el monitoreo del uso de la electricidad, el conocimiento de los precios, entre otros. Esta información permitirá tanto a proveedores de energía, operadores de red y consumidores a tomar decisiones más inteligentes y asertivas en cuanto a su uso. Por ejemplo, permitirá a los consumidores de energía gestionar el consumo de los dispositivos electrónicos, electrodomésticos y otros, principalmente aquellos de alta potencia, es decir, aquellos de mayor consumo de energía como el aire acondicionado, la calefacción, los secadores, entre otros.

Asimismo, se proyecta que sea la medición con el uso de los vehículos eléctricos, que permita gestionar sus ciclos de carga, igualmente que puedan ser empleados como sistemas de almacenamiento en los momentos en los que la red así lo requiera, lo anterior solo sería posible gracias a los sistemas de medición inteligentes e información bidireccional.

Otra de las funciones de las redes y la medición inteligentes avanzada, es abrir el camino para el desarrollo de ciudades inteligentes, provisionando los recursos energéticos confiables y sostenibles, reduciendo las pérdidas de energía, aumentando la eficiencia en la prestación del servicio, igualmente proyectando la demanda.

Los AMI y la gestión de las redes inteligentes como ya se ha mencionado, tienen un sin número de beneficios, entre los más destacados se encuentran:

- Reducción de los costos de facturación, medición y en mano de obra, ya que se puede realizar de forma remota, facturación más precisa y mejoras en la eficiencia operativa.
- Brinda la posibilidad de que los clientes autogestionen su consumo, costos y facturas, a través de plataformas y aplicaciones interactivas, además de decidir cambiar su demanda en los momentos más convenientes (costos).

- Reducción en los gastos de capital en servicios públicos y mejoramiento en la utilización y el mantenimiento de los activos.
 - Reducción en los costos asociados a la interrupción del servicio, ya que el monitoreo en tiempo real y la comunicación bidireccional permitirá identificar y resolver más rápidamente los inconvenientes.
 - Cumplimiento de las empresas de servicios públicos en la conexión y o desconexión de servicio remoto en horas, lo que antes tardaba días.
 - Identificación de patrones de uso inusuales por parte de los consumidores de energía.
 - Identificación de pérdidas, daños y robos por medio del suministro de datos.
 - Ofrece a las empresas de servicios públicos capacidades para ofrecer tarifas diferenciales a sus usuarios, basadas en tiempo, incentivos y programas, además permite vender el exceso de energía a nuevos nichos de mercado.
 - Proporcionan información del momento preciso y usos del consumo de energía en los DER, particularmente en sistemas de almacenamiento de energía solar, térmica y otros.
 - Redes de distribución locales a través de mecanismos de medición neta.
- (Recovery Act Smart Grid Programs, 2016)

AMI en Colombia

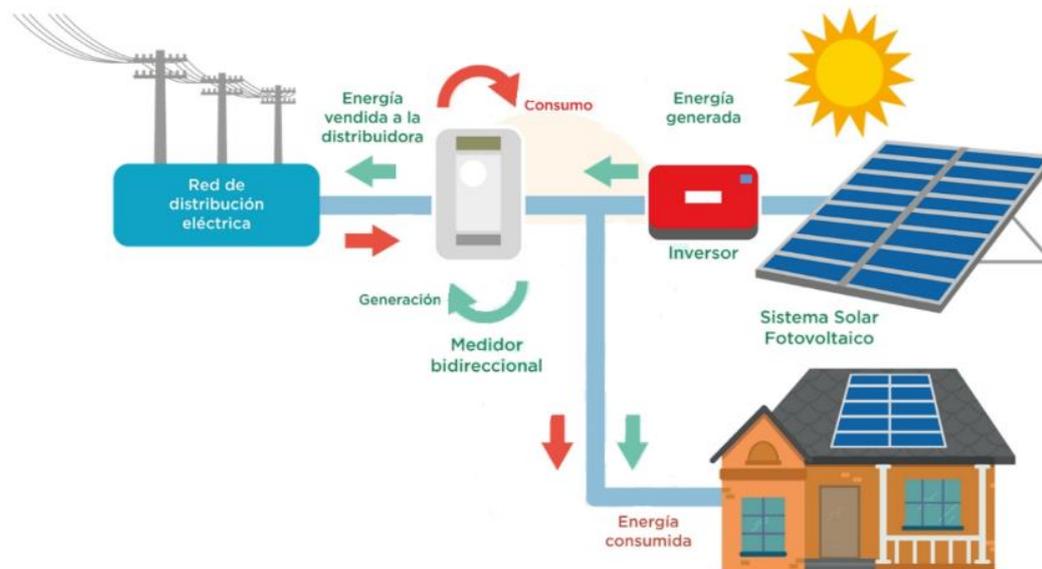
Con la más reciente regulación colombiana sobre AMI (Resolución 131 del 25 de Junio de 2020), el gobierno nacional en cabeza de la CREG, establece las condiciones para la implementación de la infraestructura de medición avanzada, en la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), delimitando y estableciendo los responsables de la instalación, administración, operación, mantenimiento y cambio de la tecnología; así mismo, se establecen las directrices con respecto a interoperabilidad, uso, protección

de datos y remuneración en el funcionamiento de los AMI. Dicha resolución en su artículo 33, manifiesta que los AMI se implementarán en 4 fases de despliegue, su primer fase tendrá una duración máxima de 6 meses a partir de la fecha de inicio del plan, donde se debe reemplazar la totalidad de los medidores que están reportados en el ASIC (Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales), una segunda fase, la cual tendrá una duración máxima de 12 meses contados a partir de la fecha de inicio del plan, donde se deben reemplazar de manera general los medidores de usuarios con consumos promedio igual o superior a 1.000 kWh mes, además, el cambio de los contadores a los AGAPE (auto generadores a pequeña escala) y AGGE (auto generadores a gran escala) que lo requieran; una tercera fase, donde están involucrados los enlaces y conexiones internacionales; y por último, en su cuarta fase, la durará máximo hasta diciembre de 2030, donde se deben instalar todos los equipos según la priorización indicada en el plan aprobado.

En la Figura 3 se muestra un esquema con los componentes básicos de interacción de la AMI entre un usuario productor y consumidor (prosumer) de energía, y las redes de distribución del proveedor del servicio de energía. En este esquema se puede identificar la capa de comunicación que permite la toma de decisiones por parte del prosumer al conocer el precio de compra y venta de energía.

Figura 3

Esquema básico de comunicación bidireccional en la AMI



Fuente: (Newen Solar, 2018)

Características del Sector Eléctrico Colombiano

El sector eléctrico en Colombia ha vivido un gran desarrollo y transformación en los últimos años, gracias a la solidez de diferentes asociaciones y el aporte estratégico de entes relevantes para su consolidación que lo han convertido en referente para varios países. El sector eléctrico se fundamenta en que las empresas comercializadoras y los grandes consumidores adquieren energía en un mercado de grandes bloques, que operan libremente según las condiciones de oferta y demanda. Para incentivar la competencia entre generadores, se permite la participación pública y privada, los cuales deben integrarse al sistema interconectado para participar en el mercado mayorista de energía. Como contrapartes comercializadoras y grandes consumidores, actúan mediante la celebración de contratos de electricidad con los productores. El precio de la electricidad en este mercado se establece de común acuerdo entre las partes contratantes, sin intervención estatal.

Desde la Constitución colombiana de 1991, el Estado permite la participación de empresas privadas en el sector de servicios públicos y estructura un mercado

competitivo para ofrecer a los usuarios tarifas más bajas y mejor servicio (Asamblea Nacional Constituyente, 1991). Este hecho motivó la adopción de la Ley 142 de julio 11 de 1994 que regula los servicios públicos domiciliarios y la Ley 143 de julio 12 de 1994 que regula la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica en el territorio nacional.

Una vez determinadas las actividades del sector eléctrico con base en la Ley 143, el Ministerio de Minas y Energía (MME) asume las funciones de regulación, planificación, coordinación y seguimiento (Congreso de la República de Colombia, 1994). Estas funciones son realizadas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), junto con la UPME y la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios (SSPD), respectivamente, para la planeación, supervisión y control de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Además existe una operación integrada del Centro Nacional de Despacho (CND), los convenios técnicos del administrador del Consejo Nacional de Operación (CON) y la Operación de los mercados del administrador del Sistema de Intercambio Comercial (ASIC), que es dependiente del CND, definiendo que el suministro eléctrico colombiano depende del Sistema Interconectado Nacional y los sistemas locales de las ZNI (Zonas No Interconectadas) (Giral Ramírez et al., 2017).

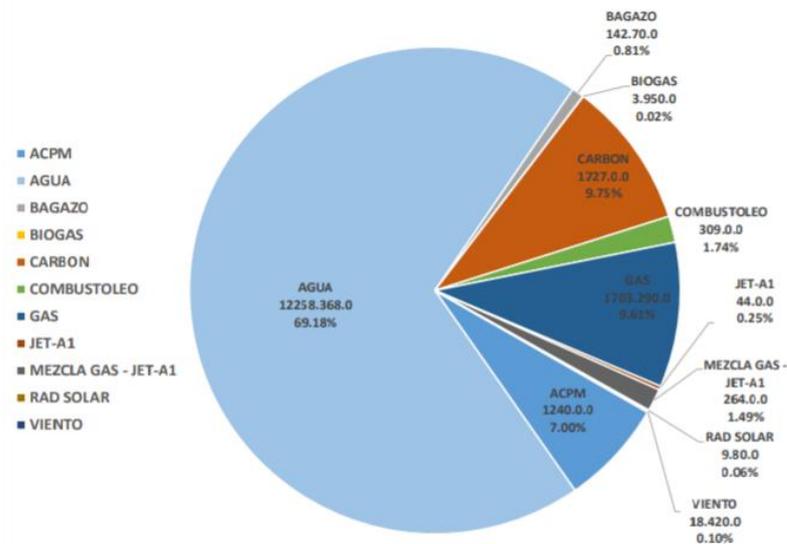
Colombia cuenta con un amplio y diverso portafolio de recursos de generación eléctrica, desde plantas hidroeléctricas, eólicas, solares y de biomasa, hasta plantas térmicas a gas natural, carbón, entre otras. El mercado energético de Colombia avanza en el proceso de transición energética que busca la generación y uso de energías limpias para acelerar la reducción de gases de efecto invernadero, gases contaminantes.

Colombia no es ajena a esta transformación y, aunque tiene una gran participación de energía renovable, concentrada principalmente en los recursos hídricos (aunque no son siempre considerados renovables, sobre todo si son grandes hidroeléctricas), necesita diversificar sus fuentes de energía para hacerlas más

sostenibles. En la figura 4 se presenta la capacidad instalada de diferentes tipos de tecnologías, recursos y su respectiva participación porcentual con respecto a la capacidad total de Colombia.

Figura 4

Participación por tecnología en la matriz eléctrica



Fuente: (Sistema de Información Eléctrico Colombiano, 2018).

Los datos exponen que las centrales hidroeléctricas tienen la mayor participación, con 69.18% de la capacidad instalada total, en segundo lugar, se ubican las centrales térmicas por medio de gas, carbón y ACPM, las cuales alcanzan de manera unida el 26.36%, y el recurso con la mínima participación es el Biogás con 0.02%. En el contexto colombiano, la integración de los recursos energéticos distribuidos por medio de fuentes de energías renovables no convencionales es baja, aunque cabe señalar que en el país se han realizado importantes esfuerzos para desarrollar tecnologías que permitan este tipo de generación de energía limpia, pero esto nos da una señal de que existe un camino por recorrer en la transición de la matriz energética.

Marco Jurídico de las Energías Renovables en Colombia

En el 2014, el Congreso de la República de Colombia aprobó la Ley 1715 de 2014, la cual determina la regulación y la Integración de las Energías Renovables No Convencionales al Sistema Energético nacional. Esta ley brinda a los colombianos un marco regulatorio para la promoción y desarrollo de las energías renovables no convencionales en Colombia.

Hasta la fecha, el gobierno y los organismos autorizados han emitido las siguientes normas:

Tabla 7

Marco jurídico de las energías renovables en Colombia

1.	Decreto 2492 de 2014 “Por el cual se adoptan disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta de la demanda”.
2.	Decreto 2469 de 2014 “Por el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración” generadores y autogeneradores a gran escala, en su artículo 2°. Donde mencionan el contrato de respaldo. Los autogeneradores a gran escala estarán obligados a suscribir un contrato de respaldo con el operador de red o transportador al cual se conecten, donde los operadores de red o transportadores, según sea el caso, diseñarán estos contratos, en el cual la CREG dará los lineamientos y contenido mínimo de estos contratos y establecerá la metodología para calcular los valores máximos permitidos en las metodologías tarifarias para remunerar la actividad de distribución y transmisión.
3.	Decreto 2143 de 2015 “Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014.”
4.	Resolución UPME 0281 de 2015 “Por la cual se define el límite máximo de potencia de la autogeneración a pequeña escala”
5.	Resolución CREG 024 de 2015 “Por la cual se regula la actividad de autogeneración a gran escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)”.
6.	Decreto 1623 de 2015 “Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional y en las Zonas No Interconectadas”
7.	Resolución Ministerio de Ambiente 1312 de 11 agosto de 2016 “Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA), requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de fuentes de energía eólica continental y se toman otras determinaciones”.
8.	Resolución Ministerio de Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016 “Por la cual se establece

<p>el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables – FNCER y gestión eficiente de la energía, para obtener los beneficios tributarios de que tratan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014 y se adoptan otras determinaciones”</p>
<p>9. Decreto 348 de 2017 “Por el cual se adiciona el Decreto 1073 de 2015, en lo que respecta al establecimiento de los lineamientos de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala”.</p>
<p>10. Resolución Ministerio de Ambiente 1988 de 2017. PAI 2017 – PROURE (Programas para Exclusión IVA) “se adoptan las metas ambientales y se establecen otras disposiciones”. Orientado en gran medida sobre el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PROURE) y el Plan de Acción Indicativo (PAI), la resolución establece metas importantes de eficiencia energética.</p>
<p>11. Resolución UPME 585 de 2017 (Procedimiento ante UPME Exclusión de IVA) exclusión del IVA a elementos, equipos y maquinaria tanto nacional como importada de proyectos de eficiencia energética, los interesados deberán tramitar su solicitud ante la UPME para obtener el concepto técnico y seguidamente surtir el trámite ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales- ANLA encargada de la certificación de beneficio ambiental con la que finalmente se podrá acceder al beneficio.</p>
<p>12. Resolución Ministerio de Ambiente 2000 de 2017 (Procedimiento ante ANLA para exclusión de IVA)</p>
<p>13. Decreto 1543 de 2017 “Por el cual se reglamenta el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, Fenoge” con las siguientes funciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Aprobar, objetar e impartir instrucciones y recomendaciones sobre los planes, programas o proyectos a ser financiados con cargo a los recursos del Fenoge, así como sobre las actividades de fomento, promoción, estímulo e incentivo. b) Aprobar el presupuesto del Fenoge. c) Definir las políticas generales de inversión de los recursos que ingresen al Fenoge y velar por su seguridad y adecuado manejo. d) Impartir al patrimonio autónomo que constituya la Entidad Fiduciaria las instrucciones que correspondan para el cumplimiento del objeto del Fenoge. e) Adoptar criterios para la evaluación, clasificación y aprobación de los diversos planes, programas o proyectos a ser financiados por el Fenoge. f) Estudiar y aprobar los diferentes informes elaborados por el patrimonio autónomo que constituya la Entidad Fiduciaria para el efecto. g) Autorizar la conformación y contratación de un Equipo Ejecutor para la coordinación, interacción administrativa, técnica, operativa, de control y seguimiento de las actividades del Fenoge. h) Las demás que se requieran para el cabal cumplimiento del objeto del Fenoge.
<p>14. Resolución CREG 167 de 2017 “Por la cual se define la metodología para determinar la energía firme de plantas eólicas”</p>
<p>15. Resolución CREG 201 de 2017 “Por la cual se modifica la Resolución CREG 243 de 2016, que define la metodología para determinar la energía firme para el Cargo por Confiabilidad, ENFICC, de plantas solares fotovoltaicas”</p>

<p>16. Decreto 570 de 2018 “Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con los lineamientos de política pública para la contratación a largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica y se dictan otras disposiciones” deberá procurar el cumplimiento de los siguientes objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> i) Fortalecer la resiliencia de la matriz de generación de energía eléctrica ante eventos de variabilidad y cambio climático a través de la diversificación del riesgo. ii) Promover la competencia y aumentar la eficiencia en la formación de precios a través de la contratación de largo plazo de proyectos de generación de energía eléctrica nuevos y/o existentes. iii) Mitigar los efectos de la variabilidad y cambio climático a través del aprovechamiento del potencial y la complementariedad de los recursos energéticos renovables disponibles, que permitan gestionar el riesgo de atención de la demanda futura de energía eléctrica. iv) Fomentar el desarrollo económico sostenible y fortalecer la seguridad energética regional. v) Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector de generación eléctrica de acuerdo con los compromisos adquiridos por Colombia en la Cumbre Mundial de Cambio Climático en París (COP21).
<p>17. Resolución CREG 015 de 2018 “Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el SIN (Sistema Interconectado Nacional)”</p>
<p>18. Resolución CREG 030 de 2018 “Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional” Esta resolución aplica a los autogeneradores a pequeña escala y generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transmisores nacionales. También aplica a las conexiones de los autogeneradores a gran escala mayores a 1 MW y menores o iguales 5 MW. Esta resolución no aplica para sistemas de suministro de energías de emergencia, existentes o nuevas.</p>
<p>19. Resolución CREG 038 de 2018 “Por la cual se regula la actividad de autogeneración en las zonas no interconectadas y se dictan algunas disposiciones sobre la generación distribuida en las zonas no interconectadas” Esta resolución aplica a los autogeneradores y a todas las personas que, estando organizadas en alguna de las formas dispuestas por el Título I de la Ley 142 de 1994, desarrollan las actividades de generación, distribución y/o comercialización de energía eléctrica en zonas no interconectadas. Esta resolución no aplica para sistemas de suministro de energías de emergencia, existentes o nuevas.</p>
<p>20. Ley 1955 del 25 de mayo de 2019 “Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022. “Pacto por Colombia, pacto por equidad””. El artículo 174 modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014.</p>
<p>21. Decreto 829 de 2020, “Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto número 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto número 1073, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía”</p>
<p>22. Resolución UPME 203 de 2020 “Por la cual se establecen los requisitos y el</p>

procedimiento para acceder a los beneficios tributarios en inversiones en investigación, desarrollo o producción de energía a partir de Fuentes no Convencionales de Energía -FNCE"

Fuente: (Hernández Vidal, 2019).

Decretos Reglamentarios de la Ley 1715 del 2014 como Base para las FNCER

La Ley 1715 de 2014 da los lineamientos para incentivar la incorporación de fuentes de energía no convencionales, pero no establece el detalle de cómo estos lineamientos pueden convertirse en acciones concretas. A partir de la vigencia de la ley, se han emitido numerosos decretos reglamentados, reglamentaciones ministeriales y resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas, que han cedido y han dado lineamientos más claros a las rutas e incentivos los cuales han definido y definirán en gran medida la adopción de las fuentes renovables no convencionales en Colombia.

A continuación, se presenta un resumen de estas normas, especialmente el decreto del Ministerio de Minas y Energía (MME) 2469 de 2014 el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración sobre las FNCER. Determinando los lineamientos para que la CREG defina los aspectos operativos y comerciales para la participación de los autogeneradores en el mercado energético, en particular establece lineamientos para los autogeneradores a Gran Escala y más importante aún, define los parámetros para que un consumidor sea considerado autogenerador. Estos criterios definirán los modelos de participación en el mercado y determinarán en gran medida la penetración de las energías renovables como recursos distribuidos.

Para ser un autogenerador en Colombia, se debe cumplir lo siguiente
(Gutiérrez Gómez y García Rendón, 2021)

- La energía eléctrica producida debe entregarse en las redes internas del consumidor, sin necesidad de utilizar redes de distribución o transmisión públicas.
- El excedente que puede ser entregado a la red no tiene límite alguno.

- Los activos de generación pueden ser de propiedad del consumidor o de terceros. Asimismo, la operación de dichos activos puede ser desarrollada por el consumidor o por terceros.
- El Autogenerador a Gran Escala (resolución UPME 281 de 2015: la autogeneración a gran escala es aquella cuya capacidad instalada es superior a 1 MW) debe ser representada por un generador registrado en el SIC (Sistema de Intercambios Comerciales) para la venta de excedentes a la red pública. En este sentido, los excedentes de autogeneración hacen parte del portafolio de generación del agente generador que lo representa ante el mercado. Asimismo, establece los siguientes lineamientos para la Autogeneración a Gran Escala
- Los Autogeneradores a Gran Escala deben tener condiciones similares de participación en el mercado (venta de excedentes) a aquellas aplicables a los generadores, en relación con las cantidades de energía entregadas a la red. Además, incluye las condiciones de participación en el Cargo por Confiabilidad.
- Estos Autogeneradores deben suscribir un contrato de respaldo por la disponibilidad de la red.
- La UPME define el límite para ser Autogenerador a Pequeña Escala. Este límite no puede ser superior al del despacho central (actualmente en 1 MW – Resolución CREG 096 de 2019).

Teniendo un poco más claros los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración y definidos los modelos de participación en el mercado determinados por la CREG, a continuación, se hará énfasis en los incentivos para la implementación de las energías renovables no convencionales.

Incentivos Tributarios Energías Renovables (FNCER) en Colombia: Marco Legal y Normativo

En este contexto, y bajo la Ley 1715 de 2014, el Gobierno de Colombia ha creado una serie de incentivos para promover un servicio eléctrico continuo y de alta calidad

con un impacto mínimo en el medio ambiente y contribuir al desarrollo social y económico del país. A continuación, se ostenta el marco regulatorio para la aplicación de exenciones o incentivos fiscales para proyectos de energía con fuentes de energía renovables no convencionales (FNCER) es el siguiente:

Tabla 8

Incentivos tributarios energías renovables (FNCER) en Colombia: marco legal y normativo

Ley 1715 del 13 de mayo de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables No convencionales al Sistema Energético Nacional
Decreto 2143 del 4 de noviembre de 2015 del Ministerio de Minas y Energía "Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario 1073 de 2015 sobre los lineamientos de aplicación de incentivos de la Ley 1715 de 2014".
Ley 1955 del 25 de mayo de 2019 "Por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022", que modifica el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014, relativo a "Incentivos a la generación de energía eléctrica con fuentes no convencionales (FNCE)".
Decreto 829 del 10 de junio de 2020 "Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto 1073, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía".
Resolución 203 de 2020 de la Unidad de Planeación Minero-Energética. Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para acceder a los beneficios tributarios en inversiones, en investigación, desarrollo o producción de energía a partir de Fuentes no Convencionales de Energía- FNCE.
Circular 037 de 2020 de la Unidad de Planeación Minero-Energética. Se adoptan los Formatos 1, 2, 3 y 4 de la Resolución UPME 203 de 2020.

Fuente: (Ley 1715, 2014).

Con base en lo anterior, el ordenamiento jurídico colombiano identifica cuatro importantes beneficios fiscales para la generación de energía a partir de fuentes no convencionales de energía renovable, los cuales son:

- Deducción específica para determinar el impuesto sobre la renta.
- Excepción de bienes y servicios del IVA.

- Exención de gravámenes arancelarios.
- Depreciación acelerada.

En general, las personas naturales o jurídicas que realicen inversiones directas en actividades tales como investigación, desarrollo tecnológico, formulación e innovación, actividades económicas y ambientales, adquisición de equipos con eficiencia energética o elementos que pueden acceder a estos incentivos, pueden acceder a beneficios.

Para una representación precisa de los incentivos y los requisitos para acceder a dichos incentivos se puede analizar el informe llamado “Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014” además es necesario tener en cuenta la modificación de dicha ley, con el objetivo de modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible, esta ley es la No. 2099 del 10 de julio de 2021(ver Tabla 9).

Tabla 9

Incentivos Ley 1715 de 2014

Artículo	Beneficio	Concepto	Límite	Requisitos
11	Renta	Gasto en I + D o inversión, en producción o utilización de FNCER y la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente o indirectamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a deducir de su renta, en un período de hasta de 15 años dentro de la misma vigencia fiscal en la que se haya realizado la inversión total o parcial, directa o indirecta con independencia al momento de su declaración, sobre el 50% del total de la inversión realizada (modificación LEY No. 2099 10 JUL2021).	La deducción no podrá superar el 50% de la Renta Líquida de la contribuyente, determinada antes de restar el valor de la inversión.	Certificación de la UPME, según lo establecido en el Decreto MHCP 829 de 2020. -Si la inversión es bajo leasing, debe ser financiero con opción de compra irrevocable.
12	IVA	Toda adquisición los equipos, elementos, maquinarias, los predios que sean entregados en aporte, uso u arrendamiento para el desarrollo de estos proyectos, los esquemas de financiación y comisiones derivadas de los mismos, jurídicos y técnicos usados, los gastos de interventoría y certificación, los gastos fiduciarios, los bienes y servicios nacionales e importados que se destinen en cualquier etapa del proyecto, bien sea durante el desarrollo, estructuración, preinversión e inversión,	100% del impuesto a pagar.	Equipos y Maquinaria certificados por la UPME (Resolución UPME 703 de 2018 y Decreto MHCP 829 de 2020). La Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, art. 180) establece la inclusión de los módulos solares, los inversores y los controladores, en el listado del artículo 424 del Estatuto Tributario (exclusión de IVA).

		administración, operación y mantenimiento (AOM), para la producción y utilización de energía a partir de las FNCER, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos estarán excluidos y exentos de IVA.		
13	Arancel	Toda persona natural o jurídica titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE o acciones y medidas de gestión eficiente de la energía que importe maquinaria, equipos, materiales e insumos para la preinversión o inversión en nuevos proyectos estarán exentas de pagar derechos arancelarios.	100% de los derechos arancelarios.	Productos extranjeros que solo puedan adquirirse mediante importación. Procedimiento: Decreto MHCP 829 de 2020.
14	Renta/contable	Se podrá depreciar de manera acelerada, los equipos, maquinaria y obras civiles necesarias para la preinversión, inversión y operación de la generación con FNCE.	Hasta un 20% del valor en libro cada año.	Hasta un 20% de la tasa anual de depreciación Artículo 196 y 197 del Estatuto Tributario. Procedimiento: Decreto MHCP 829 de 2020.

Fuente: (Gutiérrez Gómez y Garcia Rendón, 2021)

Dado que el marco político y regulatorio actual sufre modificaciones con frecuencia, el gobierno está revisando su política y su tecnología energética más allá de 2021. El principal objetivo a largo plazo de la política y regulación de la tecnología energética es ayudar a alcanzar los ambiciosos objetivos que se han propuesto en la COP 21 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) de acuerdo con la descarbonización, es aquí donde la política energética colombiana puede ser efectiva para 2050 teniendo en cuenta lo siguiente:

- 1) Precios del carbono.
- 2) Cambios en su tecnología.
- 3) Prototipos de políticas disyuntivas que cambian el enfoque tradicional incluyendo nuevas maneras de generación de energía garantizando la competitividad y seguridad de esta.

El apoyo público a la innovación en tecnologías energéticas es necesario para corregir las fallas e imperfecciones del mercado y aprovechar al máximo las oportunidades comerciales de dichas tecnologías en los mercados regionales y mundiales. Una de las oportunidades es la aplicación del cobro de energía dependiendo de la hora de consumo, las tarifas aplicables a los hogares en cada país y particularmente en la región de América Latina y el Caribe dependen de diversos factores como la composición de la matriz energética, el nivel de subsidios para los costos mayoristas y la forma de pago, los costos de transmisión de energía y del valor agregado del componente de distribución. Esto último depende, entre otros elementos, de la densidad de población, de las características geográficas de la zona en la que cada empresa presta el servicio y de la rentabilidad regulada fijada por cada organismo de control.

En la literatura sobre principios de tarificación, así como en la normativa básica de la mayoría de los países, se establece que las tarifas deben ser justas y razonables para

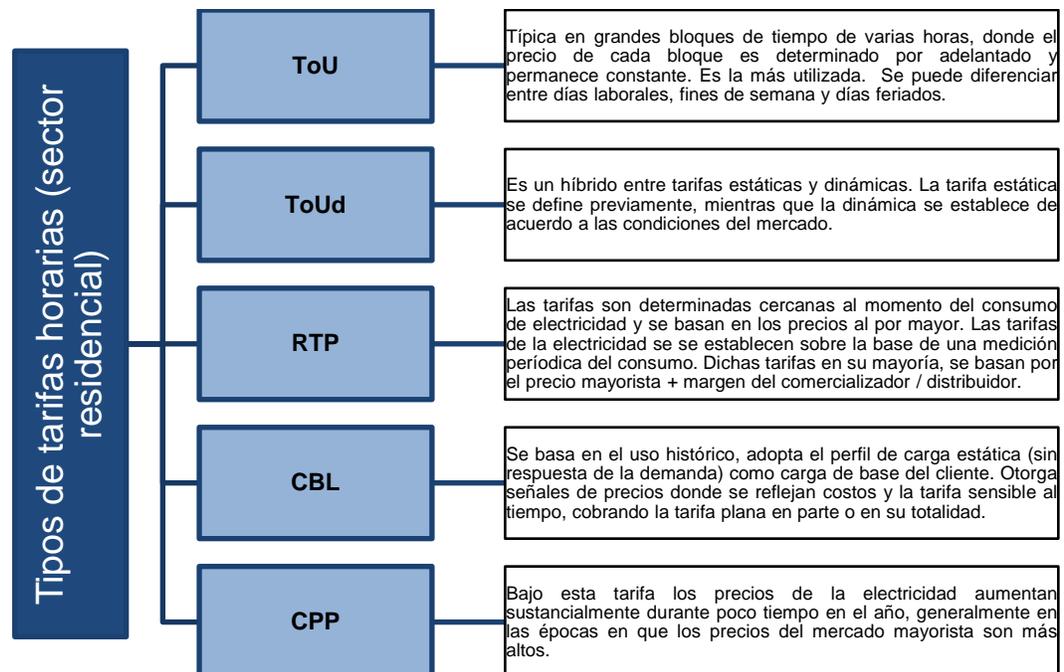
los usuarios y deben permitir que los proveedores de servicios obtengan una tasa de rentabilidad que les permita brindar un servicio eficiente y eficaz (Contreras Lisperguer, 2020).

Tipos de Tarifas Horarias Aplicadas al Sector Residencial

De acuerdo con la información analizada, la estructura tarifaria aplicada al sector residencial está conformada por varios tipos que van desde las tarifas planas, tarifas por bloques crecientes, hasta estructuras tarifarias estáticas de tiempo de uso (ToU) y de precios de pico crítico (CPP), también se incluyen estructuras tarifarias de tiempo de uso dinámicas (ToUd), híbridas, en tiempo real (RTP) y de carga de base del cliente (CBL). En la Figura 5, se brindan más detalles sobre cada tipo de tarifa.

Figura 5

Tipos de tarifas horarias



Fuente: (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

Otro punto para tener en cuenta dentro de la implementación de las tarifas es si se trata de tarifas horarias monomias o binomias. La buena práctica regulatoria recomienda el uso de tarifas binomias.

- **Tarifas horarias monomias:** son la aplicación de un cargo único por energía distribuida.
- **Tarifas binomias:** consisten en la aplicación de cargos variables por energía y cargos fijos por potencia o capacidad contratada. Su ventaja es permitir la fijación de tarifas al costo marginal del servicio, recuperando los costos fijos a través de un cargo fijo (por potencia). Reduce significativamente, la pérdida social de eficiencia propia de las industrias caracterizadas como monopolio natural.

Se ha identificado que en América Latina se aplican de forma general tarifas planas o por bloques crecientes y de forma excepcional, la tarifa ToU.

Es importante anotar que no es usual mezclar tarifas IBP con las ToU, ya que éstas últimas buscan reflejar los costos económicos de prestar el suministro en cada bloque horario. Las estructuras tarifarias de tarifa plana híbrida y CBL + ToU están diseñadas para proporcionar incentivos a los clientes para que reduzcan o cambien el consumo de los períodos de picos a los de baja, minimizando al mismo tiempo el impacto del costo de la transición de una tarifa plana a una tarifa variable en el tiempo. Ambas estructuras tarifarias funcionan basando parte de la tarifa en el patrón de consumo histórico del cliente, lo que se denomina carga de base del cliente (CBL), lo que podría ser una propuesta de interés para Colombia, para impulsar la entrada de tarifas ToU, que sería viable con la instalación de medidores inteligentes y la gestión del consumo. Sin embargo, para la aplicación de tarifas más complejas como las ToU dinámicas, se requiere un nivel de “alfabetización eléctrica”, requisito que aún no se presenta en Colombia (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

Cabe señalar que las alternativas tarifarias se enfocan, dependiendo del tipo de consumidor, es decir, si es residencial o comercial/industrial. Para ambos grupos aplican las tarifas planas (anytime) y ToU o flexible. Los planes de ToU tienen diferentes tarifas que reflejan el tiempo en que se consume la energía, pudiendo ser simplemente pico (peak) y fuera de pico (off Peak) o incluir también un bloque horario intermedio (shoulder) entre pico y fuera de pico, también hay muchas opciones con control de carga, y opciones pensadas para vehículos eléctricos o autogeneración solar (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

En la siguiente tabla se presentan diferentes tipos de esquemas tarifarios para el sector residencial que van desde una tarifa plana (cargo unitario uniforme por kWh, independiente del nivel de consumo) hasta esquemas más complejos.

Tabla 10

Tipos de tarifas al sector residencial

Tipo de tarifa	Descripción	Componentes del tipo de tarifa	Recomendable para la eficiencia energética
Plana	Tasa única	Fijo (\$) + tasa fija (\$/kWh)	No
Plana tipo Netflix	Monto fijo hasta un cierto nivel de consumo.	Fijo (\$) hasta cierto nivel de consumo; tasa fija (\$/kWh) para los consumos por encima del consumo básico incluido en la tarifa tipo preferencial o <i>Netflix</i> .	No
Bloques de tarifas crecientes (IBP)	Tasas más altas para un mayor consumo acumulado.	Fijo (\$) + tasas fijas crecientes por bloques de consumo (\$/kWh).	Sí, en la medida que las tarifas reflejen los costos.
ToU	Tasas más altas durante el pico, más bajas durante el período fuera de punta, tasa media durante el valle.	Fijo (\$) + ToU 3 o 2 partes (punta, intermedio, fuera de punta).	Se recomienda para disminuir o desviar el pico de demanda, i.e., eficiencia en la potencia demandada.

CPP	Tiempo de uso más días críticos pre-nominados que incurren en una tasa más alta.	Fijo (\$) + ToU 3 o 2 partes (punta, intermedio, fuera de punta / crítico).	Sí
Plana híbrida	Consumos hasta cierto porcentaje del consumo base (CBL) es facturado a la tarifa plana; consumos arriba de un cierto porcentaje del CBL son facturados por ToU.	Fijo (\$) + tasa fija CBL (\$/kWh) hasta cierto % del CBL, arriba de este porcentaje aplica ToU 3 o 2 partes (punta, intermedio, fuera de punta).	Parcialmente
CBL + ToU	El CBL es facturado a tarifa plana; consumos mayores al CBL son facturados por ToU.	Fijo (\$) + tasa fija CBL (\$/kWh) hasta el CBL, consumos por encima del CBL son facturados por ToU.	Parcialmente
CBL + CPP	El CBL es facturado a tarifa plana; consumos mayores al CBL son facturados por CPP.	Fijo (\$) + tasa fija CBL (\$/kWh) + CPP 2 partes para desvío del CBL.	Sí

Fuente: (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

A continuación, en la Tabla 11, se presenta un resumen de diferentes experiencias internacionales, específicamente latinoamericanas para el caso de Brasil, Uruguay y Perú, con sus respectivos esquemas tarifarios implementados y algunos aspectos relevantes de ellos:

Tabla 11

Experiencias internacionales: Brasil, Uruguay y Perú

Aspecto	Brasil	Uruguay	Perú
Tarifas	Tarifas planas Opción ToU: Tarifas blancas (500 mil clientes).	Tarifas bloques crecientes: 46% de la energía facturada. Opción ToU, doble y triple horaria: 54% de la energía facturada.	Tarifas bloques crecientes: 5% de los usuarios en BT. Opción ToU: 95% usuarios BT (BT5B).
Usos			

Usuarios en situaciones especiales	Tarifa social para usuarios de bajos ingresos: descuentos con base en el consumo mensual.	Tarifa de consumo básico residencial para hogares que tienen un consumo eléctrico mensual básico y estable a lo largo del año (<230 kWh mes).	La categoría BT5B presenta diferencias en función del consumo de subsistencia 100 kWh mes. Para consumos menores el esquema tarifario presenta dos bloques crecientes, hasta 300 kWh y desde 31 kWh hasta 100 kWh.
Movilidad eléctrica	Tarifa de recarga eléctrica libremente acordada entre las partes.	ToU para residenciales para carga de vehículos. Carga de energía a vehículos eléctricos en puestos de la vía pública, sistema a través del uso de una tarjeta de identificación específica.	A la fecha no fue implementado un esquema tarifario para la movilidad eléctrica.
Prepago	No posee esquema de tarifas prepagos.	A la fecha no fue implementado el esquema prepago de energía.	La facturación de energía activa a usuarios prepago del servicio eléctrico contempla: <ul style="list-style-type: none"> • Cargo comercial del servicio prepago (CCSP) asociado a un monto mensual por mantenimiento y reposición. • Importe por alumbrado público. • Fondo de compensación social eléctrica. • Aporte de los usuarios de electricidad al fondo de electrificación rural.
Subsidios	Los consumidores residenciales de bajos ingresos se benefician de la exención del costo de la Cuenta de Desarrollo Energético - CDE – y del costo del Programa de Incentivos para Fuentes		

	Alternativas de Energía Eléctrica PROINFA.		
Incentivos a los usuarios	Adhesión a ToU es voluntaria Costos de medidor a cargo de la empresa, El usuario puede regresar al esquema de tarifa plana.		
Otros elementos distintos a los aplicados en Colombia	Esquema de Banderas Tarifarias en función del nivel de los embalses.		

Fuente: (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

Brasil

Desde 2018, Brasil ha adoptado un sistema de ToU para el sector residencial, conocido como “tarifa blanca”. Antes de la llegada de la “tarifa blanca”, existía solo una tarifa regular o una tarifa fija, con un valor único (en R \$ / kWh) calculado para la energía consumida por día y por hora. La "tarifa blanca" facilita a algunos consumidores cambiar el consumo del período pico al período fuera de la red. Aprobada en 2016, la aplicación de la "tarifa blanca" sigue un esquema de incentivos para sustentar reclamos con las siguientes características:

- 1 de enero de 2018, para nuevas conexiones y para usuarios con un consumo mensual promedio anual superior a 500 kWh/mes.
- 1 de enero de 2019 para usuarios con un consumo mensual promedio anual superior a 250 kWh/mes.
- 1 de enero de 2020 para todas las unidades de consumo.

Uruguay

Uruguay tiene más de 20 años de experiencia en las señales horarias y el aumento de las tasas de consumo de energía. El país ha realizado grandes esfuerzos para

“alfabetizar” a la población en energía eléctrica, con una estructura tarifaria para el sector residencial que incluye tarifa plana mensual (lectura, pago, peaje y servicio comercial), tarifas y cobros, cargo por potencia contratada, cargos crecientes de energía, y cargos de energía por bloques horarios, además del cargo por energía reactiva. El país también ha introducido señales horarias para cargar vehículos eléctricos en estaciones de carga ubicadas en vías públicas.

En Uruguay existen tres tipos de tarifas para el sector residencial (Estudios Energéticos Consultores, 2020):

- Tarifa Residencial Simple (TRS), por bloques crecientes de consumo.
- Tarifa de Consumo Básico Residencial (TCBR).
- Tarifas Residenciales Horarias (Doble y Triple-Horario).

Perú

En este país, durante el mes de noviembre de 2013 entró en vigencia la nueva norma de “Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final”, instituida mediante Resolución OSINERGMIN N° 206- 2013-OS/CD, vigente para el periodo noviembre 2013 – octubre 2017, esta norma se elaboró sobre la base de la Resolución OSINERGMIN N° 182-2009- OS/CD, y debían ponerse a disposición de los usuarios para que éstos pudieran optar entre ellas.

Las opciones de precios incluyen varias alternativas de precios que las empresas de distribución deben poner a disposición de los usuarios para que puedan elegir entre ellas. Se destaca lo siguiente:

Definición de Bloques Horarios. Se define como horas de punta (HP), el período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 horas de cada día de todos los meses del año.

Continuando con el tema, en la Tabla 12 se presenta un resumen de diferentes experiencias internacionales para el caso de España, Italia y Canadá, con sus respectivos esquemas tarifarios implementados y algunos aspectos relevantes sobre ellos:

Tabla 12

Experiencias internacionales: España, Italia y Canadá

Aspecto	España	Italia	Canadá
Tarifas	ToU	ToU: tarifa bihorario o dual.	ToU: con tres bloques horarios IBP: dos bloques, con diferencias por estación del año (invierno y verano).
Usos			
Usuarios en situaciones especiales	Para los usuarios de bajos ingresos hay un esquema de Bono Social (descuento sobre la cuenta de energía).	Se aplica Bono Social que consiste en un monto determinado en función del número de habitantes de los hogares que se descuenta de la factura residencial.	OESP: Programa para bajos ingresos, crédito mensual a los clientes elegibles según los ingresos y el tamaño del hogar. LEAP: Programa de emergencia que consiste en un pago anual único hasta de U\$500 en asistencia de emergencia para factura de electricidad (U\$600 en los casos de calefacción eléctrica) y U\$ 500 para factura de gas natural
Movilidad eléctrica	España presenta un significativo atraso en el desarrollo de EV. El esquema tarifario aplicado es ToU triple horario.	La tarifa de movilidad eléctrica es una tarifa plana por los kWh consumidos. Estas tarifas no incluyen los costos de suministro ni los costos del servicio de recarga.	La carga de vehículos eléctricos es un uso final de la electricidad. No se requiere una licencia de la OEB para participar en esta actividad y, como resultado, los códigos, reglas y otros requisitos reglamentarios de la OEB no se aplican a ella. No está regulada por la OEB.
Prepago	España está adoptando un esquema de tarjetas		La adopción de esquemas prepagos debe ser solicitada por

	prepagas para el suministro de energía eléctrica.		las empresas distribuidoras y aprobadas por OEB.
Subsidios	El Bono Social es un subsidio explícito que se aplica a los usuarios con dificultades para pagar el servicio.	El subsidio está dado por el esquema de Bono Social.	Existen esquemas de apoyo a los usuarios de bajos ingresos (OESP y LEAP), además de créditos para el pago de impuestos y programas de asistencia a los habitantes sin techo.

Fuente: (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

España

El mercado minorista español de energía eléctrica, de acuerdo con cifras oficiales de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC 2019), cuenta con más de 28 millones de consumidores, de los cuales más del 60% es suministrado por un comercializador en régimen de mercado libre, representando 89% de la energía consumida. El 89% de los consumidores residenciales tiene una potencia contratada menor a 10 kW, para ilustrar los cargos tarifarios residenciales disponibles en España se tomó como ejemplo el caso del comercializador “Lucera” el cual se expone en la Figura 6:

Figura 6

España: ejemplo de tarifa para residencias



Fuente: (Lucera, 2021)

Italia (Roma)

En Italia se emplea, desde el año 2010, un esquema tarifario con distinción horaria para el sector residencial, denominando Tarifa Bihoraria o Dual. El propósito de la tarifa es generar ahorros para los usuarios cuyos consumos se concentran en más de dos terceras partes del periodo fuera de punta, a la vez que se procura exponer a la demanda residencial a los costos reales del suministro y sus variaciones en el tiempo. Con la tarifa dual, el “precio de la electricidad” cambia según las horas del día y la semana. Las franjas horarias para la energía, establecidas por la Autoridad, son tres: F1, F2 y F3. Sin embargo, para la tarifa dual, las bandas F2 y F3 se agrupan en la banda F23, explicadas a continuación (Estudios Energéticos Consultores, 2020):

- F1: horario diurno de 8.00 a 19.00.
- F23: horario vespertino y nocturno de 19.00 hs a 8.00 hs, fines de semana y festivos.

Canadá (Provincia de Ontario)

En la capital de la provincia de Ontario, Canadá, el cargo por energía presenta dos modalidades tarifarias, cuyos valores son determinados por la OEB (Ontario Energy Board), y entre las cuales pueden optar los usuarios residenciales y comerciales de pequeña escala, a los cuales se les cobra utilizando tarifas de tiempo de uso (ToU), donde el precio de la energía depende del bloque horario en el que se utiliza la electricidad.

Tarifas Tiempo de uso (ToU): a la mayoría de los clientes residenciales y de pequeñas empresas se les cobra utilizando tarifas de tiempo de uso, donde el precio de la energía depende del bloque horario en el que se utiliza la electricidad.

Otra opción aplicada es la tarifa por niveles de consumo (Tiered). Esta tarifa está implementada en número muy pequeño de clientes que todavía pagan por la electricidad que demandan mediante un esquema de escalonamiento, los precios escalonados le brindan la flexibilidad de usar electricidad en cualquier momento del día al mismo precio,

aunque ese precio cambiará si excede el umbral durante el mes, esto se refiere al consumo mensual.

A continuación, en la Tabla 13, se presenta un resumen de diferentes experiencias internacionales, para el caso de Nueva York y Australia con sus respectivos esquemas tarifarios implementados y algunos aspectos relevantes de ellos:

Tabla 13

Experiencias internacionales: Nueva York y Australia

Aspecto	Nueva York	Australia
Tarifas	ToU	ToU y Planas
Usos		
Usuarios en situaciones especiales	HEAP – Home Energy Assistance Program: consiste en descuentos sobre la cuenta final de energía eléctrica, calculados en función del bloque de consumo.	Esquemas de Descuentos Condicionales, en función del grado de cumplimiento de los pagos, domiciliación bancaria, etc.
Movilidad eléctrica	<p>Las iniciativas en el estado de Nueva York son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Charge NY (2017): reembolsos para comprar vehículos eléctricos. - EVolve NY, la PSC comprometió U\$250 millones (hasta 2025) para iniciativas para el desarrollo de infraestructura clave. - Governor’s Charge NY 2.0 para lanzar 10,000 estaciones de carga de vehículos eléctricos para 2021. <p>No hay tarifas predeterminadas para la carga de vehículos eléctricos (Direct Current Fast Charger – DCFC).</p>	<p>Las iniciativas para la promoción de EV son:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reducción en los cargos de registro Inversión para el desarrollo de estaciones de carga. Establecimiento de metas de flota para vehículos eléctricos o de emisión cero. Programas de información Acceso preferencial a carriles para vehículos eléctricos. Las tarifas por la recarga de vehículos eléctricos no están reguladas por el AER. Actualmente, las opciones tarifarias ofrecidas por los comercializadores proporcionan una tarifa plana estándar o tarifas por tiempo de uso con productos o servicios adjuntos con valor agregado.
Subsidios	Los subsidios están explícitos en el esquema HEAP.	Los subsidios están orientados principalmente a la generación de energías limpias y no al

		consumo.
--	--	----------

Fuente: (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

Estados Unidos (Nueva York)

En el caso de Estados Unidos, el servicio de electricidad está completamente desregulado, por lo que incluso los usuarios residenciales pueden elegir sus propios proveedores, al igual que los usuarios comerciales e industriales. Así, en general, la factura eléctrica final de un usuario se compone de tres elementos:

- a) Suministro que remunera la generación y comercialización.
- b) Componente de red, para remunerar las actividades reguladas de transmisión y distribución.
- c) Impuestos.

En este esquema, las tarifas de la red están reguladas, independientemente del operador del mercado, mientras que los precios de oferta pueden negociarse con diferentes operadores de comercialización. La compra y venta de energía en el mercado mayorista la realizan los comerciantes, no directamente los usuarios.

Australia

Las opciones de tarifas se dividen en dos grupos principales: Residencial y Comercial / Industrial (Business), para ambos grupos, hay tarifas planas (anytime) y ToU o precio flexible. Los paquetes ToU tienen diferentes costos que reflejan el tiempo de energía consumida y pueden ser simplemente Punta (peak) y Fuera de Punta (off Peak) o también incluir un bloque intermedio de horas (shoulder) entre Punta y Fuera de Punta. También hay muchas opciones con el control de carga y opciones diseñadas para vehículos eléctricos o usuarios que producen su propia energía solar.

Para el caso de Sydney, los períodos de punta y fuera de punta dependen de la época del año, estos son (Estudios Energéticos Consultores, 2020):

- Punta: 14:00-20:00 (1º noviembre a 31 marzo), y 17:00-21:00 (1º junio a 31 de agosto), excluyendo fines de semana y días festivos.
- Fuera de Punta: 22:00-07:00.
- Intermedio: todas restantes horas.

Transición Hacia una Ciudad Inteligente

Las ciudades son los motores de las economías de los países y proveedores de bienes y servicios públicos que son fundamentales para el bienestar y la cohesión social de sus residentes y visitantes (Ontiveros et al., 2016). Dichas ciudades en el mundo enfrentan desafíos comunes, uno de ellos es el crecimiento acelerado de la población y el desplazamiento de gente hacia las zonas urbanas, llevando a una urbanización acelerada. Esto es una problemática que hace que cada vez sea más complejo el manejo de la ciudad, generando impactos que actualmente son poco considerados, tales como la demanda de energía, movilidad, desechos urbanos, etc.

La globalización y su cuarta revolución industrial, ha llevado a la evolución de las ciudades, a que estas sean autosostenibles y generen menos impacto ambiental; de estos conceptos nace la esencia de una ciudad inteligente, las cuales innovan y promueven la educación para el desarrollo social e industrial. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha identificado 10 prioridades para que una ciudad sea inteligente; las cuales tienen gran coincidencia con las características propuestas por la Corporación Iberoamericana de Asuntos Públicos y Empresariales (CIAPE). Estas prioridades fueron sustentadas en el planteamiento del problema; las propuestas de la ITU son:

1. Mitigación del cambio climático.

2. Planeamiento y adaptación del cambio climático.
3. Eficiencia energética.
4. Gestión de residuos.
5. Gestión de Agua.
6. Arquitectura e infraestructura inteligente.
7. Movilidad inteligente.
8. Áreas suburbanas.
9. Justicia ambiental y compromiso de la comunidad.
10. Ciudades sostenibles inteligentes.

Analizando los 10 puntos, se puede identificar que la energía es fundamental para la evolución hacia las ciudades inteligentes. Por ende, la integración de las FNCER, ayudadas con las redes inteligentes es prioritaria; pues mejoran la eficiencia energética (medición inteligente), sirven como un motor de crecimiento económico y ofrecen una solución al cambio climático, ya que generan menos emisiones de gases de efecto invernadero (Lee et al., 2012).

Con base en lo anterior, se destaca la importancia de que la ciudad de Medellín evolucione para ser una ciudad energéticamente inteligente y sostenible. Lo que además aportaría a mitigar la gran problemática ambiental que ha vivido la ciudad en los últimos años, especialmente en la industria y la movilidad.

Con esta investigación se busca analizar las necesidades regulatorias con base en la participación de los mercados energéticos e implementación tecnológica; las cuales ayudarían a la actuación directa de las FNCER en las redes inteligentes con base en la transición energética.

Modelos de Ranking para Medir Ciudades Inteligentes

El crecimiento urbano es una de las tendencias globales más importantes y, al mismo tiempo, también significa un gran riesgo de desequilibrio por falta de planificación. El crecimiento desordenado de la población, la falta de infraestructura, vivienda y servicios municipales suficientes ocasionará diversos problemas sociales, económicos, ambientales y culturales, entre otros.

La urbanización extensiva en el mundo ha traído demandas complejas de recursos, infraestructura y servicios, así como desafíos organizacionales y sociales para mitigar las amenazas a la sostenibilidad urbana. Para afrontar este reto, entre otras medidas, se recomienda utilizar soluciones basadas en las TIC para desarrollar de forma eficaz los procesos urbanos, optimizar los recursos disponibles y crear una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

Uno de los conceptos principales de ciudad inteligente es el desarrollo urbano sostenible, que incide en la política de desarrollo del espacio de forma equilibrada en relación con factores económicos, sociales, medioambientales y culturales (Alvarado López, 2018). Las ciudades inteligentes son consideradas las ciudades del futuro y son apreciadas como un entorno para la innovación. Dado su potencial como cuna comercial de muchas industrias, requiriendo la participación de múltiples agentes, tanto públicos como privados, al tiempo que atrae el interés de nuevos negocios.

En los últimos años, el concepto de ciudad inteligente se ha difundido rápidamente, pasando de ser estudiado en un nivel académico a ser parte de políticas nacionales, regionales y locales; de igual manera, también se ha convertido en parte de la estrategia empresarial, principalmente empresas globales, proveedores de infraestructura y servicios en el ámbito de las TIC. Una ciudad inteligente se considera la ciudad de la felicidad, comodidad, bienestar y productividad. Su característica es resolver problemas o percances

de medio ambiente, movilidad, servicios urbanos y redes energéticas, infraestructura social, según un estudio llamado Modelos de Ranking para Medir Ciudades Inteligentes 2019 (Charris Redondo, 2019). El autor cree que la sostenibilidad ambiental (mundo ecológico), la digitalización (mundo digital) y la sociedad (Mundo social) conllevan a un mundo inteligente (ver Tabla 14).

En una ciudad inteligente, según el modelo "Trinity City", se fusionan: tecnología, aspectos digitales, ecológicos y sociales, formando así una comunidad inteligente. Este tipo de comunidades se pueden identificar por las siguientes características:

- Comunidad global, eco inteligente e innovadora.
- Ecosistema urbano basado en la sostenibilidad, la calidad de vida y el bienestar.
- Cultura empresarial innovadora, creativa y emprendedora.
- Integración entre los espacios residenciales/domésticos, los entornos de trabajo, comercio, ocio, aprendizaje y espacios públicos.

Tabla 14

La Trilogía Urbana (The Urban Trinity)

Elementos	Digital	Sostenibilidad Ambiental	Conocimiento
Componentes	TIC Alta tecnología Ubicuidad, Movilidad Cibercuidad.	Ecología Emisiones Cero de Carbono Cero residuos "Eco-friendly" Ciudad solar.	Aprendizaje Innovación Inteligencia Ciencia Creatividad. Ciudad social.
Resultados	Capital de información; tecnologías innovadoras; Infraestructura TIC inteligente; red de telecomunicaciones multifunción; espacios,	Capital natural; energías renovables; redes de energía verde; eco-estado;	Capital intelectual; cohesión social; conocimiento; investigación educación- innovación; salud física-salud

	sistemas y aplicaciones TIC; computación ubicua; Internet de las Cosas; red inmobiliaria integrada; estilo de vida digital.	estilo de vida verde.	mental- salud social; estilo de vida inteligente.
--	---	-----------------------	---

Fuente: (Charris Redondo, 2019)

Las ciudades inteligentes ya no se consideran solo un vocablo de moda o de novedad. Hoy en día es un tema de conversación constante y hechos reales conformados en todo el mundo. Los entes gubernamentales han realizado esfuerzos increíbles para apoyar el desarrollo de comunidades inteligentes, efectuando sinergias entre las energías renovables, el almacenamiento de energía, el futuro de las ciudades inteligentes y la digitalización de los ciudadanos. Así se identifican múltiples iniciativas de Smart Cities en todo el mundo y diferentes aproximaciones al mismo concepto. En la Tabla 15 se pueden resaltar las principales ciudades según su dinámica destacada en desarrollo.

Tabla 15

Iniciativas Smart City en función de su Enfoque

Categoría	Ciudad
Eficiencia y gestión energética	Amsterdam, Málaga
Entornos de negocio y economía del conocimiento	Luxemburgo, Dubai, Malta y Kochi
Transporte y movilidad urbana	Singapur, Brisbane, Estocolmo, Maastricht
e-Gobierno y participación ciudadana	Tampere, Turku y Albuquerque
Medio ambiente	Copenhague, Vancouver, Melbourne, Montpellier
Urbanismo (también energía y entornos de	Masdar, Sondgo

negocio)	
Turismo y actividad cultural	París, Londres, Salzburgo, Brujas, Sidney, Zurich
Sanidad y atención personal	París, Granada

Fuente: (Charris Redondo, 2019)

Energía y Ciudades Inteligentes

Según las estadísticas de Eurostat (2019), (La Oficina Europea de Estadística) aproximadamente el 75% de la población europea vive en ciudades. Las áreas urbanas de la UE contribuyen de manera importante al consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, ocasionando un gran impacto en el cambio climático y hay que considerar que, al mismo tiempo, estas ciudades son los principales impulsores de la economía de la UE y abren vías eficaces para el crecimiento y el empleo.

Se han puesto en marcha varias políticas, propuestas e iniciativas de la UE que promueven zonas urbanas más atractivas y competitivas, lugares más saludables y sostenibles para vivir, afrontando los desafíos climáticos (Energy, s.f.), estas políticas son:

- La estrategia de la unión de la energía establece los objetivos y acciones para transformar el sistema energético europeo en el más sostenible del mundo.
- La Agenda Urbana de la UE promueve mejores leyes, facilita el acceso a la financiación y a un mayor intercambio de conocimientos sobre temas relevantes para las ciudades.
- La directiva de rendimiento energético de los edificios (EPBD) promueve las tecnologías inteligentes en los edificios para aumentar su eficiencia energética.
- El Pacto de alcaldes de la UE para el clima y la energía, reúne a miles de gobiernos locales, comprometidos voluntariamente con la implementación de los objetivos climáticos y energéticos de la UE en las ciudades.

- El plano de la tecnología energética estratégica (Plan SET), promueve los esfuerzos de investigación e innovación en toda Europa apoyando las tecnologías más impactantes en la transformación de la UE hacia un sistema energético bajo en carbono.
- El sistema de información de ciudades inteligentes (SCIS), que proporciona un repositorio duradero de información sobre proyectos de ciudades inteligentes y sirve como una plataforma de conocimiento para intercambiar datos, experiencias y conocimientos.

La definición de Smart City lleva inevitablemente a cuestionar la importancia relativa de elementos tecnológicos y aspectos económicos. En este sentido, encontramos en muchos autores un interés considerable por destacar los dominios de aplicación de la Smart City que se relacionan respectivamente con aspectos tangibles e intangibles: los dominios tangibles serían los correspondientes a: infraestructuras de transporte, redes de distribución de energía, recursos naturales, etc. Los dominios intangibles se refieren a aspectos tales como: capital humano, capital intelectual de las empresas, capital organizacional en los entes de administración pública, entre otros.

Posteriormente se identifican un conjunto de “dominios” en la Tabla 16, sobre los que intervienen las TIC en función del grado de intervención de estas, específicamente en el sector energético, transporte y movilidad (Charris Redondo, 2019).

Tabla 16

Características de las Ciudades Inteligentes

Dominio	Subdominio	Descripción del papel de las TIC en cada Dominio
	Redes inteligentes	Redes capaces de conocer, a través de las TIC, el comportamiento de los usuarios ajustar la oferta a la demanda, para suministrar electricidad de forma eficiente, sostenible y económica.

Energía	Alumbrado público	Con capacidad de reaccionar a la información (sobre presencia, condiciones climáticas, contaminación...) en tiempo real, ajustando las condiciones de iluminación, regulando la intensidad mediante tecnología LED, consiguiendo una mayor eficiencia con equipos capaces de realizar funciones adicionales: conexión Wifi, control de contaminación.
	Energías renovables	Utilización de fuentes de energías renovables.
Transporte y movilidad	Logística urbana	Mejorar los flujos logísticos en las ciudades, integrando las necesidades de las empresas con las condiciones de tráfico y ambientales.
	Información de la movilidad	Distribución de la información en tiempo real ("dinámica") y multimodal, tanto previa al desplazamiento como durante el desplazamiento, para mejorar el tráfico y la eficiencia de este.
	Transporte público	Conseguir fórmulas innovadoras y sostenibles para proveer el transporte de los ciudadanos a través de las modalidades de transporte público, empleo de vehículos ecológicos promoviendo comportamientos ciudadanos proactivos.

Fuente: (Charris Redondo, 2019)

Resumiendo, podemos concluir que el concepto de Ciudad Inteligente ha avanzado desde la idea inicial establecida en la ciudad tecnológica, cuyo objetivo es adquirir servicios y procesos más eficientes gracias a la integración tecnológica, sistematizando el modelo ideal de una ciudad energéticamente inteligente, que se fundamenta, principalmente, en los siguientes subsistemas (Fundación Endesa, s.f.):

- **Generación distribuida.** Ciudades inteligentes que cuenten con generación eléctrica distribuida por el territorio, a través de un abastecimiento individual.
- **Smart Grids.** Redes inteligentes interconectadas, las cuales poseen una circulación bidireccional de datos prestador de servicios y usuario.
- **Smart Metering.** Medición inteligente que puede brindar en tiempo real el consumo energético y su lectura a distancia.
- **Smart Buildings.** Edificios domóticos que respetan el medioambiente y que poseen sistemas de gestión de energía integrados.
- **Smart Sensors.** Mantienen la ciudad conectada e informada, y hacer que cada subsistema tenga la información suficiente para realizar su función de forma efectiva y eficiente.

- **eMobility** Implantación del vehículo eléctrico y los concernientes puestos de recarga tanto públicos como privados.
- **Tecnologías de la información y la comunicación (TIC).** Mediante estas tecnologías los ciudadanos y las entidades administrativas pueden participar e interactuar activamente en el control de la ciudad.
- **Smart Citizen.** Los ciudadanos son sin duda la parte esencial de una ciudad inteligente, ya que sin su cooperación activa no es posible poder llevar a cabo estas iniciativas de ciudad.

Proyectos Actuales de Smart Cities

Las ciudades inteligentes se asemejan a las ciudades del futuro y se distinguen como un entorno de creación e innovación; las cuales demandan la participación de múltiples agentes, tanto en el sector público como privado. En este momento, los proyectos de remodelación y adecuación a las nuevas tecnologías se están llevando a cabo tanto en grandes ciudades como en pequeños municipios, haciendo que las Smart Cities se conviertan en una realidad, destacando las siguientes ciudades (ver Tabla 17).

Tabla 17

Proyectos actuales de Smart Cities

Ciudad	Proyecto
Málaga (España)	El proyecto para hacer de Málaga una Smart City está centrado en la gestión de la energía. Se ha optado por la integración de fuentes renovables en la red eléctrica, con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir las emisiones de dióxido de carbono. Asimismo, desplegando en la zona malagueña de la playa de la Misericordia tecnologías de última generación en smart metering, comunicaciones y sistemas, automatización de la red, generación distribuida e infraestructura inteligente de carga de vehículos.

Barcelona (España)	Barcelona hizo que las TIC se convirtieran en elementos básicos a la hora de ejecutar varios servicios ciudadanos, como la movilidad o la administración. Barcelona se ha convertido en impulsora de la movilidad eléctrica con masificación de puntos de recarga rápida de vehículos eléctricos. Además, nuevos sistemas de alumbrado público capaces de unir una movilidad confortable por la vía urbana, una reducción importante de la contaminación lumínica y un menor uso de recursos energéticos.
Curitiba (Brasil)	La ciudad brasileña es considerada como pionera en cuanto a planificación urbana e introducción de nuevos modos de movilidad, especialmente en las soluciones para los sistemas de transporte público.
Búzios (Brasil)	Conversión de la red de distribución en una red más inteligente, con medidores digitales y una automatización capaz de integrar toda la generación existente, las nuevas energías renovables y los vehículos eléctricos.
Santiago de Chile (Chile)	Está desplegando el proyecto en el distrito Ciudad Empresarial de Santiago. Su objetivo es integrar tecnologías como el smart metering, la automatización de la red, los vehículos eléctricos, la iluminación pública y la generación distribuida, evaluando sus aspectos económicos, técnicos y sociales. Santiago integra distintas iniciativas que combinan innovación, eficiencia y sostenibilidad, las cuales son: <ol style="list-style-type: none"> 1. Transporte público eléctrico: autobuses y taxis. 2. Instalación de una "electrolinera". 3. Instalación de medidores inteligentes con comunicación bidireccional. 4. Tecnología solar para el calentamiento de agua. 5. Sistema de generación fotovoltaica. 6. Letreros de datos con mensajería variable en carreteras. 7. Alumbrado público LED. 8. Iluminación ornamental para áreas verdes. 9. Wifi público de libre acceso y banda ancha para teléfonos móviles.
Ciudad de México	Es una de las ciudades que promueve la creación de edificios verdes e inteligentes, además se destaca por ser una de las primeras ciudades en implementar el sistema de bicicletas compartidas para poder acelerar y descongestionar el tráfico.

Fuente: (Charris Redondo, 2019)

En la medida en que la Smart City ofrece un nuevo campo de desarrollo económico, basado en el conocimiento y las tecnologías limpias, han surgido iniciativas, tanto públicas como privadas, en países más desarrollados para explorar y explotar las posibilidades del nuevo paradigma urbano.

Metodología

Partiendo de que se propone establecer, la existencia o no de propuestas regulatorias y sus diferentes variables relacionadas con la implementación de las redes inteligentes para la evolución de ciudades inteligentes, sin generar sobre dichas variables ninguna intervención por parte del investigador, se propone desarrollar una investigación de enfoque cualitativo que permita establecer las oportunidades del país para la implementación de redes inteligentes. Se elige este enfoque de acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández Collado, y Baptista Lucio (2014, p.6), quienes afirman que “las investigaciones cualitativas se basan más en una lógica y proceso inductivo (explorar y describir, y luego generar perspectivas teóricas), yendo de lo particular a lo general”.

La elección de este enfoque se fundamenta también en que la presente investigación pretende establecer relaciones entre las características propias de las redes inteligentes y las características eléctricas de la ciudad, a fin de establecer los retos y oportunidades de la misma para la implementación de estas tecnologías, lo cual implica el relacionamiento de variables en busca de las posibilidades del país para el uso de las redes inteligentes; de acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández Collado, y Baptista Lucio (2014, p.6), esta es otra característica del enfoque cualitativo el cual “se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados ni predeterminados completamente. Tal recolección consiste en obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes (sus emociones, prioridades, experiencias, significados y otros aspectos más bien subjetivos)”.

Esta investigación tendrá un alcance descriptivo dado que existe buena cantidad de investigaciones y literatura especializada en relación con las redes inteligentes y su implementación, pero estas no están orientadas específicamente al desarrollo de dichas tecnologías en el país, para lo cual se espera en esta investigación describir las variables que podrían constituir oportunidades para la implementación de las redes inteligentes en la

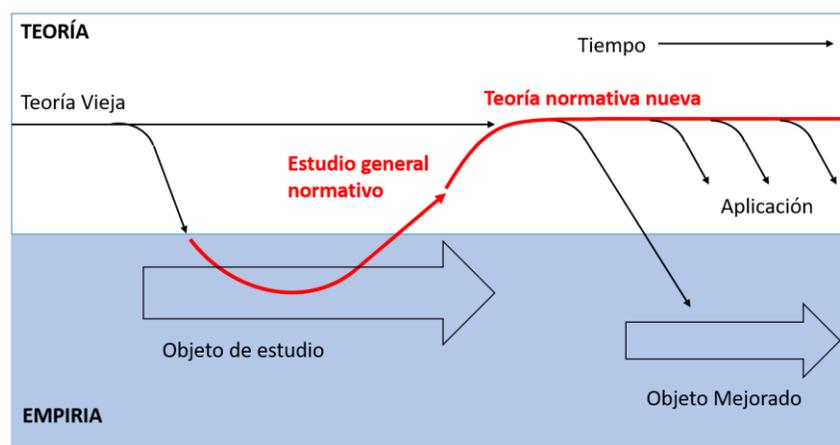
ciudad, en los estudios de alcance descriptivo, la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y cómo se manifiestan. Únicamente se pretende medir o recoger información de manera independiente y conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 92).

Los proyectos de investigación descriptiva generalmente nos dicen hechos sobre el objeto de la investigación. Los hallazgos de deseabilidad, conveniencia y otros asuntos son irrelevantes, o incluso si son relevantes, no se contendrán ni discutirán.

Por otro lado, el objetivo de la investigación normativa no es solo recopilar hechos, sino también especificar los aspectos en los que se puede mejorar la investigación. Por lo general, el proyecto también incluye la planificación de un método factible que se puede utilizar para realizar las mejoras necesarias en el objeto, dependiendo de cómo continúa el desarrollo real del proyecto, partiendo de una teoría vieja o existente, hasta llegar a una teoría normativa nueva, como lo muestra la Figura 7.

Figura 7

La planificación de un método factible para la normatividad



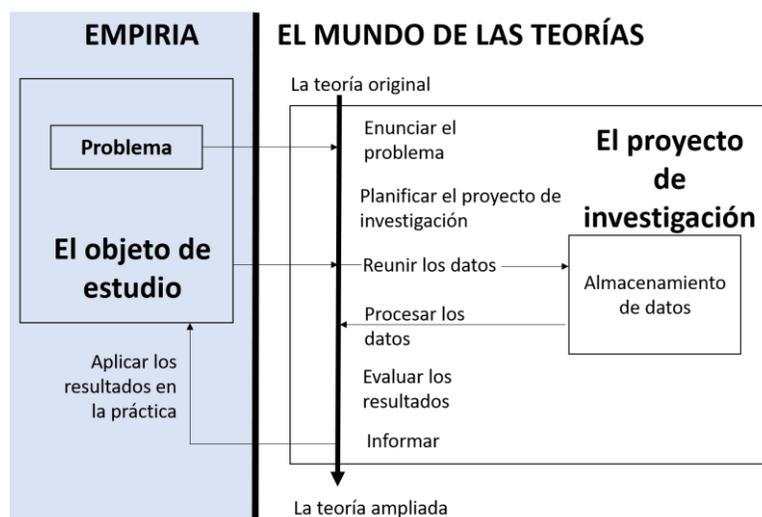
Fuente: (Routio, 2007).

La investigación y el desarrollo normativo generalmente se enfocan no solo en mejorar la situación actual que se está evaluando hoy, sino también en crear una situación expectante. También es posible que la mejora no necesite implementarse de inmediato, sino que debe implementarse en algún momento en el futuro.

Los métodos normativos no solo tratan de descubrir la particularidad de las cosas, también es necesario definir un punto de vista subjetivo, partiendo de lo empírico del problema normativo o regulatorio para la inclusión de las FNCER y el desarrollo de ciudades inteligentes. Es decir, se realizará una evaluación del marco normativo anterior y se trabajará en la elaboración y evaluación de propuestas provisionales detalladas, las cuales serán recolectadas, mediante la aplicación de un cuestionario y provendrán, preferentemente, de personas seleccionadas por grupos de interés, teniendo en cuenta sus conocimientos, opiniones, experiencias, entre otros aspectos, recopilado los datos y la información suministrada, para un proceso posterior de evaluación y confrontación de los resultados, procesos que muestra la Figura 8.

Figura 8

Métodos normativos



Fuente: (Routio, 2007).

A partir de esta metodología se pretenden establecer los panoramas y propuestas regulatorias en Colombia y cómo estas intervenciones aportan a la implementación segura de redes inteligentes, esto se hará mediante el análisis de la literatura especializada sobre las consideraciones regulatorias que hayan llevado a países y/o ciudades a ser considerados inteligentes, desde un punto de vista energético. Conjuntamente se realizará un cuestionario que busca identificar las falencias que intervienen en el marco regulatorio colombiano, para la inclusión de las FNCER y su contribución al desarrollo de ciudades inteligentes, en él se incluirá temas como:

- a) mercados energéticos débiles, flexibles o inexistentes,
- b) acceso a servicios auxiliares y mercados de acuerdo con su capacidad de generación y consumo energético,
- c) cargas para vehículos eléctricos o electrolinerías,
- d) medidores inteligentes e incentivos económicos,
- e) almacenamiento de energía,
- f) ciberseguridad, entre otros temas.

A continuación, se presenta una síntesis de las etapas que conforman la metodología de investigación aplicada:

1. Análisis de la literatura y normativa nacional e internacional, en relación con la transición energética hacia ciudades inteligentes.
2. Identificación y análisis de referentes internacionales, destacando sus estrategias regulatorias para la transición energética y evolución hacia ciudades inteligentes.
3. Construcción del formulario para la valoración del entorno en cuanto al conocimiento del marco regulatorio colombiano, la identificación de falencias en el mismo, la percepción de la ciudad de Medellín (en los aspectos que podrían apuntar a su evolución como ciudad inteligente) y la recolección de propuestas provisionales en

torno al marco regulatorio colombiano y a la transición de Medellín para consolidarse como una ciudad inteligente, con base en el conocimiento de referentes internacionales.

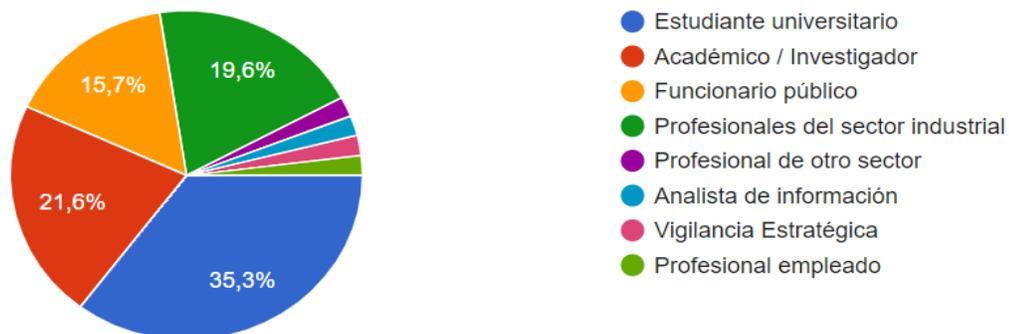
4. Aplicación del cuestionario con grupos de interés y expertos.
5. Análisis de resultados y elaboración de recomendaciones para la transición hacia ciudades energéticamente inteligentes.

Análisis de resultados de la investigación

Esta encuesta se aplicó a personas expertas en el tema energético, académicos, funcionarios públicos, entes de investigación energética, sector industrial, profesionales de vigilancia estratégica, entre otros, con el resultado se pudo dar una orientación a la ruta de desarrollo energético, propuestas o sugerencias regulatorias y nuevos desarrollos de mejoras para que Medellín sea considerada una ciudad energéticamente inteligente.

Figura 9

Participantes de la encuesta



La mayoría de los participantes, un 56.9% (29 personas), pertenecían al área académica, se contó con una participación del 35.3% de estudiantes del gremio energético (estudiantes último semestre de ingeniería eléctrica y posgrados del sector energético) y

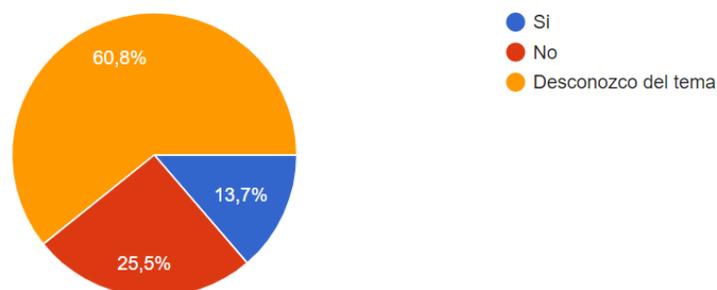
con un 21.6% del área de investigación energética. También se tuvo participación de profesionales en el sector industrial energético con un porcentaje del 19.6% (10 personas), igualmente participaron funcionarios públicos del sector energético con una intervención del 15.7% (8 personas), así como personas del área de Vigilancia estratégica 2% (1 persona), Gestión de la información 2% (1 persona), y profesionales de otro sector 4% (2 personas) esta participación de profesionales nos dará un buen criterio para el área educativa, investigativa e industrial, entre otros sectores.

Incentivos Financieros

1. ¿En Colombia existe algún mecanismo financiero con fondos públicos, para garantizar la viabilidad de proyectos para los operadores y prosumidores, enmarcados en las redes inteligentes?

Figura 10

Resultados de conocimiento (mecanismos financieros con fondos públicos)



Del total de personas encuestadas (51 personas), más de la mitad (31 personas equivalente al 61.8%) no conoce los mecanismos financieros con fondos públicos, un cuarto de las personas (13 personas equivalentes a 25.5 %) afirma que no hay un mecanismo y solo el 13.7 % equivalente a 7 personas manifiestan conocer los mecanismos financieros.

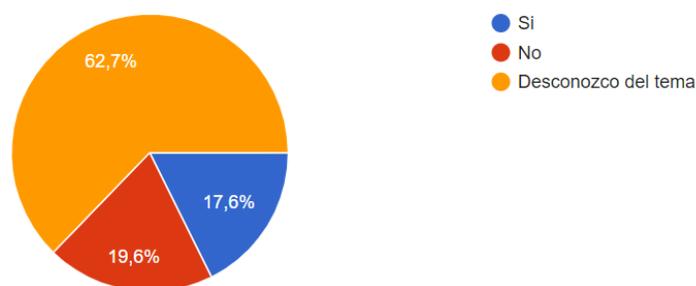
En general, estos mecanismos parten del Decreto 2143, del 4 de noviembre de 2015, del Ministerio de Minas y Energía: por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario 1073 de 2015 sobre los lineamientos de aplicación de incentivos de la Ley 1715 de 2014. También surgen del Decreto 829 del 10 de junio de 2020 Por el cual se reglamentan los artículos 11, 12, 13 Y 14 de la Ley 1715 de 2014, se modifica y adiciona el Decreto 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria y se derogan algunos artículos del Decreto 1073, Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía y Resolución 203 de 2020 de la Unidad de Planeación Minero-Energética, donde se establecen requisitos y procedimientos para acceder a los beneficios tributarios en inversiones, investigación, desarrollo o producción de energía a partir de FNCER.

2. ¿En Colombia existen excepciones de impuestos y / o subsidios de capital para sistemas de redes inteligentes y / o prosumer?

Figura 11

Resultado de conocimiento excepciones de impuestos y/o subsidios para sistemas

RI



Para esta pregunta continua la tendencia de la mayoría de los encuestados, el 62.7%, manifestó desconocimiento del tema, un 19.6 % afirmó que no existen excepciones

de impuestos y por otra parte la respuesta correcta fue lograda por 9 personas representadas en un 17.6%.

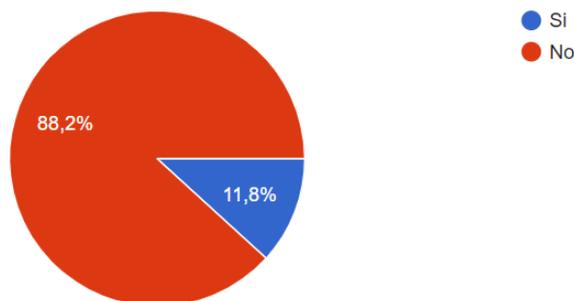
Para el gasto en I+D o inversión, en producción o utilización de FNCER y la gestión eficiente de la energía, los obligados a declarar renta que realicen directamente o indirectamente inversiones en este sentido, tendrán derecho a deducir de su renta, en un período de hasta de 15 años dentro de la misma vigencia fiscal en la que se haya realizado la inversión total o parcial, directa o indirecta con independencia al momento de su declaración, sobre el 50% del total de la inversión realizada, de acuerdo con la modificación de la ley 2099 que incorpora adiciones a los incentivos creados por la ley 1715.

Así mismo toda adquisición de equipos, elementos, maquinarias, o predios que sean entregados en aporte, uso u arrendamiento para el desarrollo de estos proyectos tienen la salvedad del 100% del impuesto a pagar, además, toda persona natural o jurídica titular de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE o acciones y medidas de gestión eficiente de la energía que importen maquinaria, equipos, materiales e insumos para la preinversión o inversión en nuevos proyectos, estarán exentas de pagar derechos arancelarios en un 100%.

3. ¿Conoce alguna opción financiera específica (acceso al crédito, tasa preferencial, periodos de gracia, etc.) para apoyar a las empresas y prosumidores?

Figura 12

Resultados de conocimiento opción financiera específica para la inclusión de RI



El 88.2% no conoce ninguna opción financiera para el apoyo de las empresas y porsumidores, solo el 11.8% tiene conocimiento del tema, esto reafirma la pregunta anterior, sobre la falta de comprensión de las ayudas y beneficios que ofrece la ley.

Cada año, miles de proyectos de eficiencia energética en todo el mundo no se implementan, especialmente en países en desarrollo y emergentes. Un gran obstáculo para la implementación de tales proyectos es el financiamiento, ya que los mecanismos de inversión en eficiencia energética no están completamente desarrollados en las economías locales, pues las barreras de financiamiento son considerables en la implementación de programas y/o desarrollos de eficiencia energética, porque existe el temor de una normatividad variable en el corto plazo.

En general, desde el punto de vista de los usuarios finales de energía, sólo hay seis opciones para financiar un proyecto de eficiencia energética, estas son:

- Financiamiento de participaciones de capital.
- Préstamo.
- Leasing.
- Donación de un tercero (por ejemplo, desde un programa de incentivos/subsidios).
- Financiamiento mezzanine.
- Contratos de servicios energéticos por desempeño (ESPC, por sus siglas en inglés).

En muchas economías de América Latina, los usuarios finales no cuentan con estas opciones, ya que las instituciones financieras locales no las ofrecen debido a numerosas barreras o fallas del mercado. Comúnmente se presentan las siguientes barreras:

- Alto costo de todas las opciones de financiamiento.
- Ausencia de participaciones de capital de los usuarios finales objetivo.
- Falta de disponibilidad de préstamos comerciales o leasing para inversiones en eficiencia energética.
- Falta de profesionales locales capacitados para evaluar los riesgos del proyecto y estructurar el financiamiento.
- Desinterés de instituciones financieras locales en el negocio de eficiencia energética.
- Falta de entendimiento de los profesionales de la banca sobre las modalidades de financiamiento de programas de eficiencia energética.
- Percepción de alto riesgo por parte de las instituciones financieras locales.
- Fallas al establecer el valor de los ahorros en energía cuando se estructura el programa de eficiencia energética.
- Reducido tamaño del proyecto de eficiencia energética desde el punto de vista de las instituciones financieras.
- Falta de profesionales en ingeniería capacitados y reconocidos en el tema.
- Bajo nivel de desarrollo de la industria de empresas prestadoras de servicios energéticos (ESCO, por sus siglas en inglés).
- Inhabilidad de las ESCO para ofrecer contratos de desempeño con ahorros compartidos.

(Dufresne et al., 2012)

Para mitigar estas barreras y obstáculos se han implementado muchos diseños de programas de financiamiento para proyectos energéticos, varias instituciones bancarias de índole internacional y nacional tienen destinados unos fondos para estimular la ejecución de proyectos en el mercado, entre las entidades internacionales se destacan:

- Banco Mundial; Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- La Corporación Andina de Fomento (CAF).

Estas entidades financieras cuentan con fondos que utilizan recursos de gobiernos y empresas privadas para comprar certificados de reducción de emisiones (CERS), asimismo el BID participa en proyectos para desarrollar programas de suministro de energía sostenible y eficiente a nivel mundial. Según el resultado de la encuesta actualmente es grande el desconocimiento de los participantes acerca de las entidades financieras en Colombia. Se identifican 3 entidades que apuestan al mercado nacional de la eficiencia energética, las cuales son:

A. Banco de Comercio Exterior y Desarrollo Empresarial de Colombia (Bancóldex)

dichos créditos son asignados a inversiones que:

- Cumplan con los criterios de elegibilidad establecidos por la entidad para los proponentes técnicos.
- Involucren cambios tecnológicos eficientes y costo-efectivos que permitan la mayor probabilidad de alcanzar los ahorros energéticos estimados.
- Midan, objetiva y eficazmente las reducciones alcanzadas durante el tiempo del proyecto sobre el impacto ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Implementen efectivamente las tecnologías propuestas.

Bancoldex cuenta con procesos de identificación de oportunidades y formación de emprendedores e intermediarios financieros para alcanzar el uso racional y eficiente de la energía, también ha creado una línea de crédito para el financiamiento de proyectos de eficiencia energética en energías renovables y protección del clima denominado “Bancóldex Sostenible”, un programa de financiamiento dirigido a empresas de diferentes tamaños con préstamos a largo plazo y tasas de interés reducidas, estos préstamos pueden ser otorgados en una modalidad de leasing, enfocada en proyectos de actualización de dispositivos de control y monitoreo que agreguen valor a la producción. Asimismo, existe el programa Seguro de Ahorros de Energía (ESI, por sus siglas en inglés), este programa, incorpora múltiples herramientas que promueven las inversiones en eficiencia energética en las PYMEs (Bancoldex, s.f).

B. La financiera de desarrollo colombiano (FINDETER) ha creado una nueva línea de crédito nombrada “Línea Especial Energías Renovables, Alumbrado e Iluminación”, esta tiene como objeto apoyar la modernización y expansión del servicio de alumbrado, iluminación, generación a través de fuentes de energía renovables en el país y todo tipo de proyecto que contribuya a la eficiencia energética y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (Durán Suárez, 2017).

Las actividades financiables son:

- Estudios y diseños de sistemas eficientes.
- Adquisición de activos eléctricos.
- Sistemas de monitoreo.
- Sistemas de georreferenciación.
- Alumbrado exterior e interior.

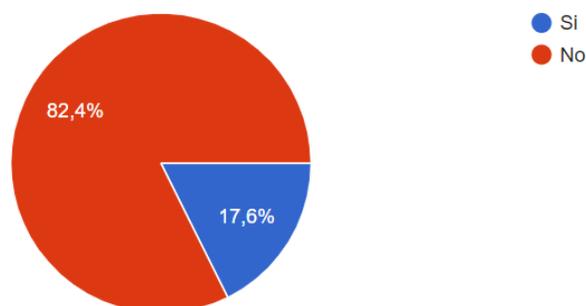
Estas actividades cuentan con disponibilidad de aproximadamente cien mil millones de pesos, con plazos de hasta ocho años y un periodo de gracia de dos años.

C. Bancolombia (s.f.) “Leasing Sostenible” es una operación de leasing destinada a financiar proyectos sostenibles enfocados a la generación de energía por fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), construcción sostenible, eficiencia energética, producción más limpia y movilidad sostenible.

4. ¿Conoce alguna excepción de impuestos y / o subsidios para apoyar los equipos y/o máquinas independientes para el cambio de tecnología con respecto al uso eficiente de la energía? Por ejemplo, beneficios por el cambio de electrodomésticos, sistemas fotovoltaicos, motores, iluminación más eficiente, domótica (automatización de hogares), refrigeración y/o calefacción, entre otros.

Figura 13

Resultado de conocimiento excepciones de impuestos para apoyo de equipos y/o máquinas



El mismo porcentaje (17.6%) que afirmó conocer excepciones de impuestos y / o subsidios de capital para sistemas de redes inteligentes nos manifiesta conocer subsidios

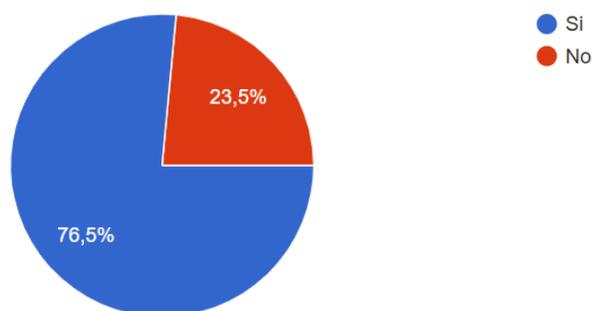
para cambios de tecnología en máquinas o equipos domésticos e industriales, el (82.4%) no conoce de la normatividad que existe para la excepción de impuestos y subsidios.

Resolución UPME 585 de 2017 (Procedimiento ante UPME Exclusión de IVA) exclusión del IVA a elementos, equipos y maquinaria tanto nacional como importada de proyectos de eficiencia energética, los interesados deberán tramitar su solicitud ante la UPME para obtener el concepto técnico y seguidamente surtir el trámite ante la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales- ANLA encargada de la certificación de beneficio ambiental con la que finalmente se podrá acceder al beneficio de equipos y maquinaria certificados por la UPME (Resolución UPME 703 de 2018 y Decreto MHCP 829 de 2020). La Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, art. 180) establece la inclusión de los módulos solares, los inversores y los controladores, en el listado del artículo 424 del Estatuto Tributario.

5. ¿Considera que en la regulación se debe implementar una nueva tarifa horaria aplicable a los clientes de acuerdo con el momento del día en el que se hace el consumo?

Figura 14

Resultado de conocimiento nueva tarifa horaria aplicable a los clientes



La mayoría de las personas, equivalente al 76.5%, considera que se debe implementar una nueva tarifa horaria y el 23.5% considera que no se debe implementar.

Los formuladores de políticas y los reguladores pueden trabajar para desarrollar marcos que permitan identificar los beneficios y costos para las diferentes partes interesadas, esto ayudaría a la ampliación de la movilidad eléctrica, además de crear nuevos principios de negocio, en cuanto a la participación del mercado energético.

Definición de Tarifas Horarias

Se estipula que las tarifas horarias se aplican a los usuarios conectados al sistema de OR con dispositivos de medición que registran las horas. Como criterio para determinar estos tiempos de carga, se recomienda utilizar la participación de carga de acuerdo con el porcentaje que se presenta en el sistema en una hora específica, estos horarios pueden ser:

- Punta: horas en las cuales el porcentaje de carga es mayor al 95% de la potencia máxima.
- Llano: horas en las cuales el porcentaje de carga es mayor al 75% y menor o igual al 95% de la potencia máxima.
- Valle: horas en las cuales el porcentaje de carga es menor al 75% de la potencia máxima.

Contar con una tarifa con discriminación horaria tiene muchas ventajas para los consumidores en función del momento del día en que se hace el consumo eléctrico, y ello puede favorecer el ahorro de una cantidad de dinero mes a mes en su factura de servicios públicos. Esta posibilidad ofrece varias ventajas como:

- Se pueden aprovechar para planchar, encender el aire acondicionado, poner la lavadora y el lavavajillas en las últimas horas de la noche, y pasar la aspiradora o

cocinar en la mañana temprano, reduciendo de manera considerable el gasto de dinero en el pago de la factura.

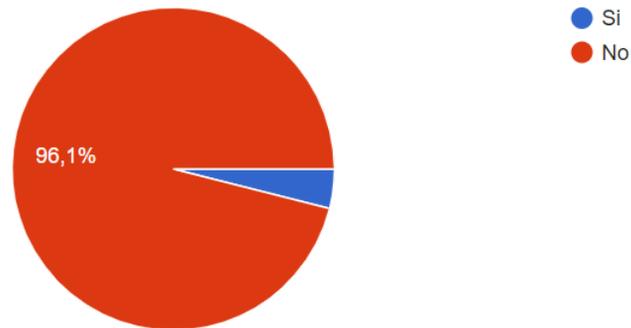
- Es ideal cuando las personas normalmente están fuera de casa durante la mayor parte del día y, por lo tanto, utiliza la mayor parte de su consumo de electricidad al final de la tarde y la noche.
- Potencializa la adquisición de movilidad eléctrica (vehículos, bicicletas, monopatines, entre otros), ya que permiten realizar cargas en la madrugada a un buen precio.

Ante este problema regulatorio, el principal objetivo es ajustar la eficiencia económica, dada por los cargos y tarifas horarias, teniendo en cuenta la sostenibilidad económica y financiera de los agentes, la capacidad de pago de los usuarios y los subsidios y subvenciones propuestas por la ley. Como resultado, se espera sensatez en las estrategias que se puedan proponer y aprobar, al favorecimiento de cambios esenciales en los esquemas tarifarios, para modernizar el sistema de manera ordenada y sinérgica entre los usuarios y proveedores de energía, también hay que aclarar que para implementar la tarifa horaria es indispensable la masificación de los AMI.

6. ¿Sabe si existe en el país la regulación para incentivos de almacenamiento de energía y su distribución?

Figura 15

Resultado de conocimiento para incentivos de almacenamiento de energía y su distribución



Se observa una tendencia muy alta, 96.1% en el desconocimiento de los incentivos del almacenamiento de energía, esto es debido a que el marco regulatorio existente no tiene muy claro el almacenamiento de energía, ya que es algo nuevo para Colombia, solo el 3.9% conoce la regulación.

En Colombia el almacenamiento de energía está dando sus primeros pasos, este año se inauguró el primer sistema de almacenamiento de energía a gran escala, ejecutado por Enel-Emgesa, proyecto que se desarrolló en la Central Termozipa en el municipio de Tocancipá (Cundinamarca), el cual se encuentra conectado al sistema de transmisión regional en la sabana de Bogotá y funciona mediante el uso de baterías de litio. La potencia instalada es de 7 MW y de 3.9 MWh en energía.

El 22 de junio de 2021, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) llevó a cabo la audiencia de presentación de propuestas de la Convocatoria Pública (UPME STR 01-2021) mediante la cual se procura elegir un inversionista y un interventor para el diseño y construcción, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica por 50MW con baterías en el Departamento de Atlántico (Zapata y Vesga, 2021).

En torno a la convocatoria se realizaron inscripciones de las siguientes empresas:

- NG Colombia Energía SAS.

- Proeléctrica SAS.
- Celsia Colombia SA.
- Interconexión Eléctrica SA.
- Sociedad Instincts Terpel.
- Canadian Social Energy Colombia SAS.
- Grupo Energía de Bogotá SA.
- ABO Wind Renovables (Proyecto Diez SAS).
- Aire SAS.
- Saeb Atlántic.

Canadian Solar Energy Group fue la ganadora de la primera subasta de almacenamiento, dando cumplimiento a todos los requisitos propuestos en la convocatoria, motivo por el cual se le adjudicó el desarrollo del sistema de almacenamiento de energía eléctrica con baterías en Atlántico, el valor propuesto por la compañía fue de \$72.066 millones de pesos, dividido en 15 anualidades de \$10.300 millones de pesos.

A continuación, se presentan las compañías que participaron de la subasta en Colombia (Valora Analitik, 2021):

1. Engie Colombia:

Primera hasta la 15° anualidad: \$16.739 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$117.118 millones pesos.

2. Proeléctrica:

Primera hasta la 15° anualidad: \$11.998 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$83.946 millones pesos.

3. Celsia Colombia

Primera hasta la 15° anualidad: \$11.498 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$80.448 millones pesos.

4. Interconexión Eléctrica SA (ISA)

Primera hasta la 15° anualidad: \$18.255 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$127.724 millones pesos.

5. Stem Terpel

Primera hasta la 15° anualidad: \$17.530 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$122.652 millones pesos.

6. Canadian Solar Energy Colombia (ganadora)

Primera hasta la 15° anualidad: \$10.300 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$72.066 millones pesos.

7. Grupo Energía Bogotá

Primera hasta la 15° anualidad: \$14.062 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$98.387 millones pesos.

8. ABO Wind Renovables Proyecto Diez

Primera hasta la 15° anualidad: \$14.246 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$99.681 millones pesos.

9. Air-E

Primera hasta la 15° anualidad: \$13.220 millones pesos.

Valor presente del ingreso anual: \$92.498 millones pesos.

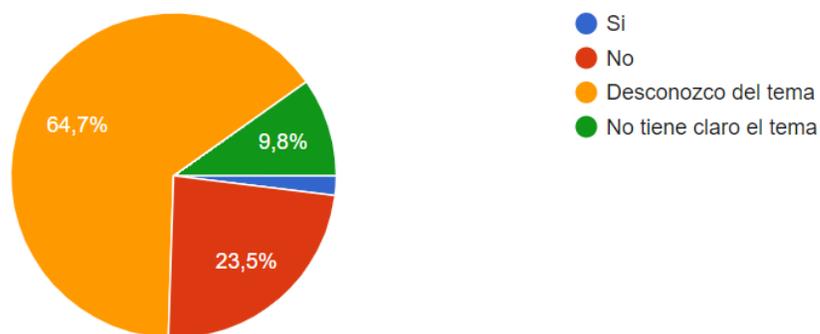
Nota: Saeb Atlantic se retiró.

El almacenamiento de energía no solo es una realidad, es una solución tecnológica que sin duda tendrá un mercado fundamental en la creación de un futuro energético más confiable y sostenible alrededor del mundo.

7. ¿Considera que el cargo por respaldo para los autogeneradores está claro en la regulación actual?

Figura 16

Resultado de conocimiento cargo por respaldo para los autogeneradores



El cargo por respaldo para los autogeneradores es un término que poco se menciona en el gremio, podemos observar y concluir en nuestra encuesta que el 98% lo desconoce o no lo tiene muy claro, solo el 2% afirma que la regulación y el desarrollo está claro.

Dando contexto al tema, estos contratos están estipulados y establecidos en el Decreto 2469 de 2014 y el Decreto 348 de 2017 donde se manifiesta como un cargo anual o mensual uniforme, que permite enviar señales a los usuarios autogeneradores sobre los costos de la disponibilidad de la potencia, en las horas de punta o fuera de punta del sistema de distribución. Esta Resolución establece que cualquier usuario autogenerador del SDL o STR con capacidad instalada igual o mayor a 100 kW deberá contratar capacidad de respaldo de la red, en la cantidad que defina dicho usuario y sujeto a la disponibilidad técnica del OR. En tanto que los usuarios autogeneradores del SDL o STR con capacidad instalada inferior a 100 kW que requieran respaldo de red no están sujetos al pago de esta.

A través de este contrato de respaldo del autogenerador en Colombia se busca principalmente remunerar lo siguiente:

- La inversión asociada con la infraestructura requerida para la conexión del autogenerador.
- Los costos de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) a cargo del operador de red.

Igualmente, hay que considerar El Decreto 2469/2014 donde están los lineamientos para los autogeneradores a gran escala, los cuales están obligados a suscribir un contrato de respaldo con el operador de red o transportador al cual se conecten. Al mismo tiempo, los operadores de red o transportadores, según sea el caso, diseñarán estos contratos, los cuales serán estándar y deberán estar publicados en las páginas web de la respectiva empresa.

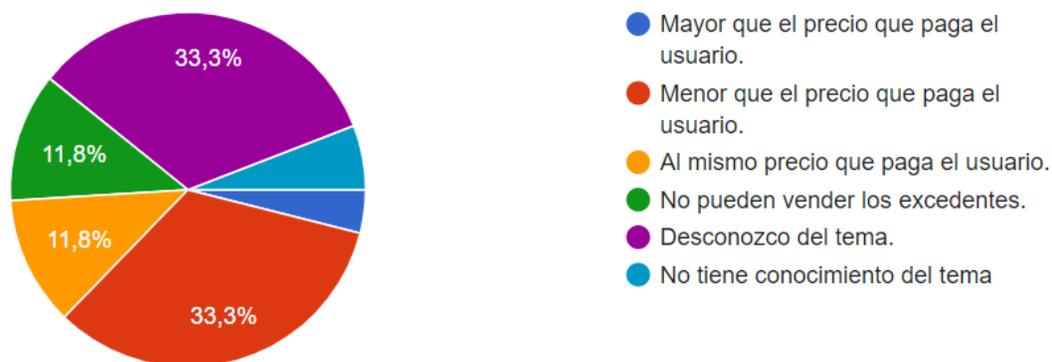
La CREG dará los lineamientos y contenidos mínimos de estos contratos y establecerá la metodología para calcular los valores máximos permitidos en las metodologías tarifarias para remunerar la actividad de distribución y transmisión.

El operador de red o el transportador dispondrán de formatos estándar para los contratos de respaldo y deberán cumplir lo dispuesto en la Resolución CREG 097 de 2008, o aquella que la modifique, adicione o sustituya. A la par los precios para los servicios de respaldo, los cuales corresponden al servicio de respaldo, se definirán por mutuo acuerdo en el contrato celebrado entre el autogenerador y el operador de red o transportador.

8. Según la regulación actual ¿Conoce si los prosumidores pueden vender los excedentes de energía a la red y a qué precio?

Figura 17

Resultado de conocimiento si los prosumidores pueden vender los excedentes de energía a la red



La palabra prosumidor y su acción es una tendencia que apenas da sus primeros pasos en nuestro país. La encuesta proyecta que un 39.2% de los participantes desconoce el tema, el 11.8% afirma que no se pueden vender los excedentes que producen los generadores de energía, el 3.9% considera que se vende a un precio mayor, el 33.3% considera que es a un precio menor que paga el usuario y el 11.8% manifiesta que debe ser al mismo precio que paga el usuario.

La Resolución 30 del 2018 tiene como objetivo regular aspectos operativos y comerciales para permitir la integración de la autogeneración a pequeña escala y de la generación distribuida al Sistema Interconectado Nacional, SIN. Reconociendo los excedentes de AGPE (Autogenerador a pequeña escala) que utiliza FNCER. Al cierre de cada periodo de facturación, los excedentes se reconocerán como créditos de energía al AGPE que utiliza FNCER de acuerdo con las siguientes reglas:

1. Para AGPE con capacidad instalada menor o igual a 0,1 MW:

a) Los excedentes que sean menores o iguales a su importación serán permutados por su importación de energía eléctrica de la red en el periodo de facturación.

Por estos excedentes, el comercializador cobrará al AGPE por cada kWh el costo de comercialización que corresponde al componente $Cv_{m,i,j}$ de la Resolución 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya.

b) Los excedentes que sobrepasen su importación de energía eléctrica de la red en el periodo de facturación se liquidarán al precio horario de bolsa de energía correspondiente.

2. Para AGPE con capacidad mayor a 0,1 MW:

a) Los excedentes que sean menores o iguales a su importación serán permutados por su importación de energía eléctrica de la red en el periodo de facturación.

Por estos excedentes, el comercializador cobrará al AGPE por cada kWh el costo de comercialización, el cual corresponde a la variable $Cv_{m,i,j}$, y el servicio del sistema como la suma de las variables T_m , $D_{n,m}$, $PR_{n,m,i,j}$ y $R_{m,i}$, ambos casos definidos en la Resolución 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya. En el caso de usuarios no regulados, estas variables corresponden a las pactadas entre las partes

b) Los excedentes que sobrepasen su importación de energía eléctrica de la red en el periodo de facturación se liquidarán al precio horario de bolsa de energía correspondiente.

Según se define en la Resolución CREG 071 de 2006, en los días en que exista periodo crítico se entiende que el precio de bolsa de energía aplicable es el precio de escasez ponderado de ese día.

Parámetros para el Autogenerador a Pequeña Escala por la Entrega de Excedentes

El comercializador que recibe energía de un AGPE es el responsable de la liquidación y la facturación, incorporando información detallada de consumos, exportaciones, cobros, entre otros; asimismo el comercializador tiene la obligación de informar en cada factura, de manera individual, los valores según el segmento a que corresponda, de acuerdo con las distintas valoraciones de los excedentes o créditos que se indican a continuación:

a) Para AGPE que utilizan FNCER con capacidad instalada menor o igual a 0,1 MW:

$$VE_{i,j,n,f} = (Exp1_{i,j,n,f-1} - Imp_{i,j,n,f-1}) * CUv_{n,m,i,j} - [Exp1_{i,j,n,f-1} * Cv_{m,i,j}] \\ + \sum_{h=hx, hx+1, \dots, H} Exp2_{h,i,j,n,f-1} * PB_{h,f-1}$$

b) Para AGPE que utilizan FNCER con capacidad instalada mayor a 0,1 MW:

$$VE_{i,j,n,f} = (Exp1_{i,j,n,f-1} - Imp_{i,j,n,f-1}) * CUv_{n,m,i,j} - [Exp1_{i,j,n,f-1} * Cv_{m,i,j}] \\ - [Exp1_{i,j,n,f-1} * (T_m + D_{n,m} + PR_{n,m,i,j} + R_{m,i})] \\ + \sum_{h=hx, hx+1, \dots, H} Exp2_{h,i,j,n,f-1} * PB_{h,f-1}$$

c) Para AGPE que no utilizan FNCER:

$$VE_{i,j,n,f} = \sum_{h \in f-1} ExpT_{h,i,j,n,f-1} * PB_{h,f-1}$$

Donde:

- i*: Comercializador *i*
j: Mercado de comercialización *j*
n: Nivel de tensión *n*
h: Hora *h*
m: Mes *m*
f: Periodo de facturación *f*

hx: Es la hora en que los excedentes sobrepasan la importación de energía eléctrica en el periodo de facturación *f-1*. Para determinar *hx* se debe tener en cuenta toda la importación y exportación sobre el periodo de facturación *f-1*. *H* es el número total de horas del periodo de facturación *f-1*.

VE_{i,j,n,f}: Valoración del excedente del AGPE, en \$, en el periodo *f*. Es ingreso para el usuario cuando esta variable sea mayor a cero.

Exp1_{i,j,n,f-1}: Sumatoria de la exportación de energía del AGPE durante cada hora del periodo *f-1*, en kWh. Este variable puede tomar valores entre cero (0) y *Imp_{i,j,n,f-1}*

Imp_{i,j,n,f-1}: Sumatoria de la importación de energía del AGPE durante cada hora del periodo *f-1*, en kWh.

CUV_{n,m,i,j}: Componente variable del Costo Unitario de Prestación del Servicio en \$/kWh, del comercializador que lo atiende, según lo establecido en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique

o sustituya. En el caso de usuarios no regulados es el costo del servicio pactado.

$CV_{m,i,j}$: Margen de comercialización en \$/kWh, según lo establecido en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya. En el caso de usuarios no regulados es el costo pactado.

$Exp2_{h,i,j,n,f-1}$: Exportación horaria de energía del AGPE durante cada hora del periodo $f-1$, en kWh que supera $Imp_{i,j,n,f-1}$

$PB_{h,f-1}$: Precio de bolsa horaria de las horas del periodo $f-1$, en \$/kWh, siempre y cuando no supere el precio de escasez ponderado. Cuando el precio de bolsa supere el precio de escasez de activación definido en la Resolución CREG 140 de 2017 o todas aquellas que la modifiquen o sustituyan, será igual al precio de escasez ponderado.

$Rr_{m-1,i}$: Costo de Restricciones del sistema incluidas en la variable $R_{m,i}$, en \$/kWh, de la cual trata la Resolución CREG 119 de 2007, o aquella que la modifique o sustituya. En este costo no se incluye ninguno distinto al de restricciones del sistema.

$P_{n,m-1,i,j}$: Es igual a la variable $PR_{n,m-1,i,j}$ menos la variable $CPR_{j,m-1}$ definidas en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya.

T_m : Costo por uso del STN en \$/kWh, según lo establecido en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya.

$D_{n,m}$: Costo por uso del sistema de distribución en \$/kWh, según lo establecido en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya.

$PR_{n,m,i,j}$: Costo de compra, transporte y reducción de pérdidas de energía en \$/kWh, según lo establecido en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya.

$R_{m,i}$: Costo de restricciones y servicios asociados con generación en \$/kWh, según lo establecido en la Resolución CREG 119 de 2007 o aquella que la modifique o sustituya.

$ExpT_{h,i,j,n,f-1}$: Exportación horaria de energía del AGPE durante cada hora del periodo $f-1$, en kWh. La suma sobre todas las horas del periodo de facturación $f-1$, $ExpT_{i,j,n,f-1}$, es igual a $Exp1_{i,j,n,f-1} + Exp2_{i,j,n,f-1}$ (CREG, 2018).

Este año en Colombia, especialmente en Medellín, están realizando una prueba piloto de energía transaccional, la Universidad EIA, la empresa de servicios públicos EPM, Erco Energía y University College of London lideran la prueba.

Un centro comunitario y seis casas en la Comuna 13 (sector de menores ingresos económicos y bajos recursos de Medellín), se equiparon con paneles solares para generar energía y luego vender los excedentes a otros compradores. Se trata del proyecto de investigación llamado “Transactive Energy Colombia Initiative”, financiado por la Real Academia de Ingeniería del Reino Unido y EPM, este proyecto iniciará con una fase operativa como modelo del mercado P2P (peer-to-peer) (La Network, 2020).

El mercado de energía P2P consiste en que los usuarios finales pueden negociar energía entre ellos, convirtiéndose en ‘prosumidores’ que pueden generar, almacenar, vender o comprar energía, haciendo uso de las tecnologías digitales, incluyendo el Blockchain. Los mercados P2P permiten que los prosumidores que generan más energía de la que consumen, puedan venderla o donársela a otros.

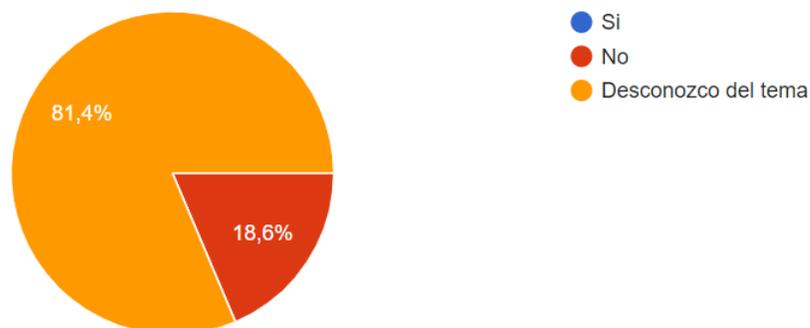
Este proyecto dará un gran paso para la evolución de ciudades inteligentes, junto con la inclusión de energías renovables no convencionales, transformando el mercado eléctrico, es decir, que no necesariamente se tiene que vender energía directamente a la red sino a alguien específicamente. Anteriormente este tipo de operaciones no eran fáciles de realizar, porque no se podían medir, sin embargo, en la actualidad, con la llegada de los medidores inteligentes y la facilidad de que los ciudadanos tengan teléfonos inteligentes en sus bolsillos, además del conocimiento de la tecnología de Blockchain, se podrá tener la trazabilidad de quién compra y quién vende, llegando al desarrollo de estos mercados P2P y haciéndolos realidad.

Normas y Calidad

10. ¿Colombia cuenta con una normativa o regulación dónde se considere la ciberseguridad de las redes eléctricas inteligentes? Partiendo de bases como la seguridad en la digitalización, amenazas de un ciberataque, robo de datos, entre otros.

Figura 18

Resultado de conocimiento una normativa o regulación dónde se considere la ciberseguridad de las redes eléctricas inteligentes



De las 51 personas encuestadas, solo 43 personas respondieron esta pregunta, donde la mayoría de las personas, equivalente al 81.4%, desconoce el tema y un 18.6%

afirma que Colombia no cuenta con una normativa o regulación que considere la ciberseguridad de las redes eléctricas inteligentes.

Por seguridad de la red y privacidad de los datos, a medida que los sistemas de energía se vuelven dependientes de las TIC, estos deben protegerse contra ataques, abusos o accesos no autorizados a los sistemas de información y comunicación.

En el ciberespacio se están desarrollando la economía, la cultura, el consumo, la producción y el ocio de la sociedad actual, a la cual podemos llamar sociedad informacional o sociedad digital. Esta se describe como una sociedad en la que se producen cambios muy rápidos en los aspectos sociales, económicos y políticos, además de cambios disruptivos en lo tecnológico, lo geopolítico y lo geoeconómico. Dichos cambios afectan e impactan al sector de la energía en general, especialmente su seguridad. Todos estos cambios tienen relación con la expansión del sector en el ciberespacio o espacio virtual y su inmersión en la economía digital, llevando consigo la exposición a las nuevas reglas (Arteaga, 2019).

No hay una solución para lograr una protección total contra los ataques cibernéticos. La red inteligente sigue siendo una red de máquinas de IT/OT (Las Tecnologías de la Información y las Tecnologías de la Operación) Donde las TI se caracterizan por la aplicación de equipos de telecomunicación como ordenadores para tratar datos, estos suelen utilizarse en el entorno de los negocios y las empresas, en cambio, las TO están dedicadas a detectar o cambiar los procesos físicos a través de la monitorización y el control de dispositivos físicos, como tuberías, válvulas entre otros.

La industria de las energías renovables también necesita trabajar más estrechamente con las instituciones gubernamentales para protegerse contra los ataques. La mayoría de las redes de energía están en manos privadas y es crucial construir

asociaciones público-privadas para abordar la dimensión cibernética de la seguridad energética.

La integración de los sistemas eléctricos en el desarrollo de nuestra sociedad subraya la importancia de proteger y asegurar la continuidad de las operaciones. Un ciberataque a la industria energética podría afectar por completo la infraestructura y causar trastornos económicos o financieros. Los ciberdelincuentes que desarrollan ataques sofisticados pueden tomar el control de los sistemas de control industrial y las redes SCADA para obtener acceso a información crítica y eliminar o dañar permanentemente archivos; además del control o sabotaje de subestaciones y robo de datos confidenciales de la empresa.

La ciberseguridad en el sector energético debe tener una alta prioridad, incluso debe clasificarse como un tema de seguridad nacional, ya que este sector se considera una infraestructura crítica para el país. Por tanto, las inversiones en investigación aplicada, en el desarrollo de soluciones y en la formación de especialistas son necesarias para que la ciberseguridad no dependa de terceros, y así contribuya a la estabilidad y soberanía del país. Una interrupción del suministro de energía afectaría a otras áreas de la sociedad y podría conducir a la desestabilización en la región y/o el país (Guillén Olague, 2020).

Estándares Internacionales y Evaluación de la Conformidad

Los estándares internacionales ofrecen soluciones a muchos de estos problemas basados en las mejores prácticas mundiales, por ejemplo, la IEC 62443 está diseñada para mantener operativos los sistemas OT, puede aplicarse a cualquier entorno industrial, incluidas las infraestructuras críticas como las empresas eléctricas o las centrales nucleares, así como en los sectores de la salud y el transporte.

El Programa de Ciberseguridad Industrial IECEE, el Sistema IEC de Esquemas de Evaluación de la Conformidad para Equipos y Componentes Electrotécnicos, prueba y certifica la ciberseguridad en el sector de la automatización industrial. El esquema de evaluación de la conformidad IECEE incluye un programa que proporciona la certificación de los estándares de la serie IEC 62443.

En un mundo ideal, las centrales eléctricas y otras infraestructuras críticas deberían ser seguras por diseño. Además de los estándares de seguridad para los principales protocolos de comunicación, IEC 62351 proporciona orientación sobre el diseño de seguridad en sistemas y operaciones antes de que se construyan, en lugar de aplicar medidas de seguridad después de que los sistemas se hayan puesto en funcionamiento. Intentar aplicar parches de seguridad de forma retrospectiva podría ser, en el mejor de los casos, una solución rápida y, en el peor, demasiado tardía para evitar que se produzcan daños (Gutiérrez Núñez, 2020).

Deloitte y Fortinet, refiriéndose a la ciberseguridad en organizaciones con sistemas de control industrial y redes operacionales, manifiestan que Chile tiene una deuda respecto los niveles de ciberseguridad y tanto el gobierno como los privados están empezando a tomar conciencia y acción sobre dicho tema.

Entre las acciones que podemos mencionar a nivel país se presentan las siguientes:

- **El decreto presidencial de ciberseguridad** que busca crear la Agencia Nacional de Ciberseguridad con la responsabilidad de coordinar las acciones de respuesta ante incidentes de ciberseguridad, buscando la colaboración y el compartir de información dentro de la industria de la Energía. Compartir información e involucrar actores públicos (CSIRT y Agencia Nacional de Ciberseguridad y Defensa) y

privados permitirá, la unión en la respuesta y la disminución de tiempos de detección, reacción y eliminación ante estos eventos.

- **Regulación por parte de la Superintendencia de Energía**, como ente regulador de ciberseguridad en la Industria. Esta entidad deberá definir los estándares mínimos de cumplimiento de ciberseguridad como también colaborar con la definición y control de estándares de mayor nivel para aquellas organizaciones que sean definidas como infraestructuras críticas.
- **El Plan de Ciberseguridad** definido por el Coordinador Eléctrico Nacional que busca preservar la seguridad y continuidad del suministro eléctrico conforme a la normativa vigente, a través de la definición de una estrategia, implementación de requerimientos mínimos urgentes y la adecuación e implementación de estándares de seguridad para la industria basados en NERC-CIP.
- **Adicionalmente, el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE)** a través del grupo de trabajo de Ciberseguridad Estratégica aplicada al sector eléctrico, busca aportar al sector eléctrico chileno los lineamientos estratégicos y recomendaciones para llegar, en un mediano y largo plazo, a ser una infraestructura crítica ciber-resiliente ante nuevas amenazas y vulnerabilidades en el mundo digital.

Lo anterior es una estrategia de ciberseguridad nacional para la industria eléctrica, lo que muestra que la ciberseguridad es una pieza clave entre las acciones a tomar en el camino hacia las ciudades sostenibles; definir roles y responsabilidades para los entes reguladores, el Gobierno y los privados, adoptar un estándar de ciberseguridad a nivel nacional que defina los criterios para estar seguros, capacitación y concientización de todos los actores involucrados (incluyendo a la cadena de suministro y sobre todo el tener un plan de respuesta ante incidentes de ciberseguridad dentro de un plan de Gestión de Crisis, son

varias acciones que se deben tomar individual y grupalmente en la industria (Deloitte y Fortinet, 2020).

Colombia, está en la marcha para subirse al tren de la cuarta revolución industrial. El desarrollo de la economía digital promete la prosperidad económica que se necesita para evolucionar inteligentemente. Sin embargo, la innovación atrae riesgos sobre nuevas tecnologías, específicamente en materia de seguridad digital y gestión de riesgos asociados a la ciberseguridad.

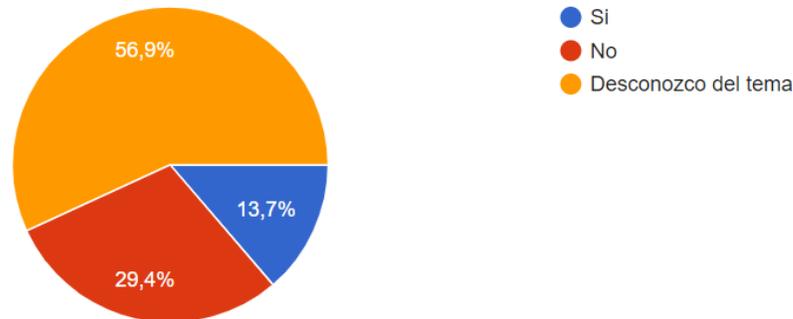
Actualmente, el colCERT (Grupo de Respuesta a Emergencias Cibernéticas de Colombia) es el organismo coordinador a nivel nacional en aspectos de ciberseguridad y ciberdefensa y tiene como misión la protección de la infraestructura crítica del Estado colombiano frente a emergencias de ciberseguridad que atenten o comprometan la seguridad y defensa nacional. A través de la Política Nacional de Seguridad Digital CONPES 3854, se busca fortalecer las capacidades de las múltiples partes interesadas para identificar, gestionar, tratar y mitigar los riesgos de seguridad digital en sus actividades socioeconómicas en el entorno digital, en un marco de cooperación, colaboración y asistencia (<https://www.colcert.gov.co/>).

Se puede concluir que es muy importante definir y aplicar una estrategia adecuada y conveniente de ciberseguridad, que fortalezca los mecanismos de protección del sector energético.

11. ¿En Colombia están a disposición y son de fácil acceso al público las normas técnicas para la ejecución de nuevos proyectos energéticos en tiempo real enmarcados en redes inteligentes?

Figura 1

Resultado de conocimiento disposición y son de fácil acceso al público las normas técnicas para la ejecución de nuevos proyectos energéticos en tiempo real



Las normas técnicas para la implementación y ejecución de los proyectos energéticos deben ser públicas. Una falencia que se presenta en el país es que no se hace mucha difusión con respecto a estas normas, en coherencia con ello, la encuesta arroja que el 56.9 % de los participantes desconoce sobre las normas técnicas para la ejecución de nuevos proyectos energéticos enmarcados en redes inteligentes, el 13.7% afirma que son de fácil acceso para su consulta y un 29.4% expresa que las normas no están a disposición o son de difícil acceso, consulta y entendimiento.

Partiendo de la ley 1715 del 2014 la hoja de ruta de SmartGrid en Colombia requiere políticas y regulaciones que permitan avanzar con las necesidades del país y del sector eléctrico, las cuales ya se han mencionado anteriormente. Es necesario desarrollar una metodología adecuada para la evaluación de proyectos en el SmartGrid orientados a las metas del desarrollo del país. Dado que muchos de los proyectos se encuentran actualmente en fase de evaluación y prueba, esta pregunta se creó con el objetivo de observar el conocimiento del gremio energético con respecto al tema y presentar las

dificultades para la implementación de estos proyectos, las cuales se mencionan a continuación:

- Los costos.
- La integración de las tecnologías de la información TI.
- Facilidad de la interpretación de la información que estas puedan brindar.
- La madurez y la capacidad tecnológica.
- Riesgos de obsolescencia.
- Relaciones y aceptación del cambio con los usuarios (clientes).

Todos los proyectos de redes inteligentes en el mundo están vinculados a iniciativas de ciudades inteligentes en las que se pueden utilizar los recursos; beneficiando al estado y a la comunidad, también conllevan a la disminución del impacto ambiental mediante la reducción del consumo de combustibles fósiles, contribuyendo al logro de los objetivos de las ciudades inteligentes; para que el desarrollo de estas redes sea exitoso, se recomienda tener en cuenta los siguientes criterios:

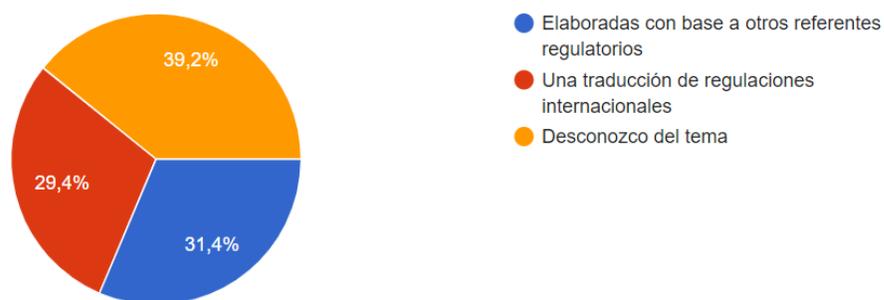
- Sensibilizar a los consumidores y usuarios finales en general será una tarea importante, y de la forma en que se transmita el mensaje depende el éxito de la implementación de las redes inteligentes.
- Proteger y asegurar la información, los hábitos de consumo, etc. Siendo la ciberseguridad el más importante desarrollo de la estrategia.
- Implementar y administrar un sistema integrado de la información que cubra los procesos involucrados en la gestión de mediciones y reportes de fronteras.
- Mayor adopción de tecnologías de información y comunicaciones para mejorar las condiciones sociales y económicas de la población, llevando al éxito de la adaptación de las redes inteligentes.

- Exigirles a los entes gubernamentales que se encarguen de vigilar que los operadores cumplan con la normatividad expedida, para el despliegue de las FNCER de la mano con las redes inteligentes.
- Se recomiendan incentivos a la innovación para posibilitar la ampliación de estas tecnologías con sus respectivos negocios aportando a soluciones de infraestructura energética.
- Se recomienda crear medios de difusión para la información sobre los mecanismos existente de apoyo para la implementación de redes inteligentes.

13. Considera que las normas colombianas para la inclusión de las energías renovables no convencionales son:

Figura 2

Resultado de conocimiento origen de la normatividad sobre la inclusión de las FNCER



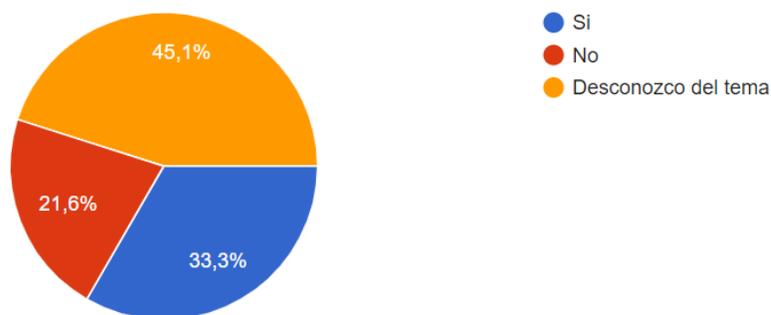
Las normas colombianas para la inclusión de las energías renovables no convencionales tienen una gran influencia de varios países a nivel mundial, principalmente de la Unión Europea, especialmente de España. El 39.2% de los encuestados desconoce este tema, un 29.4%, equivalentes a 15 personas, considera que es una traducción de

regulaciones internacionales y un 31.4%, equivalente a 16 personas, considera que son elaboradas con base en otros referentes regulatorios, reconociendo a la Unión Europea como gran influyente, y además considerando que países como Estados Unidos, Bélgica, Grecia y Malasia han tenido gran impacto en la creación de la regulación colombiana, esta respuesta fue aportada por los participantes del gremio energético en la encuesta.

15. ¿En Colombia existen normas medioambientales sobre la disposición final de equipos eléctricos como: paneles solares, baterías, inversores y otros productos o componentes de las redes inteligentes?

Figura 3

Resultado de conocimiento normas medioambientales sobre la disposición final de equipos eléctricos



El 33.3% de los participantes (17 personas) afirma que existen normas medioambientales para la disposición de equipos eléctricos, el 21.6% declara que no existen estas normas y el 45.1% desconoce del tema normativo

Un aspecto para tener en cuenta es la disposición final de equipos eléctricos como: baterías, inversores y otros productos o componentes de las redes inteligentes. La disposición de este tipo de residuos está regulada mediante la Ley 1672 de 2013, donde el

Congreso de la Republica decreta los lineamientos para la política pública de gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, RAEE, generados en el territorio nacional.

La Ley 1672 de 2013 le da el carácter de manejo diferenciado a los RAEE, prohíbe su disposición final en los rellenos sanitarios y los restringe a rellenos de seguridad, para que sean retomados por los productores de aparatos eléctricos y electrónicos, mediante sistemas de recolección y de gestión ambientalmente segura. Así, se busca que el consumidor devuelva los RAEE sin ningún costo.

Como antecedentes normativos de la implementación de sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de los RAEE, se presentan las siguientes resoluciones:

- **Resolución 1511 de 2010** (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) “por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas y se adoptan otras disposiciones”.
- **Resolución 1512 de 2010** (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) “por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de computadores y periféricos y se adoptan otras disposiciones”.
- **Resolución 1297 de 2010** (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) “por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y acumuladores y se adoptan otras disposiciones”.

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, <https://www.minambiente.gov.co/>)

Debido a la poca información encontrada sobre la disposición final de estos elementos, principalmente en lo relativo a los paneles solares, se recomienda la creación de alianzas con organizaciones y/o empresas nacionales e internacionales del sector fotovoltaico, junto con universidades y grupos de investigación del sector, para que se posibilite la captación de módulos solares, ya que un mayor número de módulos puede otorgar al proceso una mayor rentabilidad.

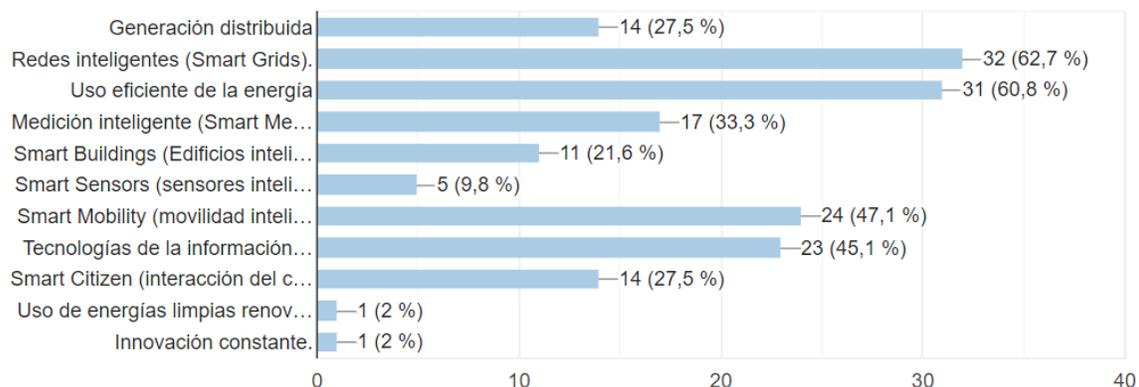
De esta manera, es recomendable la generación de un plan de manejo para paneles solares, con la creación de programas especialmente destinados a residuos sólidos producidos por fuentes de energías no convencionales, y así continuar tratando y gestionando los residuos que se generen por los procesos y servicios.

Ciudades Inteligentes

16. Según su criterio, ¿el modelo ideal de una ciudad inteligente se basa principalmente en? (Escogieron como máximo 3 ítem)

Figura 4

Resultado criterio modelo ideal de una ciudad inteligente



Según la perspectiva de los participantes de este cuestionario, donde cada colaborador tiene la opción de escoger máximo 3 ítems, el modelo ideal de una ciudad inteligente se basa en:

- Redes inteligentes: 32 votos.
- Uso eficiente de la energía: 31 votos.
- Movilidad inteligente: 24 votos.

En general, el concepto de ciudades o territorios inteligentes y sostenibles se refiere a un uso integral y eficiente de las tecnologías disponibles, especialmente de las TIC, que tienen como objetivo mejorar la calidad de vida de la población, por lo que se requieren estrategias que faciliten el acceso y conocimiento de dichas tecnologías, contribuyendo a la reducción de la desigualdad social. Lo anterior es consistente con el concepto de innovación inclusiva, que enfatiza ampliamente la necesidad de que los beneficios de la innovación penetren principalmente en las poblaciones menos afortunadas. El término "Smart City" o ciudad inteligente hace referencia, específicamente, a un complejo sistema de tecnologías en red que permite gestionar todos los aspectos relevantes del funcionamiento de una ciudad, desde la optimización del transporte público hasta el uso eficiente de los recursos energéticos.

Entre las diferentes definiciones de las ciudades inteligentes y sostenibles, generalmente existen similitudes en torno a su concepción como un sistema complejo en el que diferentes actores y factores convergen para lograr su funcionalidad, haciendo uso de la digitalización.

En general, el modelo ideal de ciudad inteligente se basa principalmente en la integración de una serie de subsistemas y tecnologías, que se clasifican en:

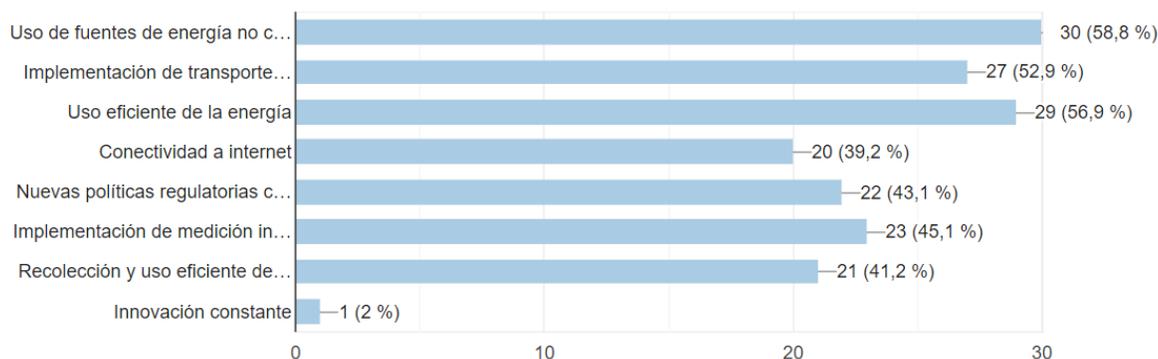
- Generación de energía descentralizada (microgeneración).

- Smart Grids: Smart Grids en red y bidireccionales.
- Smart Metering: medición inteligente de datos de consumo de energía.
- Smart Buildings: edificios ecoeficientes con sistemas integrados de generación de energía.
- Sensores inteligentes: sensores inteligentes para recopilar datos y mantener la ciudad conectada.
- eMobility: implementación del vehículo eléctrico.
- Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): permitirán que la ciudadanía y las unidades administrativas participen en el control de la ciudad.
- Smart Citizen: los ciudadanos son el corazón de una Smart City.

17. Según su criterio ¿qué necesita Medellín para que llegue a ser considerada una ciudad inteligente?

Figura 5

Resultado criterio sobre qué necesita Medellín para que llegue a ser considerada una ciudad inteligente



Frente a esta pregunta, los participantes expresan que para que Medellín sea considerada una ciudad inteligente se deben implementar o masificar los siguientes

aditamentos (cada participante tenía la opción de escoger máximo 3 ítems de los propuestos):

- Uso de fuentes de energía renovable no convencionales: 30 votos.
- Uso eficiente de la energía: 29 votos.
- Implementación de transporte eléctrico: 27 votos.

El surgimiento de ciudades inteligentes se debe a la necesidad de hacer frente a problemas que los sistemas existentes y tradicionales no pueden atender, una de estas problemáticas es el incremento de la población, que hace necesario el uso de nuevas tecnologías para complementar la gestión de todos los aspectos propios de una ciudad (transporte, servicios, alimentación, entre otros), ya que, el objetivo de toda ciudad es la sostenibilidad económica, social y ecológica.

Frente a los diferentes retos y oportunidades que surgen a diario en las grandes metrópolis, las ciudades han tenido que volverse inteligentes, aprovechando la tecnología existente, para hacer la vida de sus habitantes mucho más sencilla y práctica, enfrentando problemas económicos y sociales tales como la pobreza, la falta de vivienda, la inseguridad, la exclusión y la criminalidad, entre otros factores.

Según MInTic existen 5 factores en los que debe trabajar Colombia para tener ciudades inteligentes, comprender estos factores fundamentales puede significar un gran avance para abrir el camino en aras de estructurar ciudades inteligentes, y estos son:

1. Crear una verdadera conciencia de lo que significa una smart city.

2. Crear normas especializadas: establecer parámetros mandatorios con el fin de unificar los conceptos y estandarizar procesos.

3. Implementar infraestructura de fibra óptica: la fibra óptica es vital para transformar la infraestructura tradicional de la ciudad.

4. Aplicar el RITEL: Reglamento Técnico para Redes Internas de Telecomunicaciones (redes bajo estándares de ingeniería internacionales) factor básico para desarrollar ciudades inteligentes.

5. Definir quién administrará el Big Data: Determina lo que se hará con la cantidad de información que será generada en el proceso de la gestión inteligente

(MinTic, 2018)

Al analizar estas tendencias y otros temas clave de la industria, como normas y estándares de buenas prácticas para el desarrollo de políticas y tecnologías necesarias para liderar el mundo moderno, es posible afirmar que Medellín está dando sus primeros pasos hacia su transformación en una ciudad inteligente.

Actualmente, la Alcaldía de Medellín y la Región Metropolitana del Valle de Aburrá han dado grandes pasos en temas de evolución de ciudad, siguiendo los lineamientos de un gobierno abierto, que incluye en su plan de desarrollo el cumplimiento de las políticas nacionales de un gobierno digital. Las iniciativas llevadas a cabo por ambas instituciones tienen como objetivo mejorar el desarrollo de proyectos innovadores que tendrán un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes del territorio, sin embargo, todo esto no se logrará sino se lleva a cabo un adecuado proceso educativo para la formación de “ciudadanos inteligentes” (Smart citizen).

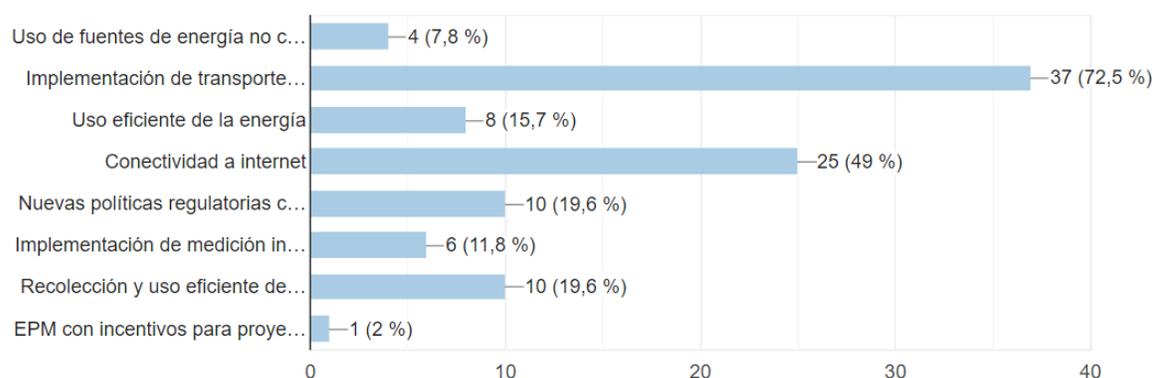
Adicionalmente, para la transformación de Medellín en una ciudad inteligente, es necesario mejorar la participación ciudadana en la resolución de los desafíos de la ciudad y también aprovechar las iniciativas privadas basadas en datos abiertos que facilitan y mejoran las actividades de la vida diaria. Principalmente en Medellín las acciones se articulan en el programa "Medellín Ciudad Inteligente", una alianza entre la Alcaldía, UNE (Empresa Mixta de Telecomunicaciones) y EPM (Empresa de Servicios Públicos), enfocados en ofrecer herramientas y servicios a la ciudadanía que les permitan interactuar

con la administración de la ciudad, acceder a datos de diferentes entidades y generar ideas para la solución de las problemáticas locales, entre ellas la movilidad, la conectividad y la implementación de energías renovables no convencionales (Amar Flórez, 2016).

18. ¿Por cuáles de los siguientes aspectos se destaca la ciudad de Medellín actualmente?

Figura 6

Resultado criterios de aspectos que se destaca la ciudad de Medellín actualmente



En esta pregunta, cada participante tenía la opción de escoger máximo 3 ítems de los propuestos, de acuerdo con las respuestas obtenidas, los encuestados opinan que la ciudad de Medellín se destaca actualmente por:

- Implementación de transporte eléctrico: 37 votos.
- Conectividad a internet: 25 votos.
- Propuestas de nuevas políticas regulatorias con respecto a incentivos en la innovación y recolección y uso eficiente de los residuos sólidos: 10 votos.

Una de las secretarías con mayor iniciativa de innovación y tecnología fue la secretaria de Movilidad de Medellín, que ha modernizado sus servicios e implementado el

“Sistema de Movilidad Inteligente de Medellín”. Este sistema consolidó, entre otras cosas, la creación del centro de control de tráfico, los servicios de registro de movilidad y transporte público, la detección electrónica de infracciones, las cámaras de seguimiento para el orden vehicular, una red de semáforos inteligentes y el sistema de control del tráfico público. Además, la ciudad cuenta con un programa llamado EnCicla, un sistema público de bicicletas con presencia en cinco municipios del Valle de Aburrá. Actualmente cuenta con 103 estaciones en cinco municipios: Medellín, Envigado, Sabaneta, Itagüí y Bello, que prestan servicio gratuito mediante 2000 bicicletas; adicionalmente se está implementado el uso de bicicletas eléctricas para seguir ampliando las posibilidades de que un mayor número de personas decida transportarse en bicicleta por el Valle de Aburrá (Amar Flórez, 2016).

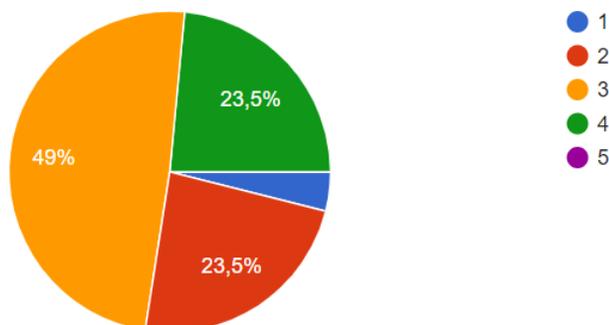
Así mismo, como parte del programa “Medellín: Ciudad inteligente”, se están implementando proyectos para la creación de zonas de acceso gratuito a Internet, centros comunitarios de acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), el portal de co-creación llamado “Mi Medellín” (para los datos abiertos y procesos en línea), y otros servicios que buscan la participación ciudadana, el gobierno abierto, la innovación en la resolución de problemas sociales y la sostenibilidad de los proyectos.

Otra estrategia es la creación del Sistema de Movilidad Inteligente que, mediante el uso de tecnología, un centro de operaciones y una gama de servicios de seguimiento y control, ha logrado la reducción de accidentes, la mejora de la movilidad y un tiempo de respuesta más rápido a los incidentes (Amar Flórez, 2016).

19. ¿Cómo calificas la conectividad a internet que ofrece la ciudad de Medellín a sus ciudadanos? Se calificó con 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta.

Figura 7

Resultado criterio sobre la conectividad a internet que ofrece la ciudad de Medellín a sus ciudadanos



El 49% de los encuestados dio una calificación de 3 a la conectividad de internet que ofrece la ciudad de Medellín, solo 2 personas dieron la calificación de 1, dándole el menor puntaje de conectividad.

MinTIC ha desarrollado iniciativas y pactos de conectividad con diversos departamentos del país a través de programas como *En TIC Confío* y *Transformación Digital con Sentido*, los cuales beneficiaron a 1,2 millones de mujeres y 1,06 millones de hombres al año 2021, de los cuales 1,3 millones fueron niñas, niños y adolescentes de 6 a 18 años.

Medellín Smart City cuenta con una iniciativa denominada *Internet para Todos*, que brinda a los ciudadanos 200 lugares para disfrutar de acceso gratuito a Internet, como parques, recintos deportivos y otros lugares públicos de la ciudad. De estos, 92 puntos de navegación se crearon con ordenadores conectados a Internet y con accesos públicos y 108 fueron creados en lugares públicos con acceso gratuito a Internet a través de sus propias redes de WiFi.

Dentro de las áreas estratégicas de su plan de desarrollo, se encuentra un proyecto de Smart City para Medellín, identificando 5 áreas estratégicas prioritarias, las cuales son:

- Eficiencia y gestión energética.
- Urbanismo y construcción sostenible.
- Seguridad y prevención ciudadana.
- Economía del conocimiento y negocios.
- Las TIC como un elemento transversal.

Según un estudio realizado por Ruta N (Medellín), se identificaron lineamientos para aumentar la cobertura y la conectividad en la ciudad, las cuales son (Corporación Ruta N, 2018):

- Mejoramiento en la calidad de vida de la ciudadanía.
- Mayor crecimiento económico.
- Dinamización del mercado local.
- Reducción del impacto ambiental.
- Prevención del rezago tecnológico y de conectividad.
- Creación de servicios a la comunidad, como Gobierno en línea.
- Sensibilización de la comunidad con respecto al uso de tecnología.
- Generación de una economía movida por los datos.
- Creación de sinergias industria-academia que estimulen la creación de nuevos proyectos adaptados a las realidades de la ciudad. (Corporación Ruta N, 2018).

El cambio social, cultural, económico y ambiental de Medellín en los últimos años ha sido reconocido en todo el mundo, otorgándole el premio de Netexplo, que es el observatorio internacional de tendencias en el área digital, patrocinado por la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), cuyo

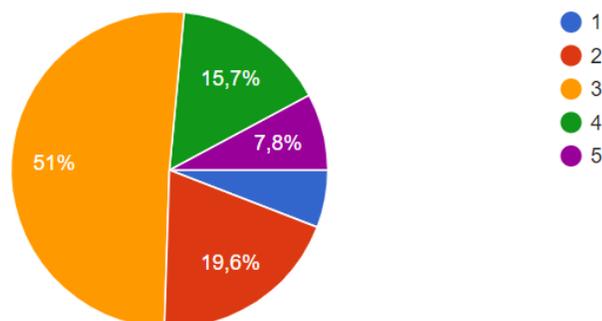
objetivo es establecer la paz mediante la cooperación internacional en materia de educación, ciencia y cultura.

Medellín se ha enfrentado al desafío de convertirse en una ciudad inteligente donde el futuro sostenible y la innovación social permitan a personas más empoderadas, crear una ciudad con comunidades que tengan acceso a la información pública. Es importante que el gobierno continúe trabajando en fomentar una mejor participación ciudadana.

20. ¿Considera que la movilidad en la ciudad de Medellín es eficiente? Siendo 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta (tenga en cuenta el tiempo de desplazamiento, combustible, horario y cobertura, para asignar su calificación).

Figura 8

Resultado consideración de movilidad en la ciudad de Medellín



El 51 % de los encuestados dio una calificación de 3 a la eficiencia de la movilidad en Medellín, solo el 5.9% dio el puntaje más bajo.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá realizó la Encuesta de Movilidad Origen y Destino, para identificar cómo se movilizan los ciudadanos metropolitanos, la encuesta se realizó a 35.000 usuarios de los distintos medios de transporte del: Metro, Metrocable, tranvía, Metroplús, líneas integradas, transporte público urbano, transporte público de

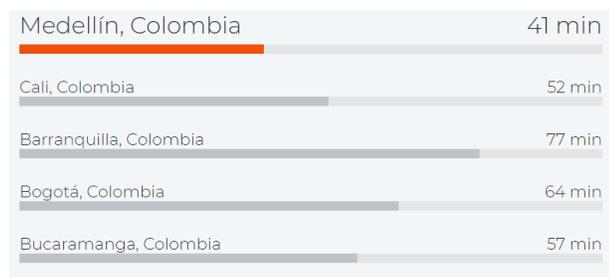
Medellín y el sistema de bicicletas públicas EnCicla. Los resultados de la encuesta mostraron que:

- El 18% de la población del Valle de Aburrá tiene acceso a un vehículo privado.
- El tiempo promedio de viaje ha incrementado un 44% en los últimos doce años.
- Un habitante del Área Metropolitana gasta 420 horas al año viajando, eso representa 51 días (horario laboral).
- En los últimos doce años pasamos de tener 30 motos y 52 autos por cada mil habitantes a tener 81 motos y 66 autos (Área Metropolitana, 2017).

Otro análisis consultado, fue el estudio de la plataforma Moovit Insights, el cual proporcionó estadísticas y análisis del transporte público basado en datos, encuestas y patrones de viaje en varias ciudades, se comparó a la ciudad de Medellín con otras ciudades de Colombia, y se observó que el promedio de tiempo que las personas viajan en el transporte público desde su casa al trabajo y del trabajo a su casa es de 41 min, siendo una de las ciudades con el menor tiempo invertido en desplazamiento de personas, además, ubicando a Medellín por encima de ciudades latinoamericanas como Buenos Aires, en donde tardan 56 minutos y Santiago de Chile que registra un tiempo promedio de 51 minutos (Moovit Insights, s.f.).

Figura 9

Tiempo de viaje en las principales ciudades de Colombia



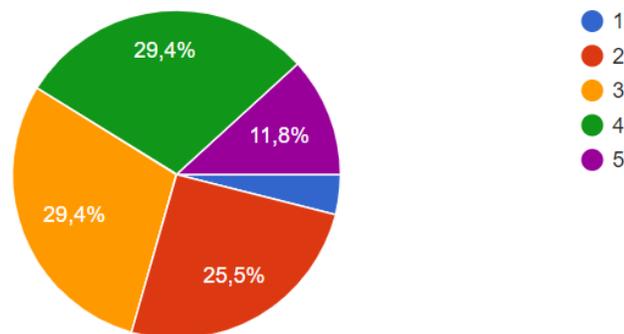
Fuente: (Moovit Insights, s.f.)

Los usuarios consideran que, en general, tienen un buen sistema de transporte integrado y otorgan una calificación generalmente positiva para todo el sistema e incluso para cada uno de sus medios de transporte, asimismo mencionan los atributos de servicio más importantes para el usuario como la disponibilidad, el tiempo y la tarifa; los medios de transporte más eficientes son el Tranvía, el Metrocable y EnCicla, siendo este último el que recibe la calificación ambiental más alta por su contribución a la calidad del aire (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, s.f.).

22. ¿Considera que la movilidad en la ciudad de Medellín es asequible económicamente según el nivel adquisitivo de la mayoría de la población? Se calificó con: 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta.

Figura 10

Resultado de consideración en la movilidad en la ciudad de Medellín es asequible económicamente



Con un puntaje promedio de 3.2 (máximo 5 y mínimo 1) las personas consideran que la movilidad en la ciudad de Medellín, con respecto a lo económico, es asequible.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como autoridad de transporte, es responsable de determinar las tarifas del transporte público metropolitano, de acuerdo con

los principios de igualdad y equidad, Sin embargo, estos precios son difíciles de comparar con otros países, dado el costo de vida y los tipos de tasa de cambio en cada región.

Según Expatistan (2021), una fuente calculadora del costo de vida que permite comparar el costo de vida entre ciudades de todo el mundo, basándose en informes internacionales y combinando la información disponible en algunos informes de fuentes como la OCDE, Spain's National Institute of Statistics, Chile's National Institute of Statistics, entre otros, se pudo calcular el abono mensual de transporte público en la ciudad de Medellín, arrojando los siguientes resultados:

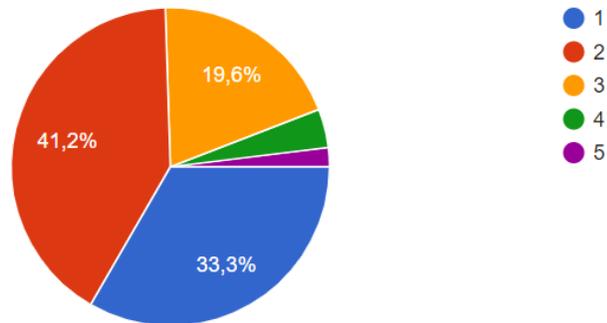
- En Barranquilla el precio es 5% más barato que en Medellín.
- En Cali el precio es 6% más caro que en Medellín.
- En Caracas el precio es 91% más barato que en Medellín.
- En San Antonio, Texas el precio es 10% más caro que en Medellín.
- En Pittsburgh, Pennsylvania el precio es 166% más caro que en Medellín.
- En Santa Cruz de la Sierra el precio es 27% más barato que en Medellín.
- En Toronto el precio es 262% más caro que en Medellín.
- En Nueva York el precio es 288% más caro que en Medellín.

Pocos sistemas de transporte masivo en el mundo integran tantos medios de transporte bajo el mismo sistema y a un buen costo, integrando buses, metro, tranvía, y también medios individuales como las bicicletas públicas.

23. ¿Cómo está la ciudad de Medellín con respecto a la infraestructura activa de electrolineras? (estaciones de carga para vehículos eléctricos) Se calificó con 1 la puntuación más baja y 5 la puntuación más alta.

Figura 11

Resultado de consideración, cómo está la ciudad de Medellín con respecto a la infraestructura activa de electrolineras



Para los participantes de la encuesta, es evidente la falta de infraestructura activa de electrolineras para impulsar la movilidad eléctrica, ya que el 74,5% de las personas dieron una puntuación menor o igual a 2 (máximo 5 y mínimo 1).

El aumento de la demanda de vehículos más amigables con el medio ambiente, como el transporte eléctrico e híbrido, ha generado un compromiso por parte de las empresas distribuidoras de electricidad de incrementar las estaciones de carga en todo el país y por parte del gobierno. Para seguir impulsando la movilidad sostenible, uno de los asuntos que una ciudad debe solucionar es garantizar la posibilidad de carga a los ciudadanos. Bogotá es la ciudad con más estaciones y puntos de carga eléctrica; le siguen ciudades como Cali, Medellín y Pereira (Gutiérrez Núñez, 2020).

La ley de vehículos eléctricos, emitida en julio de 2019 por el Congreso de la República, estableció que en tres años todos los municipios, con excepción de Buenaventura y Tumaco, deben tener cinco estaciones de carga y Bogotá debe tener 20 puntos. En Colombia, según Electromaps, hay 47 estaciones de carga y 114 conectores,

una suma bastante baja considerando que a septiembre de 2020 ya hay más de 8.000 vehículos híbridos y eléctricos en la vía (Gutiérrez Núñez, 2020).

Colombia está promoviendo la movilidad sostenible y de eficiencia energética, dando garantía de ello fue líder regional, incrementando las ventas de vehículos eléctricos en más de un 90%, superando a países como Chile y República Dominicana, pero esta ley no tiene cobertura para los vehículos híbridos, es decir, vehículos que combinan un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

A continuación, se presentan algunos de los beneficios propuestos por los entes gubernamentales en Colombia para impulsar la adquisición de vehículos eléctricos:

- Las tarifas aplicables para el impuesto sobre vehículos automotores no podrán superar el 1% del valor comercial del vehículo.
- Descuento en el valor de la Revisión Técnico-Mecánica y de emisiones de contaminantes.
- Descuento del diez por ciento (10%) en las primas del Seguro Obligatorio de Accidente de Tránsito (Soat).
- A nivel territorial podrá haber descuentos en el registro o impuesto vehicular, tarifas diferenciadas de parqueaderos o exenciones tributarias.
- Parqueaderos preferenciales.
- Beneficios en las restricciones a la circulación vehicular (pico y placa, día sin carro, restricciones por materia ambiental, entre otros).

A partir del análisis de las fuentes, se observa que para implementar la electromovilidad y especialmente los vehículos eléctricos, es necesario considerar las particularidades de cada una de las tecnologías, contemplando aspectos como: avances en la autonomía de los vehículos y la infraestructura de recarga en los centros urbanos,

diferentes tipos de baterías, evolución de los precios, capacidad de los países para las necesidades de producción o importación, políticas gubernamentales de incentivos para la introducción de estas tecnologías y los límites de las regulaciones ambientales.

En algunos casos, como Chile, Costa Rica y Colombia, la implementación de este tipo de tecnologías en la movilidad fue el resultado de la articulación interministerial del Estado (entre energía, transporte y medio ambiente) en conjunto con multitud de actores como las empresas de generación y distribución de energía, fabricantes de automóviles, el sector académico, las empresas petroleras y el sector minero, entre otros.

En el caso de Argentina, el uso de estas tecnologías se debió a la Asociación Argentina de Vehículos Eléctricos y Alternativos con otras asociaciones de sectores estatales, sindicales, académicos y privados. En Uruguay, los fabricantes de autos y emprendedores (start-ups) enfocados en movilidad eléctrica y la empresa estatal de distribución eléctrica (UTE) fueron los principales actores que articularon y desarrollaron la política de electromovilidad.

El ideal, en términos de movilidad eléctrica, es que los estados de cada país sean capaces de coordinar grupos de trabajo intersectoriales para la implementación de normativas y estándares consensuados en el marco de una estrategia común para la implementación de la movilidad eléctrica. En la Tabla 18 podemos ver un panorama de la situación de cada país en cuanto a regulaciones e incentivos para promover el mercado de vehículos eléctricos en la región.

Tabla 18*Resumen de normativas e incentivos por país, América Latina, 2018*

	Argentina	Uruguay	Brasil	Paraguay	Chile	Ecuador	Colombia	Costa Rica	México
Descuento/Exención arancelaria	X	X	X	X	N/A	X	X	X	X
Descuento/Exención IVA				X		X	X	X	
Descuento/Exención otros impuestos internos		X		N/A	N/A	X	X	X	X
Descuento/Exención matrícula/tenencia/circulación		X	X			X		X	X
Tarifas de electricidad preferenciales o gratis	X	X		X	X			X	X
Carriles preferenciales/zona de congestión						X	X	X	
Estacionamientos preferenciales					X	X	X	X	
Programa taxis eléctricos		X	X		X	X	X	X	X
Red de cargadores públicos (valores aproximados)	4	47	200	10	55	15	40	50	900

Fuente: (Isla et al., 2019).

Una polémica común en la literatura sobre las estrategias políticas y comerciales para promover la venta e implementación de los vehículos eléctricos en cada región es la disponibilidad de infraestructura de carga pública. Dada la inexistente infraestructura de carga, no tendría sentido contar con una amplia gama de vehículos eléctricos en el mercado. La mayor barrera para el crecimiento de las ventas de vehículos híbridos y eléctricos en Colombia sigue y seguirá siendo su elevado precio de venta, al igual que en Paraguay y Uruguay (Isla et al., 2019).

Discusión sobre la transición y evolución energética, hacia una ciudad inteligente

Esta investigación tuvo como propósito identificar y describir las experiencias de diferentes países y ciudades, en cuanto a la inclusión de normativas para la transición energética, así como sus evoluciones o avances hacia ciudades sostenibles.

Para iniciar esta discusión, se propone un análisis del mercado eléctrico colombiano en el que se evidencia una fuerte dependencia de la tecnología hidroeléctrica para la generación de energía, la cual se ve afectada por condiciones climáticas como el fenómeno de El Niño.

La dependencia excesiva que tiene Colombia de la energía hidroeléctrica pone al país en riesgo de escasez y lo somete a altos incrementos en los precios. Un ejemplo de esto fue la crisis energética causada por los eventos de El Niño en 1992 y 1993 o los altos precios de la energía registrados en 2009, 2010, 2013 y 2014, (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015). Estos eventos, relacionados con el cambio climático, ponen en peligro la confiabilidad y la prestación del servicio eléctrico en el país, lo cual exige dar soluciones a los desafíos de disponibilidad y confiabilidad energética y hacer frente al cumplimiento de los compromisos asumidos en los acuerdos del COP21 y el COP25. Todo esto requiere la planificación e incorporación de nuevos tipos de generación de energía no convencional, para lo cual es necesario mejorar y adaptar la regulación existente, incorporando los mecanismos e incentivos adecuados, para el desarrollo de redes inteligentes, como una solución a la descentralización y transición energética.

Actualmente el sector eléctrico se encuentra en una transición sin precedentes, lo cual implica no solo una transformación energética sino también una transformación digital que apalancará nuevas tecnologías, modelos de negocio y servicios. Para aprovechar estos avances tecnológicos, se requiere innovación regulatoria, política y financiera que permita acelerar la adopción de estas tendencias en el sistema nacional; y aunque en nuestro país

existen políticas y regulaciones con lineamientos emitidos para implementar e incentivar su despliegue, aun el país se encuentra en escalas bajas de desarrollo en cuanto a masificación de este tipo de tecnologías, en comparación con otros países del mundo e incluso en comparación con países de la misma región.

Con relación a la transición energética se evidenciaron 4 pilares fundamentales que el sistema político, social y eléctrico colombiano debe tener presente para la aceleración de la transición energética, estos son:

- Digitalización o transformación digital.
- Descarbonización.
- Descentralización de la energía.
- Gestión de la demanda energética.

Por lo general, la entrada de las FNCER en diferentes mercados energéticos es el resultado de una serie de políticas que eliminan las barreras para este tipo de generación, ya que su principal característica es que son asíncronas (fuentes de generación basadas en inversores, ejemplo energía solar y energía eólica), y que proporcionan condiciones diferentes a las características de las fuentes comunes o tradicionales en Colombia, las cuales son fuentes síncronas (fuentes de generación cuya velocidad de rotación depende de la frecuencia del sistema de potencia), entre estas barreras, las principales pueden ser económicas, regulatorias e institucionales.

En materia regulatoria, se ha identificado que el sector o gremio energético debe fortalecer su conocimiento de la Ley 1715 de 2014, centrándose en la integración de las tecnologías de generación de energía no convencional. Adicionalmente, se debe actualizar de forma permanente el conocimiento de las resoluciones que son emitidas y actualizadas por el ministerio de Minas y Energía, ya que en la encuesta se evidenció el poco conocimiento que se tiene al respecto. Por otro lado, se observa que es necesario fortalecer

la difusión de las políticas publicadas por parte del gobierno, ya que la escasa difusión puede ser responsable del desconocimiento que se tiene en el gremio.

Analizando los lineamientos regulatorios y sus diferentes variables y características, se evidencian tres actores fundamentales relacionados con la implementación de redes inteligentes para la evolución hacia las ciudades inteligentes:

Uno de ellos es la sociedad, la cual debe ser resiliente, responsable y flexible en su consumo de la energía, tomando consciencia frente a los cambios que se están presentando a nivel mundial como la lucha hacia la descarbonización, la mitigación del calentamiento global, el uso eficiente de la energía, entre otros.

Otro actor relevante es el gremio energético, ya que es necesario que cuente con mayores claridades acerca de los beneficios e incentivos que se pueden obtener con esta transición. De acuerdo con la encuesta se evidenció un alto grado de desconocimiento por parte de los participantes de este gremio (estudiantes de pregrado y posgrado, docentes universitarios, funcionarios públicos y empleados de la industria energética).

Un tercer actor es el gobierno, del cual se requiere un mayor compromiso en el ámbito regulatorio, en aspectos como la generación de incentivos para las personas y empresas que implementen energías no convencionales, así como la instauración de reglas estables en el tiempo en temas relacionados con el licenciamiento ambiental de los nuevos proyectos de generación de energía, especialmente con las FNCER ante la ANLA.

También se observa en los resultados de la encuesta la necesidad de que la población en general y, especialmente, el gremio energético, cuente con un mayor conocimiento de los requisitos técnicos con respecto a la protección y control en los sistemas de seguridad y confiabilidad para la inyección de energía a la red. También es indispensable una evaluación de las infraestructuras eléctricas existentes, que valore si dichas redes son viables o no para el uso de las redes inteligentes. Se observó la necesidad

de una base clara y justa en los cargos de respaldo por uso de la red eléctrica con base en el costo unitario de energía distribuida: Igualmente se requiere un proceso de legalización estandarizado para los operadores de red en cuanto a la participación del prosumidor, entre otros. Colombia debe asumir con todos estos retos, una ruta de desarrollo que permita acelerar la transición energética de la mano con la implementación de ciudades inteligentes.

Desde el contexto de la soberanía eléctrica, la justicia social y la mitigación del impacto ambiental en Colombia, el sistema energético debe enfrentar los nuevos desafíos que se requieren para atender la demanda.

Desde un punto de vista técnico, es necesario dotar a la red tradicional de las características de una red inteligente. Y desde un punto de vista legal, es fundamental crear un esquema normativo y regulatorio claro, que incentive el desarrollo de este tipo de tecnología, realizando integraciones sectoriales de forma masiva.

Recapitulando y resumiendo los resultados de la encuesta, se destacan 6 puntos clave en los cuales se debe trabajar para efectuar cambios o inclusiones de nuevos lineamientos en el marco regulatorio, estos son:

Criterios para la inclusión de las FNCER

Económicos

Implementación regulatoria para mercados P2P y fortalecimiento de la participación del consumidor minimizando los riesgos para los clientes y actores del mercado energético.

Masificar el despliegue de los DER

Activación efectiva y masiva del almacenamiento de energía, para alcanzar la descentralización de la energía y así masificar el uso de las FNCER, por ejemplo (incentivar proyectos con baterías de segundo uso).

Tarifa horaria

Aplicar normatividad a los esquemas de tarificación horaria y flexibilidad tarifaria, que permita al usuario final sacar provecho de la medición inteligente, de esta manera incentivar a los usuarios a cambiar sus hábitos de consumo, facilitando una mayor reducción de los costos energéticos. Es preciso tener en cuenta que para esto se necesita la masificación de los AMI (interoperables), igualmente en la red de telecomunicación.

Transformación digital

Implementar normativas que incentiven temáticas enfocadas hacia la cultura organizacional y el marketing digital de los servicios, asimismo mejorar la generación de conocimiento a partir de los datos, utilizando sistemas de aprendizaje de máquinas y el desarrollo de nuevos modelos de negocios basados en TIC, de esta forma generar políticas e incentivos para la innovación, especialmente con startups que desarrollen dispositivos de IoT.



Educación energética

Mejorar la capacidad científica en eficiencia energética y aumentar la innovación, especialmente en la creación de tecnologías para dar el mejor uso a la energía. La eficiencia energética se puede asegurar mediante la capacitación en conceptos de uso de fuentes de energías renovables y eficiencia energética dirigida a estudiantes de educación básica, así como a docentes de carreras técnicas, de pregrado y posgrado y así poder promover con criterio el uso eficiente de la energía.

Normatividad para la Ciberseguridad

Implementar normatividad para minimizar los riesgos informáticos (infraestructura crítica) enfocada en las redes inteligentes ya que son variados los riesgos, entre los que se destacan la manipulación de la información, la seguridad de la infraestructura y principalmente, dependiendo del tema de este trabajo, la privacidad del usuario.

Analizar la transición energética y el marco regulatorio para Colombia, comparándolo con otros países latinoamericanos y a nivel mundial, es una tarea difícil, ya que los países están compuestos por estructuras energéticas muy diferentes, con agendas divergentes y problemas económicos complejos. Este desafío se hace aún mayor porque lograr la transición energética es una tarea multisectorial que requiere una planificación nacional unificada y coordinada, ya que involucra a diferentes sectores. Asimismo, es importante destacar la participación social en las prioridades ambientales, y principalmente del sector energético, ya que la sociedad es fundamental para legitimar las iniciativas gubernamentales como promotoras de la protección del medio ambiente y de la evolución hacia las ciudades inteligentes y sostenibles.

Ruta propuesta para la transformación de Medellín en una ciudad inteligente

La transformación de una ciudad tradicional en una ciudad inteligente no es fácil, ya que exige el compromiso de líderes políticos, empresariales y de los mismos ciudadanos. Igualmente hay que considerar que no es tarea de una sola administración política, teniendo en cuenta que los proyectos para alcanzar los objetivos de una ciudad inteligente implican estrategias de cambio a largo plazo, por lo que requieren garantizar una estabilidad gubernamental que permita su progreso y continuidad pese a los cambios de administración.

Es alta la oportunidad que brinda la globalización para la construcción de ciudades inteligentes, a partir de la digitalización y las nuevas tecnologías, mediante los sistemas de transporte inteligentes, el control de los sistemas de consumo en servicios públicos y las plataformas de monitoreo, donde los protocolos de comunicación e información IoT “internet de las cosas” juegan un rol importante mostrando una mejora de los procesos y en el quehacer cotidiano.

Las ciudades inteligentes son una gran oportunidad para el crecimiento económico y social, estas tienen como objetivo optimizar la prestación de diversos servicios a la ciudadanía, como la gestión del suministro y consumo de energía y/o agua, la mejora del transporte y la movilidad, la seguridad ciudadana y la protección civil, entre otros aspectos. La calidad e integración de estos servicios es el objetivo principal de la transformación urbana.

Una de las metas de Medellín es convertirse en una ciudad inteligente en el mediano plazo, como parte de este proceso de transformación, se enfocó en mejorar la movilidad ciudadana, con la participación de empresas expertas en la gestión del centro de control, la infraestructura tecnológica, así como el software de optimización y gestión. La ciudad de Medellín está avanzando en el logro de las metas para llegar a ser una ciudad inteligente, gracias a proyectos como el Metro, el Tranvía y los teleféricos (Metrocable), que han hecho más eficiente el transporte con sus sistemas integrados y han promovido la educación vial y la seguridad ciudadana, contribuyendo a que los indicadores de calidad de vida de los vecinos de la ciudad de Medellín aumenten.

Otro aspecto para tener en cuenta es el aumento del número de vehículos en las grandes ciudades como Medellín, esto ha hecho que la movilidad y la gestión del tráfico sean una parte importante del desarrollo de las ciudades inteligentes. Por ello, el centro de control de tráfico de la ciudad es el pilar que permite la integración de una gran cantidad de información y el uso extensivo e intensivo de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Esta solución se ha convertido en un modelo a seguir y ha permitido a la región avanzar en el camino hacia las ciudades inteligentes. En Medellín la prioridad es el sistema de movilidad como primer logro, comparándose con ciudades a nivel mundial que tienen similitudes económicas y poblacionales, y siendo considerada como una de las ciudades inteligentes más importantes, por su estrategia de movilidad sostenible, gracias a

la implementación de la movilidad eléctrica, el uso de la bicicleta y la implementación de ciclovías, entre otros.

Después de tener un concepto más claro de lo qué se entiende por ciudad inteligente y del proceso que ha tenido la ciudad de Medellín para conseguirlo, se considerarán y propondrán más adelante algunos criterios, identificados a partir de los resultados de la encuesta, como aspectos necesarios para la transformación hacia una ciudad inteligente, antes de mencionarlos, es necesario destacar cuatro focos que se tuvieron en cuenta para la proposición de los lineamientos faltantes, estos son:

- **Sostenibilidad:** usando tecnologías digitales para reducir costos y optimizar el consumo y disposición de los recursos naturales.
- **Inclusividad y Transparencia:** entes gubernamentales con canales y/o sistemas de comunicación directos hacia los ciudadanos, con datos abiertos y que les permitan hacer seguimiento de sus ingresos y finanzas.
- **Riquezas como ciudad:** realizar convenios y sinergias para la generación de empleos de alta calidad, implementación de la innovación, competitividad y crecimiento de los pequeños negocios.
- **Una ciudad para los ciudadanos:** usar tecnologías digitales para mejorar la calidad de vida de las personas y dar acceso rápido a servicios públicos más eficientes, como la salud, el transporte y el entretenimiento, entre otros. (Bouskela et al., 2016).

En términos generales el compromiso es desafiar al sistema convencional y tradicional que se tiene actualmente para conseguir el cambio hacia una ciudad inteligente, sostenible y resiliente. Por ende, es preciso estar a la vanguardia frente a lo que se está proponiendo tanto en lo tecnológico como en lo social.

A continuación, se plantean los criterios propuestos, a partir del análisis de información y de los resultados de la encuesta, como ruta para la transformación de Medellín en una ciudad inteligente.

Hacia una Medellín Inteligente



Facilitar el acercamiento de la ciudadanía a los procesos políticos del gobierno para mayor eficiencia y transparencia en los procesos gubernamentales, además garantizar la educación hacia ciudadanos inteligentes.

Gobierno inteligente o Gobernabilidad
01



Masificación de redes de Internet de banda ancha (fijas y móviles), para recibir y enviar datos mediante sensores y dispositivos conectados. Además de la implementación de centros de control y gestión de las ciudades que integren en una sola área temática el tránsito, la seguridad, atención al público, situaciones de emergencia y alerta de desastres naturales.

Infraestructura de conectividad
03



Diseñar proyectos de ciudad con tecnologías modulares, expansibles y estándares
02



La meta de los gestores actualmente debe ser diseñar proyectos adecuados al tamaño de la ciudad, usando tecnologías modulares y expansibles para garantizar su continuidad y circularidad (economía circular).

Banco de datos públicos para enviar y recibir información de la población, entes gubernamentales y empresas asociadas a plataformas de datos, para facilitar la transparencia pública y la toma de decisiones mejorando la calidad de vida.

Interfaces de comunicación (servicios, portales web, aplicaciones móviles)
05



Digitalización de los servicios públicos
04



La digitalización de los servicios públicos es uno de los elementos que permiten optimizar recursos naturales y por ende la implementación de las redes inteligentes generando el punto de partida hacia a una Ciudad de Medellín Inteligente. (masificación y aceleración de los AMI).

Diseñar planes de Movilidad Urbana Sostenible que impliquen acciones y parámetros que puedan medir su eficacia, asimismo, incentivar e impulsar la incorporación y promoción de vehículos eléctricos y/o amigables con el ambiente, igualmente apoyarse en las TIC para monitorear aspectos relacionados con el tráfico y fomentar iniciativas para reducir el uso de vehículos privados, asimismo incentivar la ley 1811 DE 2016 (uso de la bicicleta) no solo a funcionarios públicos sino a todo ciudadano que se quiera acoger.

Movilidad inteligente
07



Edificios y urbanismo inteligente
06



Creación y vinculación de normas y/o legislaciones del ordenamiento urbano, teniendo como ruta la planificación sostenible con la inclusión de las energías renovables no convencionales y su digitalización, por ejemplo, la implementación de la norma internacional UNE-EN IEC 63044-3:2018 la cual contiene los requisitos generales para sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios (BACS). Otro ejemplo la implementación de la norma ANSI/BICSI 007-2020, Prácticas de implementación y diseño de tecnologías de la información y las comunicaciones para edificios e instalaciones inteligentes en Florida. EE. UU.

En resumen, las ciudades inteligentes se pueden considerar un ideal difícil de alcanzar para ciudades con bajo nivel de desarrollo que no han adaptado su sistema regulatorio y educativo para la inclusión de nuevas tecnologías. Sin embargo, los países incluidos en la presente investigación han demostrado que su “evolución o progreso” en políticas y estrategias de mercado, les han dado a las personas la oportunidad de mejorar su calidad de vida, así como promover la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente. Estas experiencias han permitido también incrementar la participación ciudadana en la toma de decisiones gubernamentales, asociadas al desarrollo de proyectos para ciudades inteligentes.

Las ciudades inteligentes reflejan el modelo de desarrollo impulsado por la industria del siglo XXI y actualmente por la cuarta revolución industrial. Por lo tanto, es preciso reducir la brecha entre los espacios rurales y urbanos. Esta cuestión es paradójica si consideramos que las áreas rurales hoy son vitales para el desarrollo urbano, ya que son la fuente de recursos y materias primas, y la concentración de infraestructuras para garantizar la calidad de vida de los centros poblados. El campo sigue siendo la base principal para el desarrollo de las ciudades y países sostenibles, aunque actualmente se están impulsando tecnologías para la generación de cultivos urbanos (Linares García y Vásquez Santos, 2018).

Conclusiones

1. Al analizar la literatura especializada sobre las consideraciones regulatorias que hayan llevado a países y/o ciudades a ser consideradas inteligentes, desde un punto de vista energético se identificaron variables que interfieren con el suministro y despliegue de energía renovable, las cuales son:

- a) Los costos de los equipos (devaluación de la moneda colombiana).
- b) El uso de recursos energéticos renovables que depende de la disponibilidad local (orografía).
- c) La variabilidad de la producción debido a la dependencia de los recursos naturales.
- d) El requisito de innovación técnica para el diseño de un sistema confiable (apoyo de incentivos para la innovación).
- e) Dificultad en el cumplimiento de las regulaciones asociadas a la implementación de redes inteligentes. Por ejemplo, la ciberseguridad como un tema regulatorio importante que el propietario de una red inteligente debe conocer cuando recopila información. Las potencias mundiales están trabajando en este tema, sin embargo, no se tienen muchas referencias al respecto.
- f) Los contratos de conexión e ingresos que son difíciles de establecer, además no están estandarizados.

2. Una de las falencias del marco regulatorio colombiano, para la inclusión de las redes inteligentes y el desarrollo energético de las ciudades inteligentes, es la integración e implementación de sistemas de almacenamiento de energía (baterías); ya que se trata de una tecnología nueva y no se cuenta con una regulación o normatividad madura, que permita establecer tasas y formas de pago para identificar los mecanismos de compra y venta de la energía; teniendo estos criterios más claros, este tipo de proyectos pueden ser más atractivos para su inversión.

Es fundamental tener presente que este tipo de tecnología de almacenamiento es ideal para implementar las energías renovables no convencionales, ya que puede minimizar los inconvenientes causados en la red de transmisión de energía por su rápida respuesta al CRF (Control Rápido de Frecuencia), permitiendo impulsar el despliegue de los DER simultáneamente con las redes inteligentes.

3. Uno de los problemas elementales y quizás más sensibles, que no se puede descartar para la transición energética y el progreso de ciudades energéticamente inteligentes, tiene que ver con las garantías transaccionales y legales de energía en el mercado energético. Específicamente en Colombia, el mercado “Peer-to-Peer” (P2P) no cuenta con una regulación clara para potencializar un nuevo modelo de economía descentralizada; es indudable que para lograr este tipo de desarrollo es necesario generar una cultura de gestión eficiente de la energía y hacer uso de las transacciones disruptivas (Blockchain). Se propone reformar el marco regulatorio para incluir este modelo de negocio, ya que actualmente los procesos de comercialización de energía no facilitan este modelo.

4. Una de las variables que intervienen en el marco regulatorio internacional y que pueden ser aplicadas en Colombia para la transición e inclusión de las FNCER, es el control de la GD, ya que, si los usuarios que pasan a ser energéticamente autónomos se desconectan de forma masiva de la red de servicios públicos, esto puede ocasionar problemas financieros para las empresas de servicios públicos, los operadores de sistemas de distribución y los usuarios que siguen conectados a la red. A medida que más clientes de electricidad optan por generar su propia energía, la demanda de energía del sistema disminuye. Como resultado, los costos fijos del sistema, así como los costos del servicio de transmisión y distribución, se tendrán que recuperar con menos ventas de kilovatios-hora (kWh), por parte de la empresa de servicios públicos, lo que podría aumentar las tarifas eléctricas. Los reguladores enfrentan el desafío de definir y prepararse para el impacto en los ingresos de la expansión fotovoltaica distribuida. De cara al futuro, será importante abordar los posibles impactos financieros en las

empresas de operadores de red responsables de garantizar que la infraestructura eléctrica respalde un servicio eléctrico confiable para los clientes.

5. Para la transición e inclusión de las FNCER en el marco regulatorio en Colombia, es recomendable implementar y tomar como base el marco de regulación RIIO del Reino Unido. Según la literatura consultada, este se fundamenta en Ingresos = Incentivos + Innovación + Productos, este principio pretende aportar a un mejor rendimiento energético y establecer los controles en los precios. Este marco es considerado como el sistema regulador más completo desarrollado hasta la fecha, ya que se destaca por:

- a. Inversiones en infraestructura para redes inteligentes, desde AMI hasta infraestructura de carga para vehículos eléctricos.
- b. Proyección de la expansión de energías renovables y vehículos eléctricos.
- c. Establecimiento de sistemas de alimentación de emergencia para vehículos eléctricos, a fin de garantizar e incentivar la movilidad eléctrica.
- d. Introducción de un sistema inteligente de gestión eléctrica.
- e. Generación de créditos con tasas de interés variables para la implementación de proyectos con energías renovables.
- f. Desarrollo de un sistema de normalización y certificación de tecnologías energéticas para promover su comercialización, investigación y desarrollo.

6. Se propone la modificación del marco regulatorio en Colombia, en lo respectivo al aumento de inyección de energía de los autogeneradores de pequeña escala (de 100 kW a 300 kW). Esto basado en la experiencia chilena donde la actualización de la nueva Ley 21.118 nombrada NetBilling permite la instalación de proyectos de hasta 300 kW de energías renovables para autoconsumo, conectados a la red de distribución. Esta ley se promulgó en noviembre de 2018 y sustituye a la antigua Ley 20.517, la cual limitaba la potencia de los proyectos a 100 kW, el objetivo del NetBilling fue impulsar la utilización de energías renovables no convencionales,

ofreciendo beneficios monetarios a los usuarios y empresas. Además, se destacaron algunas iniciativas del Ministerio de Energía, que han apoyado la conformación de *public private agreements* (Las asociaciones público-privadas = APP), el cual es un mecanismo para que el gobierno adquiera e implemente infraestructura y/o servicios públicos utilizando los recursos y la experiencia del sector privado.

NetBilling tiene como objetivo aprovechar al máximo la producción del sistema solar fotovoltaico para cubrir en parte el creciente consumo diario de electricidad, permitiendo una reducción de costos. Asimismo, este tipo de generación de energía es un factor clave para optimizar los costos operativos en la agricultura y otros sectores manufactureros, igualmente el cambio en la normativa ha posibilitado la existencia de estacionamientos solares en las zonas centro del país, aprovechando la modificación de la ley. Esto puede ser considerado como una buena iniciativa para el despliegue de las electrolineras en Colombia y así impulsar la movilidad eléctrica.

7. Una de las falencias identificadas en el marco regulatorio que rige el mercado energético es la falta de implementación de los mercados intradiarios, un mecanismo financiero adoptado en Europa que mejora la posición de despacho de fuentes de energías renovables variables (solar fotovoltaica y eólica), gestiona la demanda flexible, aprovecha las condiciones meteorológicas en tiempo real y funciona como mitigador de riesgos para los esquemas de tarifas renovables.

De acuerdo con la teoría y los casos presentados en esta investigación y con base en el estudio llamado “estrategias para la implementación de esquemas de señales de precios y cargos horarios a los usuarios finales en el SIN, para ser utilizados en programas de respuesta de la demanda” (Estudios Energéticos Consultores, 2020), presentado ante la CREG, se recomienda la implementación de tarifas variables de acuerdo con el horario de consumo. La buena práctica regulatoria recomienda el uso de tarifas binomias las cuales consisten en la aplicación de cargos variables por energía y cargos fijos por potencia o capacidad contratada. Una gran ventaja de esto es que permite la fijación de tarifas al costo marginal del servicio, recuperando los costos fijos

a través de un cargo fijo. De esta manera para Colombia se recomiendan las estructuras tarifarias de tarifa plana híbrida y CBL + ToU, sin embargo, para la aplicación de tarifas más complejas como la ToU dinámica, es necesaria la *alfabetización eléctrica* de los usuarios.

8. Se recomienda incentivar la fabricación de tecnologías y dispositivos renovables locales, un gran ejemplo de esto es China; ya que, el bajo costo de sus equipos ha sido el principal promotor de la implementación de energías renovables no convencionales, mucho más allá de cualquier incentivo económico en Asia.

9. Analizando la tabla 19, *niveles de tensión, rangos de potencia incentivos y tipos de fuente de energía para la GD*, en Estados Unidos existen proyectos virtuales de NetMetering, los cuales consisten en hacer un balance neto, midiendo con un sólo contador a varios consumidores, que comparten un huerto, granja o plantas solares comunitarias. A pesar de que la normativa que les aplica varía de un estado a otro, en función de crédito, plazos de compensación entre otros. Es una buena iniciativa para Colombia tomar como ejemplo estos proyectos con su respectiva regulación y/o normatividad, ya que ayudarían a impulsar la inclusión de las FNCER, descentralizando el sistema energético y de esta manera evolucionando a ciudades inteligentes.

10. Otra de las recomendaciones que esta investigación podría aportar al marco regulatorio colombiano, es la creación de un fondo para el cambio climático, similar al implementado en México donde se creó una Ley General de Cambio Climático en el 2012 que establece las directrices para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. Este fondo tuvo gran influencia para crear proyectos de eficiencia y sostenibilidad energética en Municipios apoyados por el BID. Su implementación podría representar un aporte significativo para la inclusión y evolución de las FNCER en las ciudades colombianas.

11. Es claro que toda ciudad es única y que cada administración encamina la implementación de tecnologías según su criterio y necesidad, sin embargo, es posible

destacar el avance en la transformación de Medellín en una ciudad inteligente, de acuerdo con los siguientes aspectos:

- a. Proyectos piloto de Iluminación regulada para reducir costos energéticos (uso de sensores).
- b. Tarjetas inteligentes para ciudadanos, como tarjetas de transporte (cívica).
- c. Sistemas de movilidad basados en bicicletas compartidas y sus sistemas integrados (Implementación de nuevas rutas).
- d. Abastecimiento eficaz de agua, gestión eficiente de la energía (alumbrado público... etc.) y una buena, aunque mejorable, gestión de los residuos.

En Medellín preexisten una serie de inconvenientes estrechamente relacionados con el aspecto tecnológico que pueden provocar retrocesos en la evolución y expansión de la ciudad, los inconvenientes identificados en la encuesta son:

- a. Poca financiación por parte de la administración, ya que se requiere una importante inversión en tecnología.
- b. Altos costos en la adquisición de bienes raíces para la construcción de grandes proyectos de implementación de energías renovables.
- c. Bajo nivel adquisitivo de los ciudadanos para la implementación de energías renovables en sus hogares (si bien se están implementando proyectos que otorgan beneficios para ello, como es el caso de kits de energía solar de Comfama).
- d. Baja cobertura en la conectividad y velocidad de internet para la implementación de las tecnologías necesarias para la generación, distribución y consumo de energía.

12. Para la transformación de Medellín en una ciudad inteligente, se recomienda implementar un sistema educativo o informativo para la ciudadanía, que se encamine a una cultura de “ciudadanos inteligentes” o Smart Citizen; ya que son los ciudadanos quienes interactúan con la ciudad inteligente de diferentes formas; por ejemplo: al

reciclar residuos, ahorrar energía y utilizar nuevas tecnologías. En definitiva, son ellos quienes, gracias a las nuevas tecnologías, son capaces de gestionar su entorno y sin su cooperación activa no es posible llevar a cabo estas iniciativas de ciudad; este punto en especial se evidenció en los resultados en la encuesta.

13. Mediante el análisis de los resultados de la encuesta, se identificaron innegables barreras para el desarrollo de proyectos de eficiencia energética las cuales pueden ser afrontadas y superadas por los entes gubernamentales, estas son:

- Falta de liderazgo, competencias y conocimiento para la implementación y desarrollo de proyectos sobre el uso racional de la energía.
- Poca divulgación de la relación costo – beneficio que ofrece la implementación de las FNCER.
- Desconocimiento de la industria frente a la correlación entre productividad y eficiencia energética.
- Temor a una normativa cambiante en el corto plazo, que pueda generar incertidumbres para la inversión.

14. Otra de las falencias identificadas en Colombia para la inclusión de las redes inteligentes es que la normatividad no define claramente los criterios y responsabilidades para su implementación y operación segura. Estas claridades normativas son indispensables para que las redes inteligentes atiendan de manera apropiada y correcta las necesidades y requerimientos actuales, tanto del operador de red como de los usuarios.

15. A partir de la literatura analizada y los resultados de la encuesta, se presentan a continuación algunas recomendaciones a tener en cuenta para la implementación y buena operación de las redes inteligentes:

- a. Obtener y masificar tecnologías y programas de analítica de datos estandarizados (machine learning, deep learning) para lograr esquemas de control de redes más eficientes.

- b. Implementar y regular la digitalización, con el fin de tener un control ante los fabricantes, operadores del sistema, dueños de los activos, usuarios finales, entre otros. Asimismo, implementar herramientas digitales para optimizar la gestión de las redes eléctricas.
- c. Masificar la integración de tecnología IT&OT (tecnología de la información y operación) para tener mayor control de las redes inteligentes.

Referencias

- Abreus Aguilar, O. E. (2014). *Propuesta de una Subestación 110/34,5 Kv en la zona de Cartagena* [Tesis de posgrado, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas].
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/914/Oscar%20%20Ernesto%20Abreus%20Aguilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvaro Hermana, R. y Larrea Basterra, M. (2018). La transición energética en Francia. *Cuadernos Orkestra*, (44).
- Alvarado López, R. A. (2018). Ciudad inteligente y sostenible: hacia un modelo de innovación inclusiva. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 7(13).
<https://doi.org/10.32870/pk.a7n13.299>
- Amar Flórez, D. (2016). *Estudios de casos internacionales de ciudades inteligentes*. BID: Banco Interamericano de Desarrollo.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estudios-de-casos-internacionales-de-ciudades-inteligentes-Medell%C3%ADn-Colombia.pdf>
- Ambientalia. (5 de junio de 2017). *Gases de efecto invernadero sacuden a Medellín, la ciudad innovadora de Colombia*. <http://www.ambientalia.com.co/gases-efecto-invernadero-sacuden-medellin-la-ciudad-innovadora-colombia/>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *Cierre de período de gestión de episodio de contaminación atmosférica*. <https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/cierre-de-periodo-de-gestion-de-episodio-de-contaminacion-atmosferica.aspx>
- Área Metropolitana del Valle de Áburrá. (s.f.). *Calidad y cobertura*. Recuperado el 18 de octubre de 2021, de <https://www.metropol.gov.co:443/la-movilidad/transporte-p%C3%BAblico/calidad-y-cobertura>
- Arteaga, F. (9 de julio de 2019). *Ciberseguridad y seguridad integral en el sector energético*. Real Instituto Elcano.
http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_es/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/ciberseguridad/ari83-2019-arteaga-ciberseguridad-y-seguridad-integral-en-el-sector-energetico

- Asociación Mercosur de Normalización. (s.f). *AES eletropaulo anuncia o maior projeto de smart grid do país*. Obtenido de <https://www.amn.org.br/HomeSite/NoticiasSelecionada?idNoticia=68&titulo=AES-Eleetro>
- Bancoldex. (s.f.). *Programa de eficiencia energética, seguro de ahorros de energía*. <https://www.bancoldex.com/soluciones-de-credito-y-garantias/programa-de-eficiencia-energetica-seguro-de-ahorros-de-energia-3414>
- Bancolombia. (s.f.). *Leasing sostenible*. Obtenido de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/productos-servicios/leasing/leasing-sostenible>
- Bartel, W. R. (2014). *CenterPoint Energy Houston Electric, LLC: Smart Grid Project*. U.S Department of Energy. https://www.energy.gov/sites/default/files/2017/07/f35/CenterPoint_Houston_Project_Description.pdf
- Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., y Facchina, M. (2016). *La ruta hacia las Smart Cities: migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente*. BID: Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-ruta-hacia-las-smart-cities-Migrando-de-una-gesti%C3%B3n-tradicional-a-la-ciudad-inteligente.pdf>
- Capehart, B. L. (20 de octubre de 2016). *Distributed Energy Resources (DER). Whole Building Design Guide*. <https://www.wbdg.org/resources/distributed-energy-resources-der>
- Charris Redondo, L. J. (2019). *Modelos de Ranking para Medir Ciudades Inteligentes*. Institución Universitaria Itsa. <https://www.itsa.edu.co/docs/RANKING-SMART-CITY.pdf>
- Colado, S., Gutierrez, A., Vives, C.J. y Valencia, E. (2014). *Smart City: hacia la gestión inteligente*. Marcambo.
- Contreras Lisperguer, R. (2020). *Análisis de las tarifas del sector eléctrico: los efectos del COVID-19 y la integración energética en los casos de la Argentina, Chile, el Ecuador,*

México y el Uruguay. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46512/1/S2000721_es.pdf

Corporación Ruta N (2015). *Observatorio CT+i: Área de oportunidad en Medición Inteligentes*.

(N.o 1). <http://www.brainbookn.com/>

Corporación Ruta N. (2018). *Observatorio CT+i: oportunidades y tendencias tecnológicas para los negocios del futuro*. (N.o 1). Fintech.

https://colombiafintech.co/static/uploads/5dfcf04105bbe69e1ed0e596_Informe-Fintech1.pdf

Cummings, M. (25 de julio de 2016). *Distributed Generation: What Are the Benefits?*. Energy

Alabama. <https://alcse.org/distributed-generation-benefits/>

Deloitte y Fortinet. (2020). *Ciberseguridad en el sector eléctrico: amenazas para sistemas TI y*

OT. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pe/Documents/risk/cl-ciberseguridad-en-el-sector-electrico-diciembre-2020.pdf>

Dufresne, V., Langlois, P., Couture-Roy, M., Flamand, S., Nour, S. y Econoler Incorporated.

(2012). *Programas de Financiamiento de Eficiencia Energética*. BID: Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Gu%C3%ADa-A-Programas-de-financiamiento-de-eficiencia-energ%C3%A9tica-Conceptos-b%C3%A1sicos.pdf>

Durán Suárez, C. A. (2017). Oportunidades de las empresas de servicios energéticos, en el

mercado de la eficiencia energética de la industria colombiana [Tesis de Maestría, Universidad Escuela de Administración de Negocios].

<https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/9055/DuranCesar2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Energy. (s.f.) *Energy and smart cities*. European Commission.

https://ec.europa.eu/energy/topics/technology-and-innovation/energy-and-smart-cities_en

Engerati. (20 de noviembre de 2014). *Grid Integration Of Renewables – Five Top Projects*.

<https://www.engerati.com/energy-retail/grid-integration-of-renewables-five-top-projects/?register=success>

Expatistan. (2021). Precio de Abono mensual del transporte público en Medellín.

<https://www.expatistan.com/es/precio/transporte-publico/medellin>

Estudios Energéticos Consultores. (2020). Estrategias para la implementación de esquemas de señales de precios y cargos horarios de los usuarios finales en el SIN, para ser utilizados en programas de respuesta de la demanda. CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas.

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/5d44ab7a34e3a42a052586620063ceab/\\$FILE/Circular001-2021%20Informe.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/5d44ab7a34e3a42a052586620063ceab/$FILE/Circular001-2021%20Informe.pdf)

Eurostat. (marzo de 2019). *Estadísticas sobre ciudades europeas*.

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Statistics_on_European_cities#Population

Fernández Gómez, J. y Menéndez Sánchez, J. (2019). Las redes inteligentes y el papel del distribuidor de energía eléctrica. *Cuadernos Orkestra*, (54).

<https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/redes-inteligentes-energia-electrica.pdf>

Fundación Endesa (s.f.) *Smart city*. <https://fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-city>

Geels, F. W., Kern, F., Fuchs, G., Hinderer, N., Kungl, G., Mylan, J., Neukirch, M., y Wassermann, S. (2016). The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Research Policy*, 45(4), 896-913.

<https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.015>

Gestión de Tendencias e Innovaciones TIC. (2018). *Análisis de tendencia TIC, Smart Living*.

Departamento administrativo de tecnologías de la información y las comunicaciones.

- Giral Ramírez, W. M., Celedón Flórez, H. J., Galvis Restrepo, E. y Zona Ortiz, A. T. (2017). Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: revisión de tema. *Revista Tecnura*, 21(53), 119-137. doi: 10.14483/22487638.12396
- Girouard, C. (30 de mayo de 2019). *UK RIIO sets out to demonstrate how a performance-based regulatory model can deliver value*. Utility Dive.
<https://www.utilitydive.com/news/uk-riio-sets-out-to-demonstrate-how-a-performance-based-regulatory-model-ca/555761/>
- Gómez, V. A., Hernández, C. y Rivas, E. (2018). La Influencia de los Niveles de Penetración de la Generación Distribuida en los Mercados Energéticos. *Información tecnológica*, 29(1), 117-128. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000100117#:~:text=El%20despliegue%20de%20generaci%C3%B3n%20distribuida,adicionales%20en%20la%20pol%C3%ADtica%20econ%C3%B3mica.
- González López, Á. J. (2012). *Gestión de la energía en una red inteligente* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14698/PFC_Angel_J_Gonzalez_Lopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guillén Olague, A. (2020). *Ciberseguridad en el sector energético y vulnerabilidades en las instalaciones de energía renovable*. AMER: Asociación de Empresas de Mantenimiento de Energías Renovables. <https://aemer.org/wp-content/uploads/2020/05/Ciberseguridad-en-el-sector-energ%C3%A9tico-y-vulnerabilidades-en-las-instalaciones-renovables-preliminar.pdf>
- Gutiérrez Gómez, A. y García Rendón, J. J. (2021). Fuentes de energía renovable, recursos energéticos distribuidos y almacenamiento en Colombia: una revisión de la normatividad. *Documentos de trabajo Economía y Finanzas, Universidad EAFIT*, 21(01), 1-29. <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/24809/WP-2021-01-%20Jhon%20Garcia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Gutiérrez Núñez, A. (27 de octubre 2020). *Conozca cuál es la oferta de estaciones de carga eléctrica en el territorio colombiano*. La República.

<https://www.larepublica.co/especiales/movilidad-sostenible/conozca-cual-es-la-oferta-de-estaciones-de-carga-electrica-en-el-territorio-colombiano-3078021>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. McGraw Hill.

Hernández Vidal, J. (3 de mayo de 2019). Marco jurídico de las energías renovables en Colombia. Estudio Legal Hernández.

<https://estudiolegalhernandez.com/energia/marco-juridico-de-las-energias-renovables-en-colombia/>

Iberdrola. (s.f). *Proyecto STAR: un referente mundial de eficiencia en inversiones en redes y contadores inteligentes*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/conocenos/lineas-negocio/proyectos-emblematicos/proyecto-star>

Isla, L., Singla, M., Rodríguez Porcel, M. y Granada, I. (2019). *Análisis de tecnología, industria, y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.

https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/An%C3%A1lisis_de_tecnolog%C3%ADa_industria_y_mercado_para_veh%C3%ADculos_el%C3%A9ctricos_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es_es.pdf

La Network. (11 de febrero de 2020). *Prueba piloto de energía transaccional se pone en marcha en Medellín*. <https://la.network/prueba-piloto-de-energia-transaccional-se-pone-en-marcha-en-medellin/>

Lee, Y, Paredes, J. R. y Lee, S. H. (2012) Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles. BID: Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Las-redes-inteligentes-de-energ%C3%ADa-y-su-implementaci%C3%B3n-en-ciudades-sostenibles-RG-T2058.pdf>

Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. 13 de mayo de 2014.

Linares García, J. y Vásquez Santos, K. (2018). Ciudades inteligentes: ¿materialización de la sostenibilidad o estrategia económica del modelo neoliberal? *El Ágora USB*, 18(2), 479-495. DOI: <http://dx.doi.org/10.21500/16578031.3134>

Lipovsky, R. y Cherepanov, A. (5 de enero de 2016). *El troyano BlackEnergy ataca a una planta de energía eléctrica en Ucrania*. WeLiveSecurity. <https://www.welivesecurity.com/la-es/2016/01/05/troyano-blackenergy-ataca-planta-energia-electrica-ucrania/>

López-Vázquez, J. C. (2016). Estudio de la situación actual de las Smart Grids [Tesis de pregrado, Universidad de Cantabria]. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9143/386883.pdf>

Lucera. (2021). Las tarifas de luz a precio de coste: luz a precio de coste en todos los tramos. <https://lucera.es/tarifas-luz>

Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y futuro de Colombia*. Colombia. <https://www.minenergia.gov.co/en/libro-transicion-energetica;jsessionid=YWaougPabTiQxTGwdOh7QQoF.portal2>

Moovit Insights. (s.f.). *Estadística de transporte público de Medellín: patrones de viaje por tren ligero, metro, autobús y tranvía de Medellín, Colombia. Análisis, uso de datos e información*. https://moovitapp.com/insights/es-419/Moovit_Insights_%C3%8Dndice_de_Transporte_P%C3%BAblico_Colombia_Medellin-1642

Newen Solar. (2018). *Taller energía solar aplicada hasta a 10 Kw*. <https://www.newensolar.cl/taller-n1-energia-solar-fv-aplicada-hasta-10-kw/>

Resolución 030 de 2018 [Ministerio de Minas y Energía; Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG]. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. 26 de febrero de 2018.

Resolución 070 de 1998 [Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG]. Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional. 28 de mayo de 1998.

Resolución 097 de 2008. [Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG]. Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local. 26 de septiembre de 2008.

Resolución 122 de 2003. [Comisión de Regulación de Energía y Gas, CREG]. Por la cual se regulan aspectos comerciales del mercado mayorista de energía eléctrica en el SIN. 18 de diciembre de 2003.

Ofgem. (s.f.). *Controles de precios de red y rendimiento (2013 - 2023)*.

<https://www.ofgem.gov.uk/network-regulation-riio-model>

Ontiveros, E., Vizcaíno, D. y López Sabater V. (2016). *Las ciudades del futuro: inteligentes, digitales y sostenibles*. Fundación Telefónica.

Recovery Act Smart Grid Programs. (2016). Advance Metering Infrastructure and Customer System. Results from the smart grid investment grant program. Office of Electricity Delivery and Energy Reliability.

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf

RISE. (2017). *Regulatory Indicators for Sustainable Energy*. <https://rise.worldbank.org/>

Routio, P. (2007). Planificar un estudio empírico.

<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/244.htm#gantt>

Sistema de Información Eléctrico Colombiano [SIEL]. (2018). Estadísticas y variables de generación.

<http://www.siel.gov.co/Inicio/Generaci%C3%B3n/Estad%C3%ADsticasyvariablesdegeneraci%C3%B3n/tabid/115/Default.aspx>

Tecnológico de Monterrey. (s.f.). Smart grid: las redes eléctricas del futuro. Laboratorio Binacional para la Gestión Inteligente de la Sustentabilidad Energética y la Formación Tecnológica. <https://energialab.tec.mx/es/smart-grid-las-redes-electricas-del-futuro>

Téllez Gutiérrez, S. M., Rosero García, J. y Céspedes Gandarillas, R. (2018). Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), 469-488. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v36n2/2145-9371-inde-36-02-469.pdf>

Trashorras Montecelos, J. (2017). *El futuro eléctrico*. Creaciones Copyright S.L.

Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. doi 978-958-8363-26-4
http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

Useros Fernández, J. L. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71-98.

Valora Analitik. (2 de julio de 2021). *Adjudican a Canadian Solar convocatoria de almacenamiento con baterías en Atlántico*.
<https://www.valoraanalitik.com/2021/07/02/adjudican-canadian-solar-convocatoria-almacenamiento-baterias-atlantico/>

Velasco-Ramírez, E., Ángeles-Camacho, C., y García-Martínez, M. (2013). Redes de transmisión inteligente. Beneficios y riesgos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(1), 81-88. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72227-3](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72227-3)

Vida Sostenible. (s.f.). *Pero, ¿qué son las ciudades inteligentes?*.
<http://www.vidasostenible.com/informes/pero-que-son-las-ciudades-inteligentes/>

XM. (2017). Propuesta de requerimientos técnicos para la integración de fuentes de generación no síncrona al SIN-XM. Consejo Nacional de Operación.

XM, (2019) pronóstico de demanda en Colombia.
<https://www.xm.com.co/Paginas/Consumo/pronostico-de-demanda.aspx>

Zapata, J. V. y Vesga, I. E. (30 de junio de 2021). *UPME da inicio a subasta de almacenamiento de energía con baterías en Colombia*. Holland & Knight.

<https://www.hklaw.com/en/insights/publications/2021/06/upme-da-inicio-a-subasta-de-almacenamiento-de-energia-con-baterias>