

**ESTUDIO DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS
SMART GRIDS EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO**

MARCELA JIMÉNEZ CASTRILLÓN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEDELLÍN

2013

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS *SMART*
GRIDS EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

MARCELA JIMÉNEZ CASTRILLÓN

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Industrial

Directora

ANA CECILIA ESCUDERO ATEHORTÚA. I.M; M.Sc

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEDELLÍN

2013

NOTA DE ACEPTACIÓN-

Firma

Nombre

Presidente del jurado

Firma

Nombre

Presidente del jurado

Firma

Nombre

Presidente del jurado

Medellín, 17 de diciembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Retribuyo principalmente a mi familia: padres, hermanos, sobrinos, amigos, por el apoyo que me brindan para alcanzar mis sueños, tanto académicos como de la vida misma. Y a mis padres principalmente por la formación y constante dedicación en hacer de mí una profesional en todo el sentido de la palabra.

De manera especial, agradezco a la profesora Ana Cecilia, por su paciencia y disponibilidad, por abrirme las puertas a su conocimiento y por la dedicación que implicó realizar este trabajo de grado.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	12
RESUMEN	14
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1. DEFINICIÓN DE <i>SMART GRIDS</i> (REDES INTELIGENTES)	17
1.2. <i>SMART GRIDS</i> EN EL MUNDO Y SU IMPLEMENTACIÓN	19
1.3. <i>SMART GRIDS</i> EN COLOMBIA	27
2. MAPA DE APLICACIONES	30
2.1. HOGARES	30
2.1.1. <i>Análisis en tiempo real</i>	31
2.1.2. <i>Domótica</i>	32
2.1.3. <i>Electrodomésticos inteligentes</i>	33
2.2. TRANSPORTE	34
2.2.1. <i>Carros eléctricos</i>	34
2.2.2. <i>Motos eléctricas</i>	39
2.2.3. <i>Montacargas eléctricos</i>	40
2.2.4. <i>Buses eléctricos</i>	41
2.3. ALUMBRADO PÚBLICO	42
2.4. GENERACIÓN DISTRIBUIDA	44
2.4.1. <i>Generación eólica</i>	45
2.4.2. <i>Generación Solar</i>	45
2.4.3. <i>Cogeneración en la industria</i>	46
3. EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO	48
3.1. GENERADORES	50
3.2. TRANSPORTADORES	50
3.3. DISTRIBUIDORES	51
3.4. COMERCIALIZADORES	52
3.5. USUARIOS REGULADOS	52
3.6. USUARIOS NO REGULADOS	53

4. BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE <i>SMART GRIDS</i> EN EL CONTEXTO COLOMBIANO.....	55
4.1. BARRERAS TÉCNICAS.....	56
4.2. BARRERAS ECONÓMICAS.....	60
4.3. BARRERAS POLÍTICAS Y REGULATORIAS.....	61
5. ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE <i>SMART GRIDS</i>	66
5.1. PERCEPCIÓN DE LOS USUARIOS FINALES.....	68
5.1.1. USUARIOS REGULADOS - RESIDENCIALES.....	70
5.1.2. USUARIOS NO REGULADOS - INDUSTRIALES.....	78
5.1.3. CONSULTA CON EXPERTOS	83
5.1.3.1. <i>Respuesta a los Mecanismos de participación - Experiencia internacional</i>	84
5.1.3.2. <i>Conclusiones de la consulta con expertos</i>	94
6. MECANISMOS PROPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE <i>SMART GRIDS</i> EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO	96
7. CONCLUSIONES	98
ANEXOS.....	110
ANEXO 1. ENCUESTA A USUARIOS REGULADOS - RESIDENCIALES	111
ANEXO 2. ENCUESTA A USUARIOS NO REGULADOS - INDUSTRIALES ...	115

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Resumen estructura del trabajo
- Figura 2. Dominios de las *Smart Grids* – Isla de Jejú
- Figura 3. Numero de automóviles alternativos en el mundo por OEM, *newcomers* y algunas *start-ups*
- Figura 4. Algunas *start-ups* y fabricantes de automóviles eléctricos en algunos países
- Figura 5. Cinco estrategias (cambiantes) de los fabricantes
- Figura 6. Esquema del Mercado Eléctrico Mayorista en Colombia
- Figura 7. Red convencional vs Red inteligente
- Figura 8. Beneficios de una generación propia
- Figura 9. Beneficios de la red
- Figura 10. Funciones de electrodomésticos inteligentes
- Figura 11. Conexión de electrodomésticos
- Figura 12. Bondades de una casa inteligente
- Figura 13. Costo de instalación de domótica
- Figura 14. Recuperación de inversión de generación propia
- Figura 15. Generación eléctrica más viable
- Figura 16. Barreras para la generación distribuida
- Figura 17. Bondades de un edificio inteligente

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Motos eléctricas vs Motos a gasolina

TABLA DE SIGLAS

Sigla	Descripción
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
STN	Sistema de Transmisión Nacional
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia
IEA	<i>(International Energy Agency)</i> Agencia Internacional de Energía
SCADA	<i>(Supervisory Control And Data Acquisition)</i> Supervisión, control y adquisición de datos
RTP	<i>(Real Time Pricing)</i> Facturación en tiempo real
V2G	<i>(Vehicle to grid)</i> Del vehículo a la red
DR	<i>(Demand Response)</i> Respuesta a la demanda
DMS	<i>(Data Management System)</i> Sistemas de gestión de datos
EMS	<i>(Energy Management System)</i> Sistemas de gestión de la energía y seguridad
IDEA	Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
AEP	<i>(American Electric Power)</i> Empresa eléctrica
SIN	Sistema Interconectado Nacional
ABB	<i>Asea Brown Boveri</i> Empresa
BP	<i>British Petroleum</i> Empresa
LED	<i>(Ligth - Emitting Diodo)</i> Diodo emisor de luz
FAZNI	Fondo de Atención a las Zonas No Interconectadas
MW	<i>Megawatios</i>
OEM	<i>(Original Equipment Manufacturer)</i> Fabricante de equipos originales
UGE	<i>Urban Green Energy</i> Empresa

GLOSARIO

La 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)

Consumidor: Para todos los efectos, tendrá el significado del artículo 14.33 de la Ley 142 de 1994. (Fuente. R. CREG-057-1996; Art. 1)

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 (Fuente: R. CREG-070-1998; Anexo)

Medidor: Es el aparato 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. (Fuente: R. CREG-070-1998; Anexo)

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.(Fuente: R.CREG - 097- 2008; Art 1)

Nodo: Punto donde se conectan físicamente varios elementos de un sistema eléctrico. Normalmente es el barraje de una subestación. (Fuente: R. CREG - 097-2008; Art 1)

Usuario: 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. (Fuente: R.CREG - 097- 2008; Art 1)

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. (Fuente: R. CREG-122-2003; Art. 1)

Newcomers: Empresas emergentes

Start-ups: Es un término utilizado actualmente en el mundo empresarial que traduce arrancar, emprender o simplemente montar un nuevo negocio y hace referencia como su nombre lo indica a ideas de negocio que apenas empiezan o están en construcción, es decir, son empresas emergentes apoyadas en la tecnología y la calidad con un alto nivel de proyección, a pesar de su corta

trayectoria y a la falta de recursos o financiación que puede enfrentar un negocio cuando apenas empieza. (Cultura E, 2013)

Original Equipment Manufacturer - OEM: Empresa que compra un producto, e incorpora o re marca en un nuevo producto bajo su propio nombre.

INTRODUCCIÓN

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.

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, los estándares de calidad y la seguridad del suministro” (Isaac, I. 2012). Y donde entre los objetivos principales se encuentra que todos los usuarios conectados a la red puedan ser participantes activos de ella.

El objetivo de este trabajo es identificar las barreras para la implementación de esta tecnología en el mercado colombiano, la percepción que tienen los usuarios finales de la red, para determinar su aceptación y los mecanismos que pueden contribuir para superarlos.

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.

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 desde el campo de la ingeniería industrial, atendiendo al perfil que lo define como un profesional capaz de “integrar con éxito conocimientos administrativos y técnicos para la optimización de los recursos humanos, físicos, económicos y de información requeridos por los diferentes procesos empresariales.” (UPB, 2013)

Según la UPME - Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (Enero, 2012): “Si bien es cierto 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”, por lo que de ser posible la ejecución de este tipo de tecnología en el país los denominados usuarios (tanto regulados como no regulados) serán beneficiados en la medida que el uso eficiente de la energía eléctrica se verá reflejada en los pagos de facturas de menores unidades monetarias.

RESUMEN

Este trabajo pretende identificar las barreras para la implementación de la tecnología *Smart Grids* en el mercado colombiano, la percepción que tienen los usuarios finales de la red sobre ella, para determinar su aceptación y los mecanismos que pueden contribuir para superarlos.

Para ello fue necesario realizar una búsqueda de información y consulta del concepto de *Smart Grids*, su estado en el mundo, y luego en Colombia.

El alcance de este trabajo se centra en el usuario final ya que es él en el que recae la responsabilidad en la evaluación de la viabilidad de implementación, es por este motivo que se analizan las aplicaciones de las *Smart Grids* en: Hogares, Transporte, Alumbrado Público y Generación

Posteriormente, se identificaron las principales barreras de tipo: técnicas, económicas y políticas que impiden la implementación de *Smart Grids* en un mercado como el colombiano.

Luego se realizó un análisis de viabilidad para la implementación de la mencionada tecnología, con la aplicación de encuestas y entrevistas que permitieran conocer la percepción que tienen los usuarios finales de la red (residenciales e industriales), y una consulta con expertos del sector que ayudó finalmente a determinar unas condiciones favorables para la implementación de *Smart Grids* en el mercado eléctrico colombiano.

PALABRAS CLAVE: *Smart Grids*, Mercado eléctrico, Usuarios finales, Mecanismos de implementación.

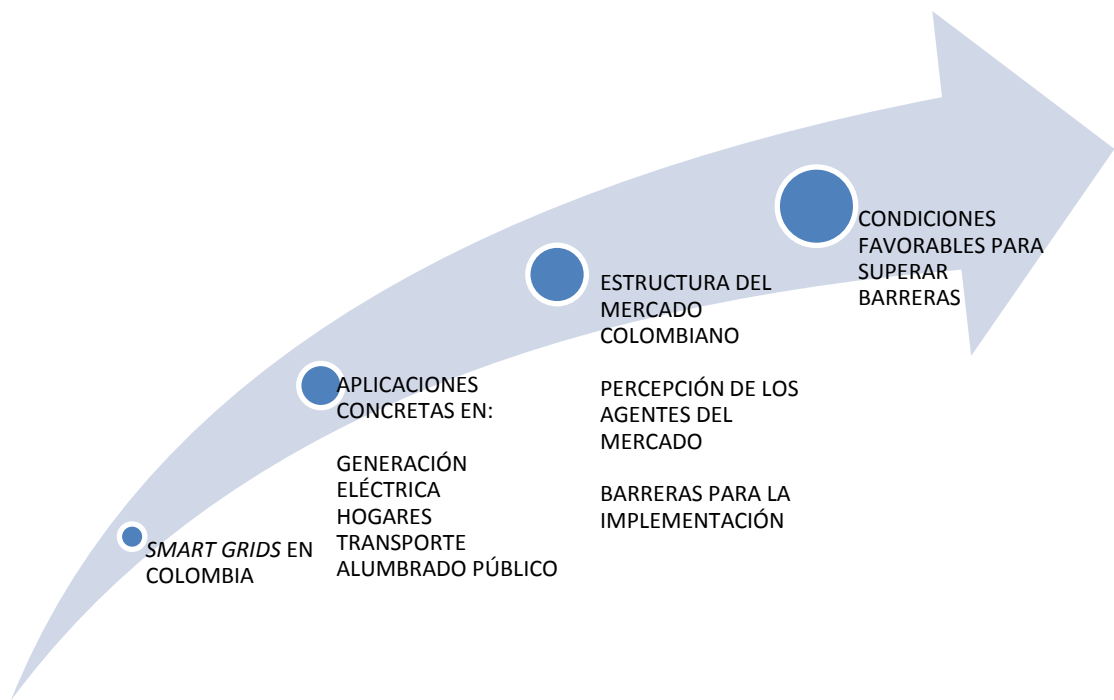


Figura 1. Resumen estructura del trabajo

ABSTRACT

This paper aims to identify barriers to the implementation of *Smart Grids* technology in the Colombian market, the perception of the end users of the network on it, to determine its acceptance and the mechanisms that can contribute to overcome.

It was necessary to perform a search for information and consultation of the concept of Smart Grids, their status in the world, and then in Colombia.

Because of the magnitude of this technology and its components, it was defined for purposes of this monograph a map application, which concentrated around specific scenarios for the development of the same: homes, transport, street lighting and distributed generation, were finally affecting directly to end users of the market.

Later, we identified the main barriers of type: technical, economic and political, that prevents the implementation of Smart Grids in a market like Colombia.

Then performed a feasibility analysis for the implementation of that technology, with the use of surveys and interviews that allow to know the perception of network end users (residential and industrial), and consultation with experts of the sector, who helped finally to determine favorable conditions for the implementation of Smart Grids in the Colombian electricity market.

KEYWORDS: Smart Grids, Electricity market, End users, Implementation mechanisms.

1. MARCO TEÓRICO

Para implementar la tecnología de *Smart Grids* (Redes eléctricas Inteligentes) en el caso específico de Colombia, es necesario entender una serie de conceptos, y conocer el estado en que se encuentra esta configuración tecnológica en el mundo y en el país. Se debe tener además claridad de los escenarios factibles para su implementación y la dinámica del mercado eléctrico colombiano y sus agentes, tomando como eje principal al usuario final.

1.1. DEFINICIÓN DE *SMART GRIDS* (Redes Inteligentes)

Varios autores comienzan a definir el concepto de *Smart Grids* en el mundo, permitiendo entender de manera clara qué son, su razón de ser, importancia y utilidad.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), una *Smart Grids* es una red eléctrica “que utiliza tecnologías digitales y formas avanzadas de monitoreo y gestión del transporte de electricidad desde todas las fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de los usuarios. Coordina las necesidades y potencial de todos los generadores, operadores de red, consumidores y participantes del mercado para operar todo el sistema, lo más eficientemente posible, minimizando costos e impactos ambientales, maximizando la confiabilidad, la resiliencia y la estabilidad del sistema”.(Céspedes, R. 2012)

Otro autor la define 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, los estándares de calidad y la seguridad del suministro” (Isaac, I. 2012).

Las *Smart Grids* son un sistema interconectado de tecnologías de información y comunicación con tecnologías de generación, transmisión y distribución de electricidad y de uso final que tiene el potencial de: permitir a los consumidores gestionar su uso y escoger las ofertas de suministro de energía más eficientes económicamente, mejorar la confiabilidad y estabilidad del sistema de suministro a través de la automatización, y mejorar la integración en el sistema de las alternativas de generación más benignas para el medioambiente, incluidos recursos renovables y almacenamiento de energía.

Sus principales características tienen que ver con la participación activa de los usuarios, diferentes opciones de generación y almacenamiento, operación eficiente, nuevas tecnologías y productos, interacción con vehículos eléctricos o híbridos, entre otras. “Una red inteligente puede denotarse como una red eléctrica inteligente al estilo de internet.

En vez del modelo actual de grandes centros productores, se busca un sistema digital y auto controlado, capaz de relacionar pequeños centros, ajustarse a la demanda, informar automáticamente de cualquier fallo de suministro y de desconectar automáticamente luces y aparatos superfluos mediante un sistema de redes inalámbricas. El objetivo: aprovechar al máximo la energía.” (Rodríguez, A. 2009).

Diferente a las redes tradicionales, las *Smart Grids* posibilitan que por la red eléctrica pueda transmitirse información y datos, y no sólo energía (Villanueva,

2012), y además que se integren componentes complementarios, subsistemas, funciones y múltiples servicios a los usuarios bajo control.

Así pues, las *Smart Grids* necesitan de una infraestructura de energía, información y comunicación, que comprenda sistemas de gestión, control y protección de fallas, seguridad y privacidad, con un enfoque directo a los servicios que pueda obtener u ofrecer el usuario final.

1.2. SMART GRIDS EN EL MUNDO Y SU IMPLEMENTACIÓN

Los avances y resultados en el desarrollo de *Smart Grids* en el mundo han sido más visibles en unos países que en otros, pues aunque existen muchos proyectos e investigaciones relacionados con el tema, su desarrollo es indiscutiblemente evidente en donde tales proyectos son ejecutados, como es el caso particular de Corea del Sur, en la Isla de Jejú.

Smart Grids: Isla de Jejú

Para esta prueba pionera se planteó un macro proyecto en el desarrollo de *Smart Grids*, que implicaba desde la generación de energía hasta el usuario final en una “cadena inteligente” de principio a fin.

Inicialmente fue latente un problema del país, pues importaban el 97% de su energía y ocupaban los primeros puestos del ranking de importación de petróleo en el mundo, con el agravante de las altas tasas de crecimiento de consumo de

energía. Fue en este punto donde se plantearon el reto de reducir las emisiones de dióxido de carbono al 30% para el año 2020.

Un punto a favor fue el compromiso gubernamental, pues asignaron el 2% del PIB para estimular proyectos verdes, y plantearon una Ley *Smart Grids* en 2010.

El proyecto inició en 2008, y comenzaron a designar a Corea como país líder en *Smart Grids* en el G8. Para efectos del banco de pruebas de Jejú en 2010, se formó un consorcio. Posteriormente se lanzó un Mapa de ruta, y se pusieron en marcha las etapas del banco de pruebas.

El proyecto RI en Corea definió principalmente 5 dominios de las *Smart Grids*: *Smart Power Grids*, *Smart Renewables*, *Smart Transportation*, *Smart Market* y *Smart Consumer*.

- *Smart Power Grids* (Transmisión Inteligente).

Consiste especialmente en instalar sensores en la etapa de transmisión de la energía, permitiendo la adquisición de datos de la red y todo lo referente a las comunicaciones de la misma. Además de Subestaciones Inteligentes, donde los dispositivos electrónicos inteligentes son los principales actores. Seguido a ello, la distribución inteligente soportada en un software SCADA (Control de supervisión y adquisición de datos, por sus siglas en inglés) el cual permite controlar y supervisar procesos a distancia.

Este primer dominio (*Smart Power Grids*) no está contemplado en el alcance de este trabajo dado que no responde a una participación directa del usuario final sino que tiene que ver con la infraestructura de la red.

- *Smart Renewables* (Renovables Inteligentes).

Se fundamenta en aumentar la penetración y aumentar la autosuficiencia en renovables, estabilizando la variabilidad de la energía eólica con sistemas de gestión de la energía – EMS (Sistema de gestión de la energía, por sus siglas en inglés), con predicción del recurso, la carga, optimización, sistemas de visualización, simulación y control; y sistemas de gestión de la potencia. Además de la implementación de micro redes de diferentes maneras, sea sin renovables, con renovables, aisladas o interconectadas.

- *Smart Transportation* (Transporte Inteligente).

Tiene como meta para el 2030, alcanzar en todo el país los 2.5 millones de vehículos eléctricos con 27.000 estaciones de carga, mediante el desarrollo de tecnología de partes y componentes como motores, baterías, entre otros, infraestructura de carga como cargadores convencionales y rápidos, y tecnología vehículo a la red (V2G).

- *Smart Market* (Mercado inteligente).

Tiene como meta a 2020 que los usuarios puedan seleccionar su propio plan tarifario y a 2030 que el 30% de los usuarios participen del mercado. Para que esto sea posible se apoyan en la información de precios en tiempo real – RTP (Real Time Pricing, por sus siglas en inglés), la gestión de la demanda DR (Demand Response, por sus siglas en inglés) y en proveer servicios adicionales a través de las telecomunicaciones.

- *Smart Consumers* (Consumidores inteligentes).

Se plantea la meta de a 2030 reducir un 10% la demanda y reemplazar a 2020 todos los medidores análogos por inteligentes, impactando de esta manera los Productos (Medidores inteligentes, electrodomésticos, renovables y almacenamiento), las

Soluciones (plataformas inteligentes, DMS – Sistemas de gestión de datos, EMS – Sistemas de gestión de la energía y seguridad), las Redes (alámbrica e inalámbrica, *link* con los servicios bancarios) y los Servicios (medición inteligente, eficiencia y cuidado de la energía, convergencia). (Isaac, 2012).

En la siguiente figura se puede visualizar el horizonte que plantea este proyecto a 20 años, desde los diferentes dominios:

	Fase 1 (2010-2012)	Fase 2 (2013-2020)	Fase 3 (2012 -2030)
	Demostración y desarrollo de operación (Verificación técnica)	Extensión amplia de área (inteligencia de los consumidores)	Terminación nacional de Redes inteligentes (Toda la red eléctrica inteligente)
Transmisión Inteligente	Transmisión Inteligente - basada en desarrollo tecnológico	Desarrollo urbano del transporte eléctrico inteligente	Operación de la red inteligente a nivel nacional
Consumidores inteligentes	Desarrollo de la infraestructura de información de precios en tiempo real	Infraestructura de medición avanzada	Infraestructura avanzada de medición basada en la comercialización de la red
Transporte Inteligente	Desarrollo de la infraestructura de carga	Adquisición de tecnologías V2G - Vehículo a la red y VPP - Central eléctrica virtual	Generalización del servicio de transporte
Renovables Inteligentes	Desarrollo y demostración de la plataforma de Generación de renovables inteligentes	Adquisición de tecnologías vinculadas a nuevas energías renovables inteligentes	Nuevas energía renovables de gran escala soportadas en el desarrollo de infraestructura
Servicios eléctricos inteligentes	Respuesta de los recursos de desarrollo del sistema operativo de la demanda en tiempo real	Desarrollo del sistema de comercialización de energía inteligente	Comercialización de electricidad integrada y desarrollo de servicios
Dominios de las Smart Grids →	Infraestructura Verificación técnica y operativa	Usuario Incorporación y expansión	País Consolidación

Figura 2. Dominios de las *Smart Grids* – Isla de Jejú

Traducción de: http://www.cocme.org/ac/images/stories/mesa_u/09-iai.pdf

Como es evidente, el proyecto de Jejú es uno de los más avanzado en el mundo, sin embargo hay otros países como los del continente europeo, que también se han interesado en el desarrollo de las *Smart Grids*, e introduce además una iniciativa llamada *Smart City (Ciudades Inteligentes)*. En el Mapa Tecnológico de “Ciudades inteligentes” el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, y el IDEA

- Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía del mismo país (2011), plantea que esta iniciativa de ciudades inteligentes se centra en la problemática de sostenibilidad de las ciudades actuales y, más específicamente, de los sistemas energéticos (*European Commission*, 2010). En este caso, una *Smart City* se define implícitamente como una ciudad que mejora la calidad de vida y la economía local, avanzando hacia un futuro bajo en emisiones de CO₂.

Una *Smart City* tiene tres características principales que hacen referencia al: cuidado del medio ambiente y correcto uso de las TIC, apuntando así a un desarrollo sostenible. En el Observatorio Tecnológico de la Energía, del Mapa Tecnológico Ciudades (Octubre, 2011) muestran en detalle los proyectos más representativos que giran en torno al tema de Ciudades Inteligentes:

- ***Smart City Malta***

Se desarrolla en el emplazamiento de *Ricasoli Industrial Estate* en Malta. Comenzó en 2006 y sigue en curso. El proyecto incluye un desarrollo que comprenderá zona de oficinas, zona residencial, ocio, hoteles y otras instalaciones e infraestructuras, con un mínimo de 103.000 m² de espacio de oficinas, y con 8.000 m² de área bruta construida. Se está desarrollando teniendo en cuenta los siguientes campos de actuación: energía, transporte, materiales de construcción, contexto local, social y económico. La inversión mínima estimada son 300 millones de dólares

- ***Smart City Málaga***

La zona elegida para implantar *Smart City* es el Paseo Marítimo de Málaga.

Comenzó en 2009 y sigue en curso. Es un proyecto pionero donde se aplican nuevos sistemas y tecnologías para reducir el consumo eléctrico implicando a 300 clientes industriales, 900 de servicios y 11.000 clientes. Se pretende conseguir una integración óptima de las fuentes renovables de energía en la red eléctrica, acercando la generación al consumo a través del establecimiento de nuevos modelos de gestión de micro-generación eléctrica. El proyecto tiene previsto instalar nuevos contadores inteligentes desarrollados en el marco de la tele gestión para hacer posible un consumo eléctrico más sostenible. Además, la instalación de sistemas avanzados de telecomunicaciones y telecontrol permitirán actuar en tiempo real y de forma automática sobre la red de distribución, haciendo posible una nueva gestión de la energía y potenciando la calidad del servicio.

El presupuesto para este proyecto son 31 millones de euros.

- **Proyecto *Smart Grids City***

Situado en Boulder, Colorado. Inició en el año 2008. Este proyecto se basa fundamentalmente en el desarrollo de una red inteligente que dará cobertura a mil usuarios, a la que se le irán añadiendo otros elementos como los vehículos eléctricos. La red inteligente crea la columna vertebral que soportará el resto de sistemas. Los medidores inteligentes (*Smart meters*) son un enlace fundamental entre las viviendas y la red. Estos dispositivos recogen los datos de consumo eléctrico y la página web "*MyAccount*" facilita información detallada a los usuarios sobre su comportamiento energético. Los dispositivos empleados son termostatos y enchufes "inteligentes" con capacidad de comunicarse con la red.

Como próximos pasos se propusieron las siguientes actividades complementarias: pruebas con diferentes "*home energy devices*" (dispositivos de energía en el hogar),

uso de diferentes tarifas eléctricas según la franja horaria y pruebas en carretera de vehículos híbridos eléctricos enchufables, entre otros.)

El presupuesto total es superior a 100 millones de dólares. Financiado en gran medida por la “*Colorado Public Utilities Commission*” (Comisión de servicios públicos de Colorado)

- **Proyecto *Ohio Grids Smart***

Desarrollado en Ohio, desde el año 2007. Este proyecto se basa en crear un sistema de comunicaciones bidireccional entre la empresa eléctrica (AEP – *American Electric Power*) y los consumidores, lo que permite un uso más eficiente de la electricidad. *AEP Ohio* cambió los contadores eléctricos tradicionales por nuevos contadores digitales (*Smart Meters*) en 2010, (un total de 110.000 contadores eléctricos). Durante el proyecto se pretende probar otras tecnologías como: vehículos híbridos eléctricos “enchufables” (2 Prius y 1 Ford), sistemas de almacenamiento comunitario de energía, elementos de generación distribuida (70 kW en paneles fotovoltaicos), elementos web y dispositivos informativos, etc. El objetivo es cuantificar el impacto de dichos elementos en la red eléctrica inteligente (*Smart Grids*).

El objetivo principal es instalar cinco millones de contadores inteligentes (*Smart meters*) para el año 2015. A demás busca determinar si los gastos de estos dispositivos superan los beneficios a obtener. El presupuesto del proyecto se sitúa en torno a los 150 millones de dólares, con una ayuda de 75 millones de dólares recibida del Departamento de Energía de EE.UU.

Es cierto entonces que el desarrollo de estos proyectos en el mundo supone inversiones del orden de los 100 millones de dólares, y son financiados por múltiples entidades tanto del ámbito público como el privado.

1.3. SMART GRIDS EN COLOMBIA

En Colombia se cuenta con una iniciativa del sector conocida como “Colombia Inteligente”, con la cual se pretende alinear y articular gran parte de los proyectos que tengan como eje central el desarrollo de *Smart Grids*.

En la Propuesta Proyecto Nacional de Redes Inteligentes en Colombia (Marzo, 2011) se plantea que se han identificado como pilares fundamentales, el sector de energía y su subsector eléctrico como la parte vital para desarrollar e implantar los desarrollos que se logren. Como áreas de soporte que se requieren en todos los sectores, se han reconocido las siguientes: las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), la formación de recurso humano, las resoluciones que emita el regulador (CREG) y las políticas de estandarización y normalización nacionales e internacionales.

Colombia Inteligente proyecta entonces unas fases para el desarrollo de *Smart Grids* en el país, comenzando con la Conceptualización, para entender la importancia de este tipo de sistemas, las bases teóricas que la fundamentan, y las experiencias internacionales que sirven como guías para crear un mapa de ruta y luego contextualizarlo en la realidad del país. Seguido del Desarrollo (12 años aproximadamente) para integrar al modelo colombiano nuevos tipos de tecnología. Y finalmente, la Consolidación, donde se espera que para este periodo de tiempo

exista una cultura energética orientada a los sistemas eficientes y a la masificación de la tecnología. (Colombia Inteligente, 2012)

Sobre dicho tema han avanzado tanto en apropiación conceptual como en investigación, Universidades como la de Antioquia, Nacional de Colombia, Los Andes y Pontificia Bolivariana, mediante trabajos de grado y trabajos investigativos con un enfoque hacia el desarrollo de las *Smart Grids* en Colombia.

Y de esta manera se hace indiscutible la necesidad de investigar las particularidades del mercado de energía eléctrica en Colombia y plantear esquemas para la introducción de dicha tecnología, pues finalmente es el mercado mismo quien la acepta o la rechaza.

Una de las configuraciones que más impacta una red eléctrica es la Generación Distribuida, por lo tanto, se constituye en un componente clave de una red inteligente. Teniendo en cuenta que en Colombia la participación de los recursos hidráulicos en la capacidad instalada neta del Sistema Interconectado Nacional - SIN representan el 64%, el 30.8% es representado por los recursos térmicos, y el 5.2% es compartido por los cogeneradores, eólicos, entre otros (XM S.A. E.S.P, 2012); cuando se habla de *Smart Grids*, es necesario pensar en las diferentes alternativas de energía que podrían integrarse al convencional modelo de redes conocido en la actualidad.

Dentro de la generación distribuida cabe hablar de casi cualquier tipo de generación de energía siempre y cuando la generación esté del lado del mismo consumidor, pero para el caso concreto de Colombia, al aterrizar este concepto según las condiciones ambientales, económicas, de infraestructura y otros factores que influyen en la implementación de tales tipos de generación de energía, y para el desarrollo de este trabajo se hablará de generación distribuida para las

tecnologías: eólica, solar fotovoltaica y cogeneración en la industria (esta última amplía el posible uso de fuentes no renovables).

Teniendo entonces una visión del estado de las *Smart Grids* en Colombia y en el mundo, y las diferentes aplicaciones y ámbitos en los que esta tecnología puede incursionar, para efectos de este trabajo el paso siguiente consiste en trazar un mapa de aplicaciones de interés definidos desde el punto de vista y afectación del usuario final como puede verse en el siguiente capítulo.

2. MAPA DE APLICACIONES

Las *Smart Grids* implican hablar de una Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización inteligentes de energía. Sin embargo, el alcance de este trabajo se centra en el usuario final como pilar en la evaluación de la viabilidad de implementación. Se clasificaron entonces según el ámbito de atención de las *Smart Grids* las siguientes aplicaciones: Hogares, Transporte, Alumbrado Público y Generación (se refiere al concepto de Generación Distribuida) con el fin de ilustrar su estado actual, y cómo desde sus diferentes perspectivas pueden afectarlos las *Smart Grids*.

2.1. HOGARES

El componente Hogares hace referencia a las aplicaciones que las *Smart Grids* ofrecen a los usuarios residenciales, quienes son los consumidores reales de los servicios y beneficios que estas implican en la cotidianidad de las personas.

Uno de los principales objetivos de las *Smart Grids* es volver a los usuarios finales participantes más activos dentro de la red eléctrica y brindándoles nuevos servicios, pero para que esto sea posible se hace necesario la incorporación de diferentes tipos de tecnología, como tecnologías de telecomunicación y equipos que las soporten para lograr el cometido.

Entre estos principales servicios, se destacarán el análisis en tiempo de real de la red, la domótica, y los electrodomésticos inteligentes.

2.1.1. Análisis en tiempo real

“El análisis en tiempo real de la red es la combinación de circuitos informáticos modelando y analizando en tiempo real los consumos de los clientes y los datos de la fuente de alimentación para determinar las tensiones y corrientes en todos los elementos (líneas, equipos, dispositivos) en la red.” (Miranda, 2008)

Este análisis se hace continuamente para determinar las características de la red, con el fin de tener una gestión activa de la misma, además de calcular en el presente y el corto plazo los valores de elementos que no son medidos y controlados en tiempo real en la actualidad e informar y mostrar los datos medidos en formatos y plataformas para gestionarlos de manera activa.

Para poder llevar a cabo este análisis en tiempo real, se hace necesario el uso de los llamados Medidores Inteligentes, pues son los que soportan esta toma de datos desde el punto de vista técnico.

- **Medidor Inteligente**

"Es un dispositivo que incluye Metrología y módulo de comunicaciones. Estos componentes suelen estar integrados en una sola unidad física adecuada para la instalación de una base de medición estándar." (Laiz, 2012)

Entre sus principales funciones está permitir comunicación bidireccional entre el medidor y el sistema central; registrar en tiempo real magnitudes eléctricas para realizar la facturación y/o análisis del uso de la energía, realizar cortes y reposiciones del suministro y la posibilidad de interconectarse con otros equipos o sistemas (medidores de agua, gas, electrodomésticos, etc.).

Además, con la incorporación de generación distribuida a la red, se puede afectar la calidad de la energía con variaciones de tensión, y estos medidores inteligentes permiten controlar y manejar estas eventualidades.

2.1.2. Domótica

“La Asociación Española de Domótica define a la domótica como el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, además de aportar seguridad, confort y comunicación entre el usuario y el sistema”.(Ríos, 2011)

La domótica es aplicable a construcciones residenciales, pero cuando se aplica en otras construcciones recibe diferentes nombres, como por ejemplo en edificios es inmótica y en ciudades es Urbótica.

Este tipo de tecnología sigue la misma línea de las *Smart Grids*, en donde se busca la interacción de todos los componentes del sistema con miras a la eficiencia energética, a los nuevos servicios que pueda obtener el usuario final y el mejoramiento de la calidad de vida.

En Colombia la penetración de la tecnología domótica ha sido lenta, y se le atribuye este comportamiento principalmente a sus altos costos de instalación. Sin embargo, el periódico el Tiempo de Colombia, afirma que “La gran ventaja es que la gran mayoría de los sistemas domóticos son inalámbricos y por eso se reduce mucho el costo de la obra civil. Los estudios a nivel mundial corroboran que por cada dólar invertido en automatización el inmueble se valoriza 7.” (El Tiempo, 2010)

2.1.3. Electrodomésticos inteligentes

En un hogar, el principal gasto de energía está asociado a los artefactos eléctricos electrónicos y a los electrodomésticos. Estos últimos en los hogares colombianos actualmente pueden llamarse convencionales, pues han sufrido pequeños cambios a través de la historia, pero no han sido significativos en términos de innovación, pues sus sistemas son muy rudimentarios.

Si se habla de *Smart Grids*, es necesario mencionar que quienes participen en la red también lo deben ser, es decir, aparece de forma paralela el concepto de electrodomésticos inteligentes.

La nueva generación de electrodomésticos bajo tecnología digital como lo pueden ser frigoríficos, lavadoras, lavavajillas, hornos, microondas, secadoras, entre otros combinan las funciones tradicionales de cada uno de ellos con sistemas de automatización y control adicionales a través de internet o aplicaciones de los ya incursionados en el mercado teléfonos inteligentes (*Smart Phones*). (Montecinos, 2011). Estos electrodomésticos, conocidos como electrodomésticos inteligentes, estarán interconectados a través de la red de control y la pasarela residencial (dispositivo que conecta infraestructuras de telecomunicaciones del hogar a una red pública, por ejemplo de telecontrol como la domótica) (Hogar digital, 2010), pudiendo intercambiarse información y comunicarse los unos con los otros.

Estos electrodomésticos, por sus necesidades de potencia, deberán ser conectados a la red eléctrica. Por otro lado, los nuevos electrodomésticos se suelen caracterizar por una alta eficiencia, un bajo nivel de ruido, un bajo consumo y la incorporación de sistemas de ahorro energético. Además su conexión con una red eléctrica inteligente facilitará la medición en tiempo real y permitirá al usuario final responder a los precios de la energía y controlar su consumo para así obtener ahorro.

Marcas reconocidas como LG y Samsung comienzan a abrir sus portafolios de productos inteligentes, con electrodomésticos con conectividad Wi-Fi a *los Smart phones*, como neveras, aspiradoras, lavadoras, robots para la limpieza de pisos y hornos microondas principalmente.

Aunque se debe tener en cuenta que pese a que estas empresas son optimistas en el futuro de este tipo de artefactos, en la actualidad no son productos predominantes en el mercado debido a sus altos costos y rapidez en obsolescencia. (Taylor, 2012).

2.2. TRANSPORTE

Todos los tipos de transporte tales como: público, privado, masivo o particular en Colombia pueden verse afectados con la incursión de nuevas tecnologías, y por esta razón se hará una revisión de los diferentes vehículos que podrán cambiar su curso tradicional. Carros, motos, buses y montacargas eléctricos serán los implicados en el desarrollo de este trabajo.

2.2.1. Carros eléctricos

En la actualidad la mayoría de carros en el planeta funcionan con motor de combustión interna a gasolina, y por cuestiones ambientales básicamente es que los grandes fabricantes y el mundo en general retoman la idea de masificar el uso de los carros eléctricos de los cuales se ha hablado desde el siglo anterior. De ser así, se tendrá un impacto en la demanda de energía eléctrica y la configuración de las redes.

“Varias veces en el pasado, se anunció el desarrollo de motorizaciones alternativas, especialmente la motorización del carro eléctrico. Cada vez, los diferentes intentos fueron un fracaso”. Esa es la razón por la que Frédéric Fréry pudo escribir en el año 2000 que el coche eléctrico es un producto “eternamente emergente”. (Freyssenet, 2011).

Freyssenet plantea que hoy la nueva revolución del automóvil es creíble, cambiando por completo la arquitectura, geografía, economía, geopolítica y sociología del automóvil, y definiendo a esta industria como una joven industria con mucho por hacer, en donde en tres años, el número de vehículos híbridos, híbridos recargables y eléctricos que están en venta, en desarrollo o en proyecto ha crecido de manera considerable (Figura 3).

	Automóvil híbrido	Automóvil recargable	Automóvil eléctrico
En venta 2011	19	3	57
En desarrollo	36	12	46
En proyecto	19	10	62

Figura 3. Numero de automóviles alternativos en el mundo por OEM, *newcomers* y algunas *start-ups* (censo no exhaustivo, enero 2010).

Fuente: Freyssenet (2011). Recuperado 20-09-2012, de <http://www.freyssenet.com>

También se evidencia la creación de muchas nuevas empresas, especialmente de automóviles eléctricos, por parte de actores muy diversos: fabricantes de baterías, grupos aeronáuticos, productores de aluminio, entre otros, y nuevos fabricantes de automóviles de India o de China. (Figura 4).

País	Start-ups	Proveedores	Nuevos fabricantes	Otros
Estados Unidos	Tesla, Zap, Fisker, Think, Phoenix, Segway, ELV, E-Z-Go, Li-Ion Motors, Global Green Cars	Jonhson Control		Miles Electric, GEM, Toro, Balqor, Corp, Google
Canada	Nemo	Magna		
Francia	Venturini, Goupil, Eco&Mobility, Exagon Motors, Akka Technologies, Induct, APIC Design	Bolloré, SVE Dassault, Michelin		Heuliez, FAM, Aixam, Lumineo, GEM, Innovep, J-P, Andruet, Ligier-Matra
Alemania	E-Wolf, Ruf, Innovative, Streetscooter			
Italia	Micro-Vett, K-Way Motus			Tazzari, Effedi, Piaggio, Pininfarina, Biro, Alke
España	Afaipada, Comarth, TeyCars, Ecologic Tesur Cars, Ecovehicles			
Suiza	Protoscar, RinSpeed			
Gran Bretaña	Stevens Vehicles, Lightning, Nice car, Murray, Smith Electric	GNK		Lotus, Modez
Suecia	Koenigsegg, EV adapt			
Japón	SIM-Drive, Takaynagi			
India	Reva		Tata, Mahindra	
China	Eagle, MyCar, Yulon		BYD, Geely, Chery, Tianjin Qingyuan, Beijing Auto, Chana,	

Figura 4. Algunas *start-ups* y fabricantes de automóviles eléctricos en algunos países
(censo no exhaustivo, enero 2011)

Fuente: Freyssenet (2011). Recuperado 20-09-2012, de <http://www.freyssenet.com>

El autor concluye entonces que países, como Gran Bretaña, Suiza, Holanda, Canadá, Sudáfrica, que no tienen ya o que nunca han tenido fabricantes nacionales, esperan ver desarrollarse nuevamente una industria automóvil gracias a los vehículos eléctricos. La mayor parte de esas nuevas empresas son *starts-up*, y

se limitan en realidad a producir para nichos de mercado, o a vender sus inventos y sus conocimientos técnicos a las grandes empresas automovilísticas históricas.

Finalmente identifica que los países que más esfuerzos están uniendo en la fabricación de carros eléctricos son Estados Unidos, Canadá, China, India, Francia, España, Portugal, Belga, Holanda, Gran Bretaña, Dinamarca, Suiza e Israel. Y que las cinco estrategias en que los fabricantes más reconocidos en todo el mundo tienen prioridad, son las que presentan en la figura 5, estando la mayoría de ellas interesadas en el carro eléctrico

Combustibles menos contaminantes	Híbrido versus híbrido recargable	Progresivamente todos los tipos de motores	Híbrido recargable y eléctrico	Eléctrico
Fiat Volvo	Toyota Honda Mazda Hyundai Porsche Chery	Ford PSA Volkswagen Daimler BMW	GM Mitsubishi BYD	Renault, Nissan Chrysler, Geely Tianjin, Qingyan Beijing auto Chana, Foton Hafei, Lifan Zotye, Tata Mahindra Casi todos los start-ups

Figura 5. Cinco estrategias (cambiantes) de los fabricantes

Fuente: Freyssenet (2011). Recuperado 20-09-2012, de <http://www.freyssenet.com>

En Colombia específicamente en Bogotá, la Secretaría de Movilidad adelanta un plan piloto con 50 taxis eléctricos y así mismo, 250 vehículos eléctricos más (del sector privado) estarían rodando en el territorio nacional.

“Esperamos que el crecimiento en el número sea exponencial en los siguientes dos años, y que después de 2015 ocurra una rápida masificación de esta clase de

vehículos por la implementación de políticas más agresivas de incentivos, gracias a los resultados que arrojen los planes piloto y a la rebaja en los precios de esta tecnología”, expresó Rodrigo Bastidas, gerente de división *Discrete Automation and Motion* de ABB (*Asea Brown Boveri*) en Colombia. Señaló que cuando se haya masificado el uso de vehículos eléctricos, necesariamente habrá un incremento en la demanda de energía eléctrica en todos los campos relacionados, como son comercialización, distribución, transmisión y generación, áreas en las que la multinacional se destaca.

Para ilustrar el tema, mencionó que “en Estonia funciona la Infraestructura de Carga para Vehículos Eléctricos más grande que existe, y el Grupo ABB, que opera en unos 100 países y emplea a alrededor de 135.000 personas, concluirá el montaje de todo el proyecto al finalizar este año. Allí habrá un cargador rápido cada 50 km y diferentes redes de cargadores lentos y rápidos ubicados estratégicamente”.

Así mismo, en Bélgica, Luxemburgo y Holanda, la empresa realizó un proyecto en conjunto con las estaciones de gasolina BP (British Petroleum) para realizar el montaje de estaciones de carga en las mismas, y en Alemania desarrolla desde 2.009, en conjunto con una empresa de servicios públicos, un proyecto con distintas clases de cargadores AC, mientras que en Ciudad de México participa como proveedor de infraestructura para un plan piloto de taxis.

Para el caso colombiano, “entrarían cargadores manufacturados en la fábrica de New Berlín, *Wisconsin* (Estados Unidos), pues esta línea de equipos trabaja con alimentación a 60 Hz y niveles de tensión manejados en el mercado de Norte y

Suramérica; el servicio de instalación y mantenimiento de la infraestructura se haría de forma local”, indicó el directivo de *ABB*. (El Espectador, 2012)

En Colombia empresas como *Renault* y *Chevrolet* comienzan a presentar sus primeros carros eléctricos, la penetración será gradual y sujeta a que las escalas de producción y el desarrollo tecnológico permitan alcanzar niveles de comercialización relevantes. Inicialmente, podría entrar por nichos de mercado en flotas de vehículos y a través motocicletas y bicicletas, que tienen menor exigencia tecnológica. (Endesa, 2010)

2.2.2. Motos eléctricas.

La marca de Motos Eléctricas *Energy Motion* comercializa motos que están equipadas con avanzados motores 100% eléctricos que tienen la potencia necesaria, y para recargarla sólo es necesario conectarla por unas horas a cualquier toma corriente de pared de 110 voltios. Son motos fuertes, pueden transitar con dos personas y subir por terreno inclinado. Por supuesto, la capacidad de ascenso está acorde con la potencia de la moto eléctrica, el peso transportado y la inclinación del terreno. (*Energy Motion*, 2012).

Para este caso en particular, la realidad colombiana comienza a ser favorable, pues el mercado se abre para este tipo de motos, las cuales no requieren gasolina y funcionan con una batería que se recarga en 8 horas, para rodar en promedio entre 50 y 80 km. Cuestan cerca de 9 salarios mínimos y ya comienzan a comercializarse en almacenes de la ciudad de Medellín.

En la siguiente tabla se puede ver una comparación del gasto en pesos de una moto eléctrica comparado con una a gasolina.

Tabla 1.

Motos eléctricas vs Motos a gasolina

ELÉCTRICA			VS	GASOLINA		
Electricidad	Aceite	Mantenimiento	km/año	Gasolina	Aceite	Mantenimiento
\$ 10.920	\$ 0	\$ 50.000	3.900	\$ 285.400	\$ 40.000	\$ 60.000
\$ 21.840	\$ 0	\$ 50.000	7.800	\$ 570.960	\$ 80.000	\$ 60.000
\$ 36.400	\$ 0	\$ 50.000	13.000	\$ 951.600	\$ 140.000	\$ 60.000

Fuente: <http://www.energymotion.net/component/content/article/2.html>

2.2.3. Montacargas eléctricos.

Estos ya existen en el mercado, y son utilizados comúnmente en la industria farmacéutica y alimenticia debido a su bajo nivel contaminante (grado alimenticio). Su fuente de potencia la adquieren de una batería de 12 a 48 voltios, que se recarga con un cargador de batería trifásico o monofásico. Los montacargas eléctricos están diseñados para trabajar en superficies planas y lisas y no debe sobrepasar en ningún caso los dos grados de inclinación. Las baterías pueden estar colocadas de distintas maneras dentro del cuerpo del montacargas, lo que permite mayor flexibilidad en su diseño. (Martínez, 2005)

2.2.4. Buses eléctricos.

Estos tienen una situación similar a la de los carros eléctricos. En Colombia el transporte masivo funciona básicamente con buses a gasolina, pues solo la ciudad de Medellín posee un Metro para el desplazamiento de personas en la ciudad. Un caso exitoso de buses eléctricos en muchos países del mundo ha sido el Trolebus (en el año 1945 la ciudad de Bogotá contaba con una red de trolebuses que soportaban de manera relevante la movilidad). Hoy la participación de la movilidad eléctrica en la ciudad es cero. (Endesa, 2010).

El plan de la alcaldía actual de Bogotá contempla la idea de volver a tener buses eléctricos para garantizar un mejor ambiente, pero plantean que no será tan fácil de ponerlo en marcha, dados los costos de esos vehículos. Hoy, según las cifras de TM (TransMilenio), un biarticulado cuesta alrededor de 950 millones de pesos, mientras un bus eléctrico valdría unos 1.400 millones. En la mitad están los híbridos, a 1.200 millones de pesos. Como la flota del sistema es adquirida por operadores privados, mediante concesión, el incremento en el valor de esos buses los terminaría pagando el usuario. "Pasar a buses eléctricos es una gran idea, pero hay que hacerlo por fases. Se deben evaluar costos y, por ejemplo, la vida útil de las baterías", reconoce el gerente de TM, Fernando Rey. (El tiempo, 2012)

Por otro lado en la ciudad de Medellín, existe un trolebús experimental que hoy recorre un sector de los parqueaderos de la UPB (Universidad Pontificia Bolivariana), y el cual se podría trasladar a la carrera 70 y algunas calles de Laureles, como un nuevo modo de transporte que integraría este centro educativo con el Metro de Medellín. Claro que no sería el mismo vehículo, sino el automotor

que demande un proyecto de estas características, en caso de que lo avalen el Municipio, el Área Metropolitana, y el metro. (Saldarriaga, 2012).

2.3. ALUMBRADO PÚBLICO

La principal función del alumbrado público es permitir el tráfico en horas de la noche o en áreas oscuras (túneles) con niveles aceptables de seguridad y confort, para conductores y peatones. A nivel mundial el alumbrado público consume alrededor de 218 TWh (TeraWatio-hora), lo que representa el 8 % del consumo de energía eléctrica usado en iluminación en el mundo para un año. En Bogotá el alumbrado público consume alrededor de 210 GWh (GigaWatios-hora) al año, que representa el 3,5 % de la energía eléctrica en la ciudad. (Acuña, 2011).

La tecnología LED, permite ahorrar estos porcentajes de energía, debido a su necesidad inferior de potencia para iluminar un espacio, además de ser ideales para aplicaciones que estén sujetas a una alta frecuencia de encendido y apagado ya que dicha frecuencia no afecta al rendimiento de los mismos, al contrario de lo que sucede con iluminación fluorescente. Tienen una vida útil relativamente larga con la mayoría de estimaciones situadas entre las 35.000 y 50.000 horas. No son fáciles de dañar con impactos externos. Pueden ser montados en todo tipo de superficies y gracias a su reducido tamaño permiten diseñar soluciones de iluminación adaptadas a todo tipo de espacios. (Juncoop, 2012)

En Colombia la tecnología LED es de fácil adquisición, y aunque los precios son un poco más elevados en comparación con la iluminación fluorescente, tienen una rápida recuperación de la inversión por los ahorros de energía.

Luminarias para alumbrado público. En la actualidad se puede encontrar en el mercado varios tipos de luminarias, pero para efectos de *Smart Grids* en Colombia, es acertado hablar de dos tipos de ellas.

Las primeras son luminarias solares, las cuales utilizan como fuente de energía la energía solar por medio de paneles fotovoltaicos. Una de las principales productoras de luminarias solares en el mundo es la compañía canadiense Carmanah, la cual lanzó una de sus versiones de luz solar más potente (referencia EG500), quien fue diseñada para alumbrar carreteras, vías públicas y áreas de peaje de la forma más óptima. Ha sido considerada como la farola con mayor efectividad y mejores niveles de luz, capaz de proporcionar 11.000 lúmenes, brindando así una alternativa fiable y robusta en comparación con el alumbrado tradicional. Su ingeniería está adaptada para soportar condiciones extremas y fuertes vientos superiores a 209km/h con ráfagas de tres segundos. (Carmanah Company, 2012)

Un buen exponente en el uso de este tipo de iluminación en grandes estructuras ha sido el país de México, en el que “Las autoridades mexicanas están satisfechas con el rendimiento de la tecnología solar, y continuarán apostando por ella para futuros proyectos de iluminación en autopistas y grandes áreas”. Como resultado de optar por la energía solar, los proyectos se han beneficiado de una serie de ahorros en los costos de instalación, al no necesitar de cableado y requerir de poco mantenimiento. (Green Q. , 2012)

Por otro lado, el segundo tipo de luminarias que cabe mencionar, son las híbridas solar-eólicas, ofrecidas por ejemplo por la empresa *Urban Green Energy (UGE)*.

La combinación de ambas fuentes de generación, que no requieren de conexión a red eléctrica, lo que minimiza costos de forma significativa en su instalación y funcionamiento. Estas luminarias solares híbridas se pueden instalar en carreteras, parques, parqueaderos, senderos, para proporcionar una iluminación segura y fiable a un costo razonable, sin generar emisiones contaminantes.

Esta farola utiliza una turbina eólica de eje vertical de 200 vatios, que necesita vientos de unos 12 m/s para su funcionamiento. También incorpora un panel solar de 235 W, y sistema de iluminación LED con una potencia de 84 W. Está hecha en acero, tiene una altura de 10 m, y la batería y el sistema electrónico que incorpora le permiten almacenar y gestionar la energía que produce para ofrecer iluminación durante 5 días, sin condiciones adecuadas de generación. (Green Q. , 2012)

En el caso concreto de Colombia, la comercialización de luminarias solares comienza a expandirse en el mercado, teniendo en cuenta que la inversión inicial puede resultar alta para el público general, aunque varias compañías ya las distribuyen, contrario al caso de las híbridas, las cuales en el mercado colombiano todavía no son de fácil adquisición, además presentan una restricción dada las altas velocidades de viento requeridas para su operación.

2.4. GENERACIÓN DISTRIBUIDA

En la actualidad se han centrado varios esfuerzos en el tema de energías verdes, pero en Colombia, hasta el momento las más viables por las condiciones naturales son la energía eólica y la solar fotovoltaica, razón por la cual en este trabajo solo se analizará el uso de estos dos recursos renovables, y la cogeneración con recursos convencionales.

2.4.1. Generación eólica

“La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, “molinos de viento” de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía del viento puede obtenerse instalando los aerogeneradores tanto en suelo firme como en el suelo marino.” (*Twenergy* , 2013)

- Aerogeneradores.

Los aerogeneradores de eje vertical, son diferentes a los aerogeneradores tradicionales en que su eje principal es perpendicular al suelo. Su configuración los hace ideales para aplicaciones rurales y urbanas incluyendo instalaciones sobre techos, dependiendo de la forma del tejado, el flujo del viento se puede concentrar, permitiendo mejor producción de energía, ofreciéndole al dueño la oportunidad de compensar el precio ascendente de la electricidad y a la vez preservar el medio ambiente. Son simples de instalar y mantener, y operan silenciosamente. Estos ya se encuentran disponibles en el mercado colombiano. Los distribuye para Colombia la firma NAT Arquitectura, representante de *Urban Green Energy* de Estados Unidos, y tiene disponibles en el mercado varios modelos. (Ecolife, 2012). Sus precios oscilan entre US 5000 y US 28000.

2.4.2. Generación Solar

“La energía solar fotovoltaica es la energía que resulta de la conversión directa de la luz solar en electricidad. La energía solar se ha convertido en una atractiva

fuentes de energía renovable para aplicaciones de electrificación rural y urbana, sistemas de monitoreo remoto, estaciones de telecomunicaciones entre otras aplicaciones.” (APROTEC, 2010)

- Paneles solares fotovoltaicos.

Los principales componentes para un sistema solar de generación eléctrica son los paneles solares, y dependiendo de su configuración van acompañados ya sea de un banco de baterías para acumular la energía del día y usarla en la noche, o un sistema interconectado a la red eléctrica convencional. Dependiendo de la necesidad se utiliza uno y otro.

En Colombia, este tipo de generación comienza a ser viable, ya que la comercialización de los paneles solares es amplia, y un panel de 147,2 x 79,6 cm, con una potencia pico de 135 W_P (Wattios pico), puede encontrarse desde \$1.000.000.

2.4.3. Cogeneración en la industria.

“La obtención de calor o de energía eléctrica a partir de los recursos combustibles mediante las tecnologías de conversión tradicionales de propósito único (energía mecánica en motores térmicos o calor por combustión), implican desaprovechamientos entálpicos o exergéticos que pueden ser evitados mediante la cogeneración, con lo que es posible producir ahorros de recursos sustanciales.” (Sosa, 2013)

Según la (CREG), “la cogeneración es el proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de la actividad productiva de quien produce dichas energías, destinadas ambas al consumo

propio o de terceros en procesos industriales o comerciales, de acuerdo con lo establecido en la ley 1215 de 2008 y en la Resolución CREG 005 de 2010.”

De igual manera, esta ley define al “cogenerador como la Persona natural o jurídica que tiene un proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica como parte integrante de su actividad productiva, que reúne las condiciones y requisitos técnicos para ser considerado como cogeneración. El Cogenerador puede o no, ser el propietario de los activos que conforman el sistema de Cogeneración; en todo caso el proceso de cogeneración deberá ser de quien realice la actividad productiva de la cual hace parte”. Además los cogeneradores deben cumplir unos requisitos mínimos para poder tener esta categoría.

Ahora bien, entendiendo las áreas de interés de este trabajo desde la perspectiva del usuario final, el siguiente capítulo pretende conocer la composición del mercado eléctrico colombiano y saber el papel que este usuario juega en dicha estructura

3. EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

La estructura del Mercado de Energía Mayorista (MEM) Colombiano se concibe de una forma tradicional; hay empresas que se encargan según su especialidad bien sea de la Generación, Transmisión, Distribución o Comercialización de energía como se presenta en la Figura 6.



Figura 6. Esquema del Mercado Eléctrico Mayorista en Colombia

Fuente: XM expertos en mercado

En la Caracterización del mercado de energía eléctrica para usuarios no regulados en Colombia (Escudero y Botero, 2006) aclaran que las actividades económicas asociadas se han separado claramente. Una empresa de Generación no puede ser a la vez ser de Transmisión. Si una empresa de Generación quiere participar en Comercialización, debe desintegrar ambos negocios en dos empresas

contablemente separadas. La CREG establece algunos porcentajes límites de acciones que pueden tener unas empresas del mercado eléctrico en otras del mismo sector.

“Colombia posee un mercado de energía eléctrica mayorista que fue concebido como un mercado descentralizado y de competencia. El segmento de generación ha sido fortalecido mediante incentivos que han propiciado la inversión privada y que han permitido a los generadores expandir sus capacidades de producción, estableciéndose así una estructura de mercado de competencia oligopólica entre las principales empresas de generación. En este escenario y después de más de una década de competencia, los agentes generadores han consolidado su participación en el mercado mediante diferentes estrategias operativas y comerciales, con las cuales buscan garantizar la operación y la continuidad de los negocios maximizando el beneficio económico”. (Ossa, 2012)

Es de anotar que la comercialización también tiene un mercado definido en dos rutas, una corresponde al mercado de usuarios regulados (como lo son los consumidores residenciales) y otra al mercado de no regulados (que corresponde principalmente al sector industrial). Sin embargo el papel del usuario final es pasivo, su participación en el mercado es prácticamente nula. Una tecnología como la de *Smart Grids*, permitiría involucrar de manera más activa al usuario final y optimizar el uso de los recursos energéticos en todo el sistema.

Así pues los agentes definidos para el mercado eléctrico colombiano por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME son:

3.1. Generadores:

“Los agentes generadores son aquellos que desarrollan la actividad de producción de electricidad y energía que puede ser transada en la Bolsa o mediante contratos bilaterales con otros generadores, comercializadores o directamente con grandes usuarios (usuarios no regulados)” (UPME, 2004). Según la planta o unidad de generación que posean y su capacidad de generación se clasifican en varios tipos de generadores y deben cumplir diferentes resoluciones de la CREG.

Respecto a las *Smart Grids*, los generadores deben conocer cómo se comporta la demanda para proyectar la generación, así que se centra en las aplicaciones de medición inteligente y en cómo puede articular en su portafolio la generación distribuida, comprando energía faltante a los usuarios.

Además que la generación distribuida puede ser un soporte para la red, por ejemplo en horas pico donde debe generarse mayor cantidad de energía, y ayudar a disminuir la curva de demanda en dichas horas.

3.2. Transportadores:

“Son los agentes que desarrollan la actividad del transporte de la energía en el Sistema de Transmisión Nacional – STN. Existe competencia entre los transmisores existentes y potenciales por la construcción, administración, operación y mantenimiento de los proyectos de expansión del STN. Los transmisores de energía eléctrica deben permitir el acceso indiscriminado a las redes de su propiedad por parte de cualquier usuario, comercializador o generador que lo solicite, en las mismas condiciones de confiabilidad, calidad y continuidad, Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. es el principal transportador en el STN, siendo propietaria de cerca del 75% de los activos de la red. De las once (11) empresas que

desarrollan la actividad de Transmisión Nacional, tres (3) de ellas son privadas o mayoritariamente privadas”. (UPME, 2004)

Respecto a las *Smart Grids*, los transportadores pueden hacer uso de dispositivos inteligentes como por ejemplo el SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos, por sus siglas en inglés) que es un software que de manera automática ayuda para garantizar la calidad de la potencia, activar entrada y salida de líneas, compensar caídas de tensión, etc.

3.3. Distribuidores:

Son los agentes que desarrollan la actividad del transporte de la energía en los sistemas de distribución (Resolución CREG 082 de 2002), correspondientes con: Sistema de Transmisión Regional – STR y Sistema de Distribución Local - SDL. Los distribuidores de energía eléctrica deben permitir libre acceso indiscriminado a los STR y a los SDL por parte de cualquier usuario, comercializador o generador que lo solicite en las mismas condiciones de confiabilidad, calidad y continuidad establecidas en las disposiciones legales y reglamentarias.

Los Ingresos que perciben los Transmisores Regionales y/o Distribuidores locales, se originan en el cobro que realizan a los agentes que acceden a la red, a partir de dos conceptos: Cargos por Conexión y Cargos por Uso de la red diferenciados por nivel de tensión (UPME, 2004)

Respecto a las *Smart Grids*, los distribuidores u operadores de red son los agentes que están llamados a tener un rol de integración con el usuario final en las cuatro aplicaciones. En transporte por ejemplo serían los encargados de suministrar la energía a las estaciones de carga y garantizar que esto no implique un impacto negativo en el desempeño de la red, de igual manera que con la generación

distribuida. En alumbrado público son los encargados de proveer este servicio a los municipios, por lo tanto son claves en la implementación del uso de recurso solar o eólico.

3.4. Comercializadores:

“Son aquellos agentes que básicamente prestan un servicio de intermediación, entre los usuarios finales de energía y los agentes que generan, transmiten y distribuyen electricidad. Debido a la separación de mercados entre usuarios regulados y no regulados, las empresas comercializadoras pueden comercializar energía con destino al mercado regulado; pueden comercializar energía en el mercado no regulado; o pueden optar por ofrecer el servicio de intermediación en ambos mercados”. (UPME, 2004)

Respecto a las *Smart Grids*, los comercializadores, encargados de facturar al usuario final el servicio, son fundamentales en la implementación de mecanismos de medición inteligente, y respuesta del usuario a los precios de la energía.

Los usuarios se definen como:

3.5. Usuarios regulados:

Son aquellos usuarios que no cumplen las condiciones para ser catalogados como usuarios no regulados, están sujetos a un contrato de condiciones uniformes y las tarifas son reguladas por la CREG mediante una fórmula tarifaria general. Las compras de energía efectuadas por comercializadores con destino a Usuarios Regulados, mediante la suscripción de contratos bilaterales, se rigen por las disposiciones establecidas en la Resolución CREG-020 de 1996.

“El mercado regulado es directamente contratado y servido por compañías de distribución. Abarca usuarios industriales, comerciales y residenciales con demandas de energía inferiores a 55 MWh /mes o demandas de potencia inferiores a 0.1 MW. Todas las áreas urbanas en Colombia están clasificadas de uno a seis en la escala socioeconómica, clasificación que se utiliza para determinar el nivel de tarifas para electricidad, agua y otros servicios. De acuerdo con este sistema, los consumidores que viven en áreas consideradas catalogadas en la menor escala (estrato 1) reciben servicio eléctrico y de gas natural a tarifas subsidiadas. Estos subsidios cruzados son financiados casi por completo por los consumidores que viven en áreas consideradas como relativamente afluentes y quienes usan más electricidad.” (Enertolima)

Estos usuarios son actores relevantes en las aplicaciones de transporte (carros y motos), hogares y generación, pues finalmente uno de los objetivos de las *Smart Grids* es volver estos usuarios participantes más activos dentro de la red, y de su aceptación a esta tecnología depende el éxito en la implementación.

3.6. Usuarios no regulados:

“O grandes usuarios, son aquellos con una demanda de potencia superior a los 100 kW o su equivalente en consumo de energía de 55 MWh/mes. Los usuarios no regulados pueden establecer con el comercializador de energía un contrato bilateral y los precios de venta y cantidades de energía son libres y acordadas entre las partes. Los demás cargos se ajustan a la regulación respectiva”. (UPME, 2004)

“Existe un requisito adicional para ser Usuario No Regulado: instalar un equipo de teled medida que cumpla con el Código de Medida, de modo que permita registrar y reportar los consumos hora a hora. Si un Usuario Regulado posee las condiciones

para ser No Regulado mantendrá dicho status hasta que en forma expresa indique que quiere dejar de serlo". (Enertolima)

Estos usuarios son agentes en la aplicación de generación y similar a los que se presenta en hogares, para las industrias serían aplicaciones similares pero a mayor escala. Este tipo de usuarios posiblemente es a quien interesa más la gestión de la energía y la demanda, pues en energía pagan cuantías mayores y que implican más control.

Revisando la estructura del mercado y la forma como participa el usuario final en ella, en el siguiente capítulo se pretenden identificar las barreras según los esquemas existentes para la implementación de *Smart Grids* en este contexto colombiano.

4. BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE *SMART GRIDS* EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

El desarrollo de este tipo de macro proyectos que son pensados a gran escala implica que se realice una revisión del estado en que se encuentran en el mundo y las dificultades más latentes que se pueden presentar para ser las primeras en identificar y atacar cuando se esté en el proceso de diseño y posteriormente de implementación.

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) encontró que las principales brechas que se identificaron en otros países del mundo tenían que ver principalmente con las estructuras físicas de los sistemas eléctricos al tener que modificarse, y este hecho hacía necesaria la asociación de los sectores públicos y privados, y de los grupos de defensa de los consumidores para definir las principales necesidades que se quieren cubrir. (International Energy Agency, 2011)

Además en esta misma línea, es notorio que el sector público, concretamente los gobiernos obstaculizan la expansión de la tecnología, pues se alejan de la apropiación y responsabilidad de la evolución y desarrollo de nuevas regulaciones para el sector eléctrico que promuevan las *Smart Grids* en gran escala.

En Colombia como era de esperarse se identificaron varios tipos de barreras asociadas principalmente a los aspectos técnicos, económicos y políticos, como se mencionan a continuación.

4.1. BARRERAS TÉCNICAS

Una de las principales barreras para implementar tecnologías *Smart Grids* en el mercado eléctrico colombiano está asociado a los desarrollos técnicos que estas implican, pues como se ha enunciado anteriormente, la red eléctrica colombiana está pensada y diseñada de manera centralizada, y necesita una reingeniería de sus procesos convencionales e ineficientes para transformarse así en un sistema no convencional, que contribuya con el aumento de energías renovables e implícitamente con la reducción de los efectos del carbono, como se muestra en la siguiente figura.

RED CONVENCIONAL



RED INTELIGENTE

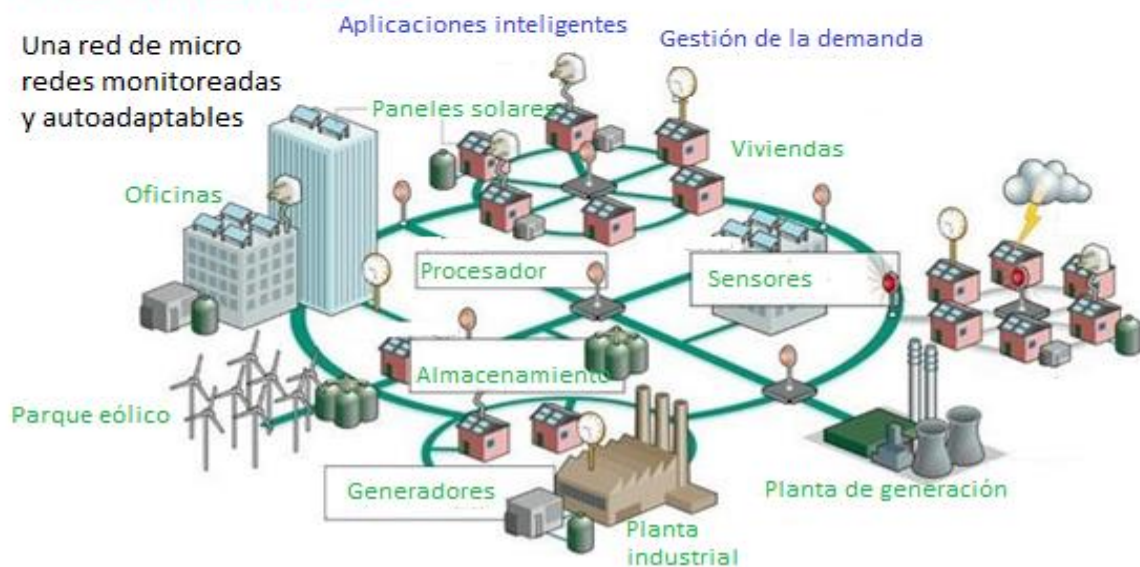


Figura 7. Red convencional vs Red inteligente

http://www.detea.es/nav/Para_saber_mas/Atrevete_saber/noticia_0033_redes_inteligentes.html

Para poder llegar al modelo de red inteligente, se debe someter la red convencional a muchos cambios, principalmente de tipo técnico. En este punto se encuentran en Colombia varias limitaciones asociadas a los siguientes aspectos:

- Infraestructura de energía, comunicación e informática:

- En Colombia, la red eléctrica está diseñada de manera tal que se transmite la energía desde una central hasta los usuarios finales. Y no existen los mecanismos para que los usuarios generen su energía y la comercialicen en la red.
- No se posee una infraestructura de medición avanzada, que permita transmisión de datos, igual que antenas y equipos de comunicación. Ni tampoco existe la posibilidad de comunicación bidireccional.
- No existe automatización de la gestión de energía. No se ha pensado en planes de mantenimiento para otro tipo de redes.
- Se necesita el trazado de nuevas líneas de transmisión
- No existe integración entre la red eléctrica y la información y tecnologías de información. (Peña, 2012)

- Equipos de medición.

- Los medidores con que se cuenta en el mercado eléctrico colombiano, son medidores electromecánicos, y estos se consideran obsoletos para un sistema inteligente, pues no están en capacidad de brindar los datos necesarios para la gestión.
- No se tiene un buen control de pérdidas eléctricas en el transporte.
- No se incorporan sensores a la red que permitan optimizar la gestión y monitoreo en el proceso.

- Sistemas de gestión

- Se presenta insuficiencia en la medición, registro y análisis del consumo de energía en función de la producción. (Prias, 2012)
- Poca vigilancia tecnológica para saber el estado de las redes en el mundo, y buscar el mejoramiento de la propia.
- No se invierte en innovación para el desarrollo de nuevas redes eléctricas.

- Modelo de generación de energía
- Poca y tímida implementación de Generación distribuida.

- Usuarios finales
- Dado que en la red eléctrica nunca se ha involucrado al usuario final como un agente explícito, estos deben estar dispuestos a aceptar cambios en sus hogares y las rutinas diarias, y de este factor es considerable la probabilidad de una implementación exitosa. (Verbong, 2012)

- Vehículos eléctricos

Desde el punto de vista de carros particulares y motocicletas, las ensambladoras colombianas y las principales marcas presentes en el mercado solo producen carros a combustión interna, pues no tienen modelos de fabricación ni de negocio para los vehículos eléctricos

El sistema de gestión para el tráfico en tiempo real que se tiene definido no alcanza para lo requerido, sabiendo que su fin es “facilitar al conductor la información en tiempo real del tráfico, gestionar las incidencias en carretera, las zonas en obras, el tiempo de los semáforos y la señalización, la actualización de los mapas, las recomendaciones sobre las rutas óptimas en términos de tiempo o de distancia.” (Eco Inteligencia, 2013)

4.2. BARRERAS ECONÓMICAS

Desde este punto de vista no solo Colombia, sino cualquier país en el mundo, espera siempre que las inversiones que se realicen impacten de manera positiva su economía. Y hablando en términos de crecimiento económico, aparecen teorías que soportan que tal crecimiento deba hacerse sobre la base de la sostenibilidad.

Es por lo anterior que el Consejo Mundial de Energía (WEC) presenta un Estudio sobre Evaluación de Políticas para el futuro, donde encontraron unos indicadores para evaluar la sostenibilidad energética de un país en 2012 y llegaron a la conclusión de que los países que ocuparon los primeros lugares generalmente fueron países con un alto ingreso per cápita y con economías con altos niveles de industrialización. En este último ranking Colombia ocupó un puesto intermedio. Siendo los primeros Suecia, Suiza, Canadá, Noruega y Finlandia. (Vargas, 2013)

Esto lleva entonces a plantear la primera barrera de tipo económica para la implementación de Tecnologías *Smart Grids* en Colombia, teniendo en cuenta su bajo índice de industrialización, ingreso per cápita y acceso a la energía por parte de los habitantes (entendiéndose acceso diferente de cobertura). Y reconociendo que un proyecto de *Smart Grids* en el mundo está por alrededor de los millones de dólares.

Se dice en la literatura que la difusión de nuevas tecnologías con un desempeño económicamente superior exhibe una trayectoria de penetración lenta. Esta trayectoria sigue la forma de una curva sigmoidea (en forma de S), ya que la difusión no es inmediata, sino que las nuevas tecnologías deben trasegar su camino en el mercado, primero atraviesa por un proceso lento, después se acelera y nuevamente se enlentece a causa de la saturación. (Vanegas, 2011). Y puede esta

ser una razón para que sea difícil encontrar inversionistas tanto de tipo público como privado para el desarrollo de *Smart Grids* en Colombia, pues dado que un requisito para comenzar a ver los beneficios energéticos y los retornos de la inversión, es necesario que la implementación sea estructurada, y que el mercado adopte esta tecnología como una innovación.

En definitiva las principales barreras que se identificaron desde el ámbito económico tienen que ver con el bajo índice de industrialización de los países, el bajo ingreso per cápita, el acceso a la energía, el lento retorno de inversión y los pocos inversionistas

4.3. BARRERAS POLÍTICAS Y REGULATORIAS

En el artículo Regulación para el fomento de las energías alternas en el mercado colombiano, los autores encontraron que: “En general, las experiencias exitosas en proyectos con tecnologías alternas de energía muestran que se requiere de un compromiso del gobierno a través de la implantación de políticas y medidas regulatorias para promover la inversión en estos proyectos, tal como se evidencia en los países europeos y norteamericanos”. (Botero, 2013), pues como se menciona en el *Technology Roadmap Smart Grids*, debido a la complejidad del sistema el mercado por sí solo no va a implementar las *Smart Grids* en la escala que es necesaria, sino que se necesita asociación de los sectores públicos y privados principalmente en términos de inversión y políticas favorables para la tecnología. (International Energy Agency, 2011)

Y para analizar lo que pasa en Colombia con este tipo de legislación escogieron una definición que propone el Ministerio de Ciencia y tecnología de China, cuando clasifica algunos instrumentos políticos para promover este tipo de proyectos, como políticas obligatorias, económicas, de investigación y desarrollo y de Gestión y operación.

Encontraron así que en Colombia existen instrumentos de regulación y reglas generales, créditos tributarios, exenciones o reembolsos, investigación y desarrollo y Electrificación Rural:

- Poca claridad en las leyes: Para el primero de los instrumentos identificados, regulación y reglas generales, se identificó que en Colombia se creó la Ley 697 del 2001 o llamada Ley del Uso Racional y Eficiente de la Energía, y aunque pareciera que se decide introducir energías renovables en el sector energético, no es clara la regulación para incentivar la realización de proyectos con esta temática.
- Desventaja entre nuevas tecnologías y antiguas: Además se encuentra La Ley 142 que exige que las empresas busquen las mejores condiciones objetivas para satisfacer la demanda. Se habla así de neutralidad tecnológica, es decir que en Colombia no se puede dar incentivos ni privilegiar tecnologías renovables que no sean por mérito en competitividad de costos, escogiendo siempre el de menor precio. Y aquí las nuevas energías renovables se encuentran en desventaja, sobre todo por temas de infraestructura y de inversión inicial.
- Desde el segundo instrumento, Créditos Tributarios, exenciones o reembolsos, los autores encuentran que en Colombia existe la Ley 788 de 2002: En su artículo 18 establece que son rentas exentas del impuesto de renta las generadas por los siguientes conceptos:

“Ventas de energía eléctrica generada con base en recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas, realizada únicamente por las empresas generadoras, por un término de 15 años, siempre que cumplan los siguientes requisitos:

- a) Tramitar, obtener y vender certificados de emisión de dióxido de carbono, de acuerdo con los términos del protocolo de *Kyoto*.
- b) El 50% de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados sean invertidos en obras de beneficio social en la región donde opera el generador.”

Posteriormente, en el año 2003 se expide el Decreto 2755 de 2003 que reglamenta el artículo 207-02 de esta Ley del Estatuto Tributario, en donde se establece la exención de renta por un período de 15 años, contados a partir del 1º de enero de 2003, para la empresas generadoras de energía eléctrica a partir de los recursos eólicos, biomasa o residuos agrícolas e igualmente establece los requisitos que deben cumplirse para acceder a dicho beneficio.

Ley 383 de 1997 Art. 31. Las transacciones realizadas a través de la bolsa de energía en ningún caso están sometidas a retención en la fuente.

- Iniciativas públicas y privadas: Ahora bien, desde las políticas de investigación y desarrollo en el país, el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia (Colciencias) es el que mejor cabe en esta categoría, y este instituto a su vez tiene convenio con empresas del sector energético para financiar estudios relacionados con fuentes alternas de energía. Algunas entidades de ellas pertenecen al sector público, pero también hay

algunas en el sector privado. Por lo que no es iniciativa netamente del gobierno, sino que se depende de la voluntad de estas entidades.

- Finalmente, desde el instrumento de Electrificación Rural en Colombia, se tiene establecido un fondo especial, llamado Fondo de Atención a las Zonas No Interconectadas - FAZNI, y se creó porque estas zonas no se pueden atender como un mercado eléctrico convencional dadas las condiciones sociales. En este tipo de proyectos se amplía la posibilidad de efectuar un sistema de generación distribuida, con la implementación de energías no convencionales, porque no se presentan conflictos de intereses, y la inversión inicial que se requiere no se espera que retorne de igual manera que cuando se hace bajo un modelo de negocio en zonas interconectadas.

Se evidencia pues que desde la regulación colombiana existen dificultades para implementar un esquema de *Smart Grids*, pues en Colombia la estructura y la legislación está pensada desde la generación a gran escala, donde los marcos regulatorios no consideran la posibilidad de la generación distribuida, sino centralizada.

Es notable el escepticismo con proyectos pensados de manera no tradicional, pues se cree que el mercado puede tomar mucho tiempo en asimilarlos, demorando los retornos de inversión.

Si se encuentran inversionistas de tipo privado, no existen suficientes mecanismos regulatorios que den seguridad a tales inversionistas.

Y en último lugar, pero no menos importante, debido a la estructura que presenta el mercado eléctrico colombiano, y sus limitados agentes activos, es muy probable que se presente un conflicto de intereses de los actores, particularmente con los

operadores de red. (Hernández, 2009), pues cada uno de ellos tiene muy clara su razón de ser, y el papel que juega en el mercado. A demás porque el esquema legal los separa de sus actividades.

Contrario a lo que pasa en Colombia, los Gobiernos de los países impulsores de *Smart Grids* son decisivos en las políticas para promover este desarrollo, y algunos ejemplos son: Francia, con la expedición de un decreto de medidores inteligentes en septiembre de 2010 que exige la instalación del 95% de contadores inteligentes en 2016. Alemania, quien en enero de 2010 lanza la ley que estipula la instalación de contadores inteligentes en edificios de nueva construcción, reconstrucción, o por solicitudes de los clientes. Finlandia, al promover el despliegue completo de contadores inteligentes que se debe completar antes de 2014. En Reino Unido el Gobierno dio el mandato a las empresas para la implantación de medidores inteligentes de electricidad y de gas entre 2012 y 2020. Y en España, donde el Decreto 1110/2007 y la Orden Ministerial 2860/2007 obliga a sustituir todos los medidores electromagnéticos por contadores inteligentes antes del 31 de diciembre de 2018. (Díaz, 2012).

En conclusión las barreras de tipo político para la implementación de *Smart Grids* en Colombia están asociadas a la falta de implementación de políticas que favorezcan la tecnología, las políticas regulatorias y económicas que la contemplen, la seguridad para inversionistas y los conflictos de intereses entre los entes involucrados.

Posteriormente, partiendo de esta identificación de barreras el siguiente paso consiste en analizar la viabilidad para la implementación de *Smart Grids*, y es precisamente el eje central del capítulo posterior.

5. ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE *SMART GRIDS*

Antes de comenzar el análisis para la implementación de *Smart Grids* en un país como Colombia, se realizará la revisión metodológica de un caso internacional específico como base de comparación y aprendizaje desde su experiencia.

- **Casos a nivel mundial**

En Holanda, en el año 2012 realizaron la publicación de un artículo titulado “¿Las redes inteligentes o los usuarios inteligentes? La participación de los usuarios en el desarrollo de una economía de electricidad baja en carbono” y principalmente trata de analizar el papel que juegan los usuarios finales en las *Smart Grids*, basándose en las percepciones de los agentes involucrados de alguna manera con el desarrollo de esta tecnología en su país. El principal planteamiento está relacionado con que los usuarios finales nunca han participado en ninguna innovación de la red, y con las *Smart Grids* jugarían un papel fundamental en la cadena. Pero por esta misma razón se presenta una dificultad relacionada con la aceptación de este nuevo modelo por parte de los consumidores, pues finalmente los servicios de las *Smart Grids* estarían pensados para sumergirse en la cotidianidad de estos usuarios. Así pues, su objetivo es identificar las percepciones sociales que se tienen referentes a esta tecnología, haciendo énfasis en las expectativas y visiones del nicho sobre las *Smart Grids*.

Las innovaciones radicales maduran en nichos que a través de la protección del gobierno o de la demanda específica del mercado proporcionan protección de las

nuevas tecnologías en la fase de crecimiento inicial, cuando todavía son incapaces de resistir a las presiones normales de mercado, y cuando el mercado mismo no las va a implementar como es el caso de las *Smart Grids* (textual).

Para ejecutar el método SNM realizaron un proceso de selección de los usuarios. Primero comenzaron una consulta con expertos conocidos, y realizaron entrevistas de corta duración. Estos expertos pertenecían a entidades no gubernamentales, organizaciones de investigación, empresas de servicios públicos, entre otras, y a su vez estos expertos fueron facilitadores de otras entrevistas con más agentes involucrados en estos desarrollos.

Posteriormente se centraron en usuarios, que representaban el sector residencial y en investigadores para detectar su percepción frente a esta nueva innovación.

Las entrevistas ayudaron a identificar las visiones sobre las *Smart Grids*, y la actitud de estas personas frente a este cambio, donde el consumidor se vuelve agente activo, y por esta misma razón se ve una dificultad en que las personas deberán no solo entender el concepto teórico-práctico de las redes, sino que también deberán saber cómo hacerlas parte de su cotidianidad.

También se identificó una visión sobre la participación de los usuarios. Y a su vez la manera como estos usuarios pueden volverse una barrera a la hora de lograr una implementación parcial o total de la red.

Ahora bien, no es de interés propiamente para el caso de este trabajo centrarse en el nicho de mercado que piensa atender la implementación de una red inteligente. Pero para la recolección de información en cuanto a las barreras existentes y la

forma de superarlas es de ayuda la revisión metodológica de aplicaciones para recolección de información.

5.1. PERCEPCIÓN DE LOS USUARIOS FINALES

Dado que las *Smart Grids* tienen como uno de sus objetivos específicos involucrar a los usuarios finales de la red eléctrica, y volverlos agentes activos dentro de ellas, que participen en la optimización del sistema en su conjunto, una de las barreras que se identificó y uno de los objetivos principales de este trabajo, está asociado con la aceptación y la percepción que estos usuarios tengan en torno a lo que son las *Smart Grids*, o bien sino a las *Smart Grids* como tal a los componentes y servicios que ellas pretenden brindar.

Para que una tecnología sea aceptada en un público objetivo, que en este caso son los usuarios finales de la red, es importante ver esta población como un mercado con unas necesidades específicas, que se deben conocer para poder atender, y llegar al éxito con la implementación de la misma. La mejor manera de hacerlo es con base a los planteamientos que propone una investigación de mercados, que es “la identificación, acopio, análisis, difusión y aprovechamiento sistemático y objetivo de la información con el fin de mejorar la toma de decisiones relacionada con la solución de los problemas y oportunidades de los mercados. Además que pretende entregar información fidedigna que exprese el verdadero estado de las cosas, de manera objetiva e imparcial” (Malhotra, 2004)

- **Metodología.**

Una investigación de mercados ofrece entonces la información, pero es necesario que quienes toman las decisiones sepan aprovecharla. El alcance de este trabajo, más que centrarse en un completo estudio de mercado, busca identificar posibles barreras para la implementación de las *Smart Grids* en el mercado eléctrico colombiano y proponer formas de superarlas, por lo cual se considera pertinente un sondeo indicativo. Este se realizará con la aplicación de encuestas para recolectar información sobre la percepción de los usuarios del mercado colombiano.

Esta metodología es la más utilizada en la investigación de mercados y de opinión pública, pues a través del tiempo se le ha dado mayor validez gracias a la amplia base matemática que puede sustentarla, y a las predicciones acertadas que han permitido que los métodos avanzados que se acompañan con las encuestas arrojen teorías que permiten estudiar actitudes, creencias y conocimientos de diferentes grupos de personas, con la ventaja de hacerlo a cualquier escala.

La elaboración de estas encuestas estará sustentada bajo el marco teórico que soporta la parte técnica como tal de las redes y sus componentes, además teniendo muy presente el contexto colombiano.

Para el sondeo se abordará de manera separada al usuario regulado del no regulado, pues su percepción y necesidades debido a los ámbitos son diferentes.

Además se utilizará otro método conocido en la investigación de mercados como “Entrevistas con expertos, que consiste en ayudar a definir el problema de la investigación, más que llegar a una solución definitiva. Es un método útil en situaciones en las que hay poca información de otras fuentes, como productos radicalmente nuevos y que pueden ofrecer ideas valiosas para modificar, posicionar o implementar tales productos” (Malhotra, 2004), entendiéndose en este caso el producto como los servicios brindados por las *Smart Grids*.

5.1.1. USUARIOS REGULADOS - RESIDENCIALES

Selección de la muestra - Perfil de los encuestados

Se eligió de manera aleatoria un grupo de 50 personas de diferentes sectores de la ciudad. Para evitar el sesgo de la información, este grupo tuvo características similares, al ser todos usuarios residenciales, entre 22 y 40 años de edad, pertenecientes a los estratos socioeconómicos 3, 4 y 5 de la ciudad de Medellín, y con un nivel de educación técnico, tecnológico y profesional.

Objetivos de la encuesta

Esta encuesta se realizó con el objetivo principal de reconocer la percepción que tienen los usuarios regulados o residenciales de la ciudad de Medellín, con respecto a las diferentes tecnologías que acompañan el desarrollo de las *Smart Grids* y los beneficios y servicios que pueden ofrecer.

Dado que el concepto de *Smart Grids* en Colombia todavía no es de uso común, la encuesta aplicada a los usuarios regulados (residenciales) y no regulados (industriales) de la ciudad de Medellín, pretendía conocer la percepción que tienen los clientes finales con respecto a los componentes de las *Smart Grids*, y no a la tecnología como tal. (Anexo 1 y Anexo 2).

Resultados de la encuesta

Cuando se preguntó sobre la posibilidad de elegir un proveedor de energía eléctrica que hiciera uso de fuentes renovables de energía aunque fuera más costoso, el 92% de los entrevistados respondió que Sí le interesaría hacerlo, atribuyendo principalmente a esta respuesta el impacto medio ambiental que se podía lograr. Además de considerar que el precio y el servicio puede mejorar cuando hay competencia, contrario a lo que pasa con el monopolio que se tiene actualmente la ciudad. Y también debido al hecho de que este cambio implicaba investigación e innovación para la ciudad.

Por el contrario, quienes no cambiarían la estructura actual que se tiene de generación, mencionaban que en Colombia se hace un uso adecuado de las fuentes hídricas y se genera en cantidades considerables, ligado a que es difícil generar la cultura ambientalista y porque la energía del país ya es bastante costosa, como para que la aumenten con una energía que a futuro les dará mucha más rentabilidad a los inversionistas.

Ahora bien, cuando se preguntó a la población sobre su papel como agentes generadores, por medio de la generación distribuida, la mayoría afirmaron que

estarían dispuestos a pagar una alta inversión inicial teniendo en cuenta que luego el costo de la energía sería inferior al actual, siempre y cuando tal inversión se recuperara en menos de 3 años.

Además hubo una gran tendencia a preferir la instalación de paneles solares fotovoltaicos en lugar de aerogeneradores, pues se piensa que son de más fácil instalación y que las condiciones climáticas de la ciudad son más favorables para la una que para la otra.

Del mismo modo se pidió ordenar de mayor a menor los beneficios de contar con una fuente de energía alternativa propia, y la mayoría pensó que el principal beneficio tenía que ver con la disminución del impacto ambiental, seguido del uso de recursos renovables, la reducción de los costos de energía y por último la autonomía en la generación de la energía. Estos datos se pueden observar en la siguiente figura

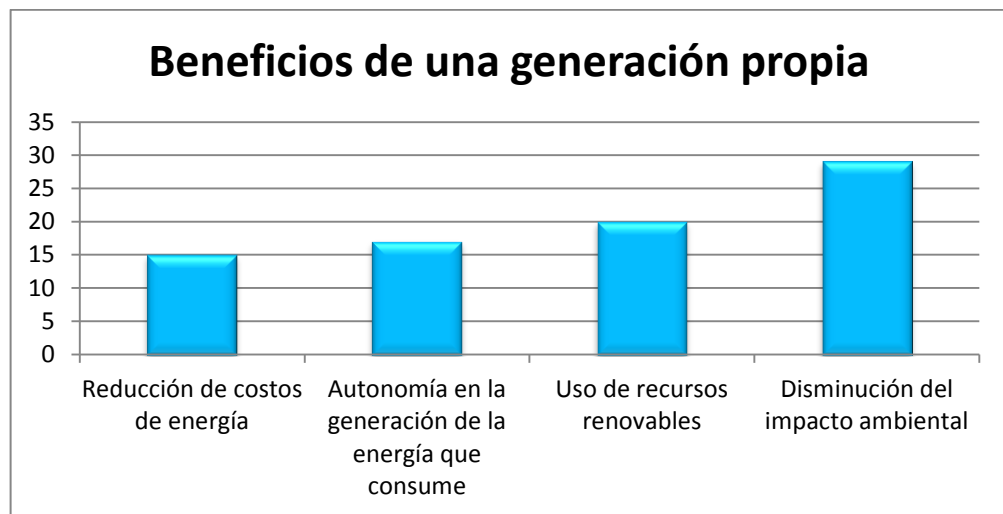


Figura 8. Beneficios de una generación propia

Fuente: Propia

En este mismo orden, se encontró que el beneficio que más les interesa a los usuarios obtener de la Red inteligente, tiene que ver con el hecho de contar con energías renovables. Un segundo lugar lo ocupa la seguridad energética, luego, conocer la tarifa en tiempo real para pagar en función de ella, y finalmente el manejo remoto de los electrodomésticos del hogar. (Figura 9)

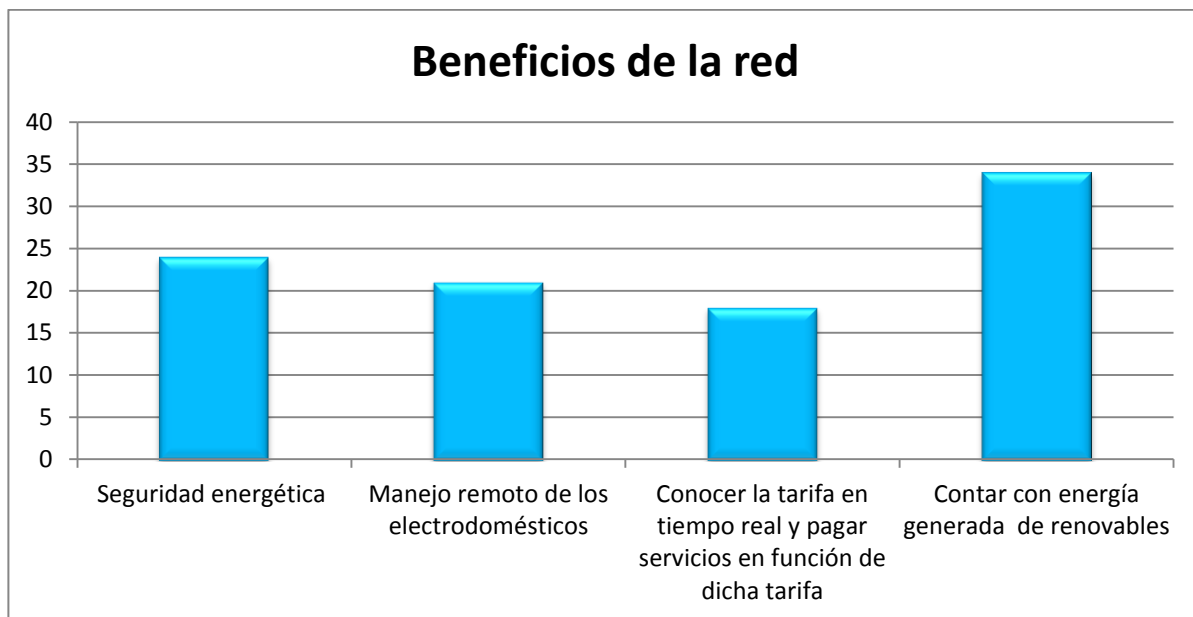


Figura 9. Beneficios de la red

Fuente: Propia

Se indagó también sobre la posibilidad de cambiar los carros a gasolina por eléctricos. El 90% de los entrevistados afirmó que aceptaba esta idea, principalmente por contribuir con la disminución de emisiones de gases para el medio ambiente. Y los que opinaban lo contrario, afirmaban que preferían la gasolina por la autonomía de los vehículos.

Además se piensa que la incursión de motos y carros eléctricos no ha sido masiva en el mercado colombiano debido principalmente a sus altos costos de inversión, la desconfianza de su sistema de funcionamiento y los pocos esfuerzos de la industria. Sumando a esto los intereses políticos y económicos que hay de por medio.

Posteriormente, con respecto a temas relacionados con el hogar, cuando se preguntó cuáles funciones preferirían de un electrodoméstico tecnológico, la mayoría se inclinó por el ahorro de energía, seguido de la interactividad, la información del consumo de energía en tiempo real y finalmente el poder tener control remoto de encendido y apagado de funciones. Estos datos se pueden ver reflejados en la siguiente gráfica, teniendo presente que los usuarios estarían dispuestos a pagar por este tipo de electrodomésticos máximo 25% más del valor de los electrodomésticos tradicionales. Y nadie estaría dispuesto a pagar más del 100%.

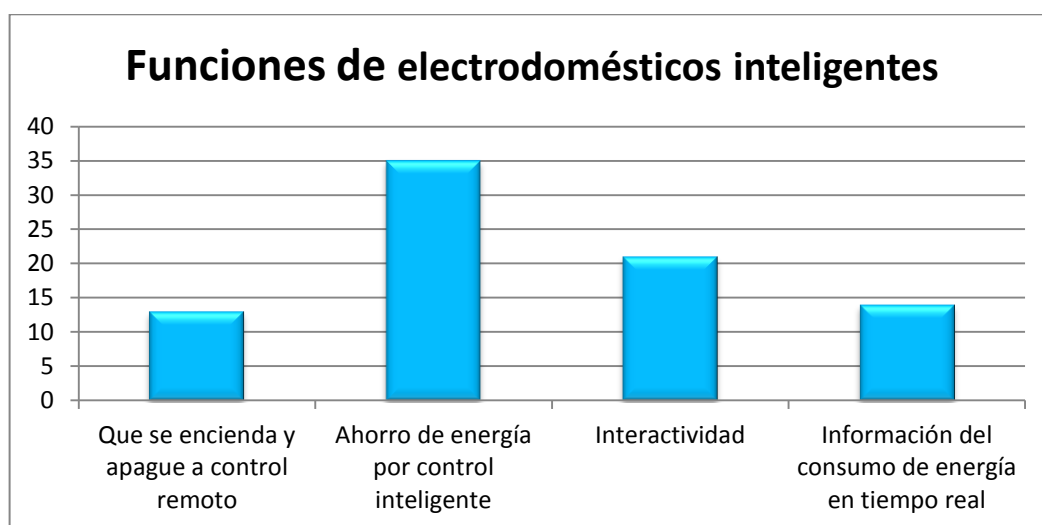


Figura 10. Funciones de electrodomésticos inteligentes

Fuente: Propia

Siguiendo esta misma línea, el 66% de los encuestados afirmó que si pudiera manejar los electrodomésticos inteligentes desde su dispositivo móvil siempre haría uso de la aplicación, el 30% a veces, y el 4% restante solo de manera ocasional.

De los mismos entrevistados, el 52% manifestó que los electrodomésticos de su hogar a veces permanecían apagados o desconectados, el 28% dijo que siempre, y 10% que ocasionalmente o nunca.

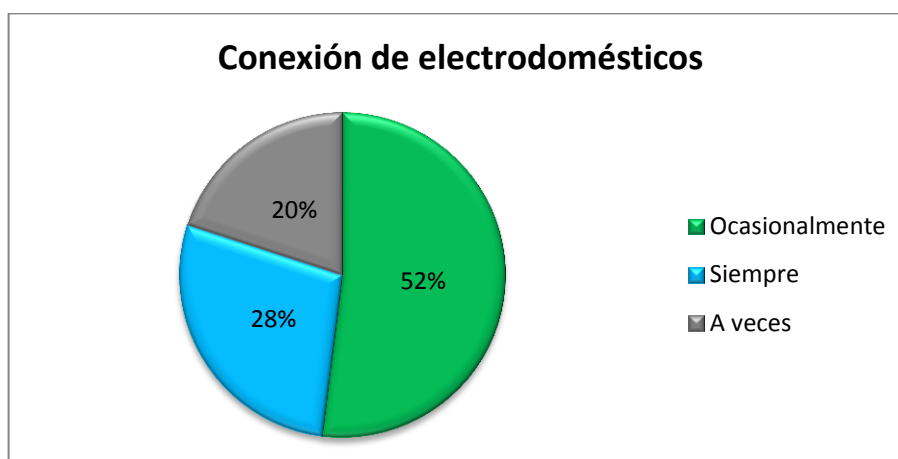


Figura 11. Conexión de electrodomésticos

Fuente: Propia

Finalmente, para saber cuáles creen los usuarios, son las principales bondades de una casa inteligente, o bajo la tecnología domótica, se encontró que la mayoría piensa que está relacionado con el aumento de la calidad de vida y el confort, seguido de la funcionalidad de la vivienda, la automatización de los sistemas del hogar, las comunicaciones el diseño y la seguridad.

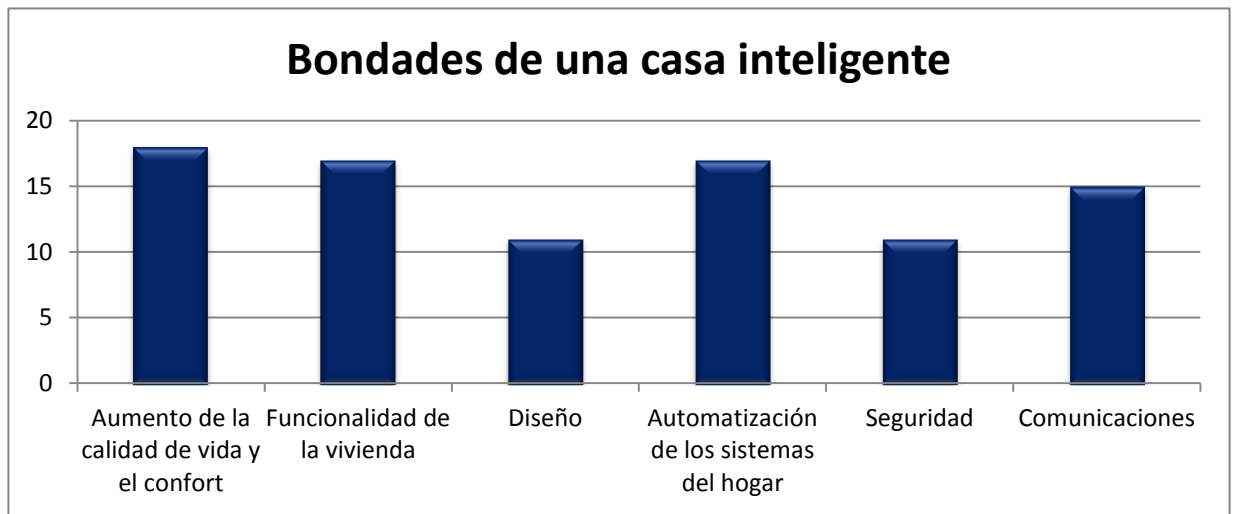


Figura 12. Bondades de una casa inteligente

Fuente: Propia

De estos usuarios el 66% estaría dispuesto a pagar por la tecnología domótica no más de 10 salarios mínimos, el 26% no más de 13 salarios mínimos, y solo el 8% más de 13 salarios mínimos.

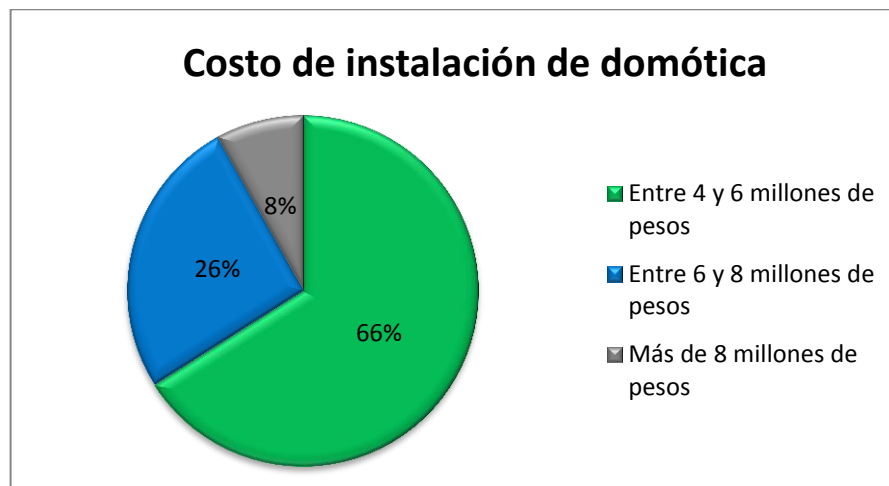


Figura 13. Costo de instalación de domótica

Fuente: Propia

5.1.2. USUARIOS NO REGULADOS – INDUSTRIALES

Selección de la muestra - Perfil de los encuestados

Se eligió de manera aleatoria a 16 personas de diferentes empresas de manufactura de la ciudad de Medellín. Este grupo estaba conformado por profesionales de diferentes saberes, y con cargos administrativos relevantes.

Objetivos de la encuesta

Esta encuesta se realizó con el objetivo principal de reconocer la percepción que tienen los usuarios no regulados de la ciudad de Medellín con respecto a las diferentes tecnologías que acompañan el desarrollo de las *Smart Grids* y los beneficios y servicios que pueden ofrecer para las diferentes empresas donde desempeñan sus labores.

Resultados de la encuesta

Cuando se preguntó si creían que a la empresa le interesaría que el proveedor de energía le brindara más información estadística acerca de su consumo, para mejorar la gestión interna de la energía, el 100% de los encuestados coincidió en que si les interesaría adquirir este servicio.

Posteriormente, cuando se indagó bajo la situación hipotética de que la tarifa de la energía fuera más económica en horas del día, y más costosa en la noche, y si creían que fuera posible que el proceso productivo de sus empresa permitiría ajustar los horarios de producción para que el consumo de energía eléctrica se diera en los momentos en los cuales la tarifa es más económica, solo el 25% de los

encuestados respondió que sí sería posible, siempre y cuando el ahorro fuera tan significativo que alcanzara para cubrir los gastos que implicaban tales cambios, y más que alcanzar que significara un ahorro.

El 75% restante que respondió que no, coincidió en que la razón eran los turnos de trabajo establecidos, y que de alguna manera uno de los turnos se vería interrumpido. Sobre todo en aquellas empresas donde se trabaja las 24 horas del día.

Luego, respecto a la si creían que la empresa estaría dispuesta a pagar una alta inversión inicial por la instalación de un sistema de generación propia, teniendo en cuenta que luego el costo de la energía sería muy inferior al actual, el 12% de los encuestados respondió que no; otro 13% que sí si la empresa recupera la inversión en máximo 5 años; un 25% respondió que sí si la empresa recupera la inversión en máximo 5 años; un 25% respondió que sí si la empresa recupera la inversión en mínimo 1 año; y el 50% restante dijo que sí, si la empresa recupera la inversión entre 1 y 3 años.

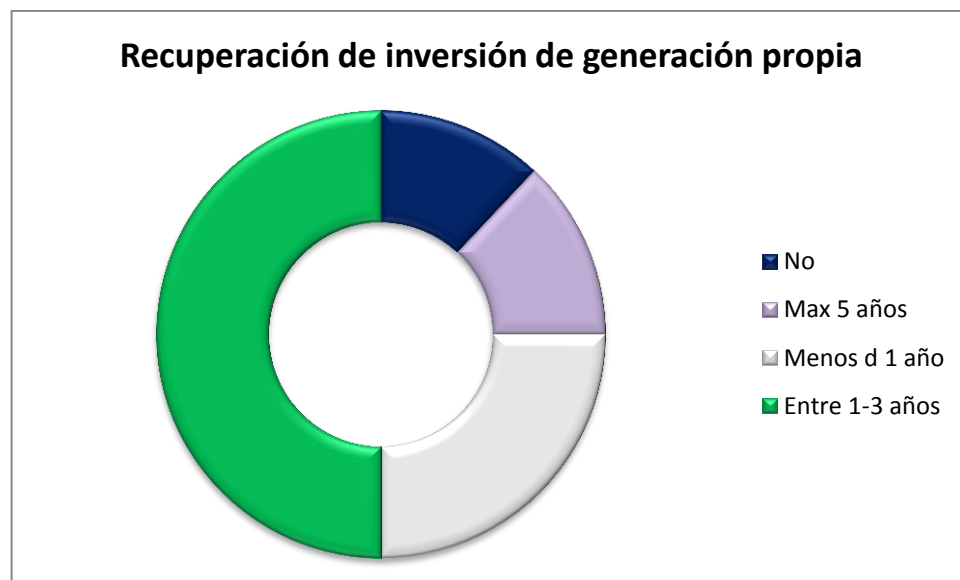


Figura 14. Recuperación de inversión de generación propia

Fuente: Propia

En esta misma línea el 80% de los encuestados coincidió en que la energía Solar fotovoltaica sería la energía técnicamente más fácil de implementar en sus empresas, el 12% la cogeneración, y el 6% la eólica.

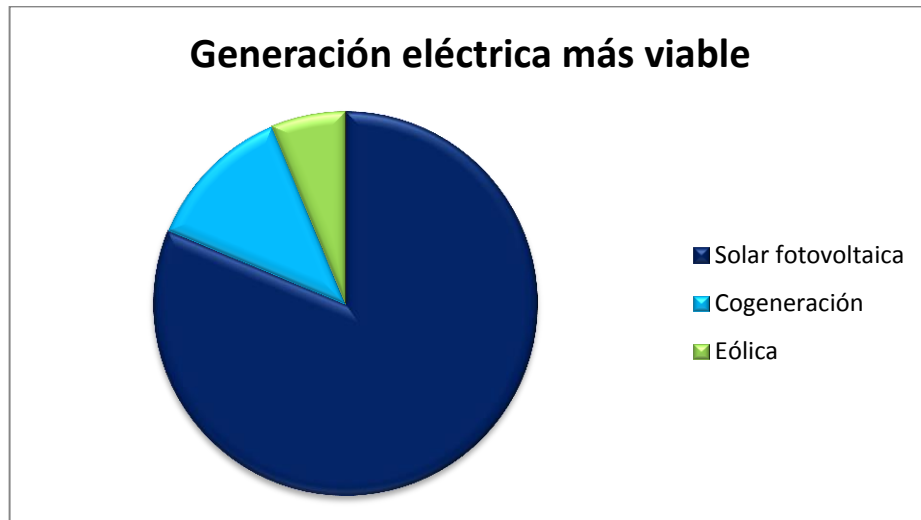


Figura 15. Generación eléctrica más viable

Fuente: Propia

Y las razones que atribuyeron principalmente a por qué no se había adoptado en las empresas sistemas de generación propios, eran por la alta inversión (39% de los encuestados), la ausencia de políticas por parte del gobierno (17%), falta de información sobre ventajas/desventajas (17%), desconocimiento de las opciones tecnológicas (17%) y finalmente porque hay conformidad con la tarifa de energía actual (11%).

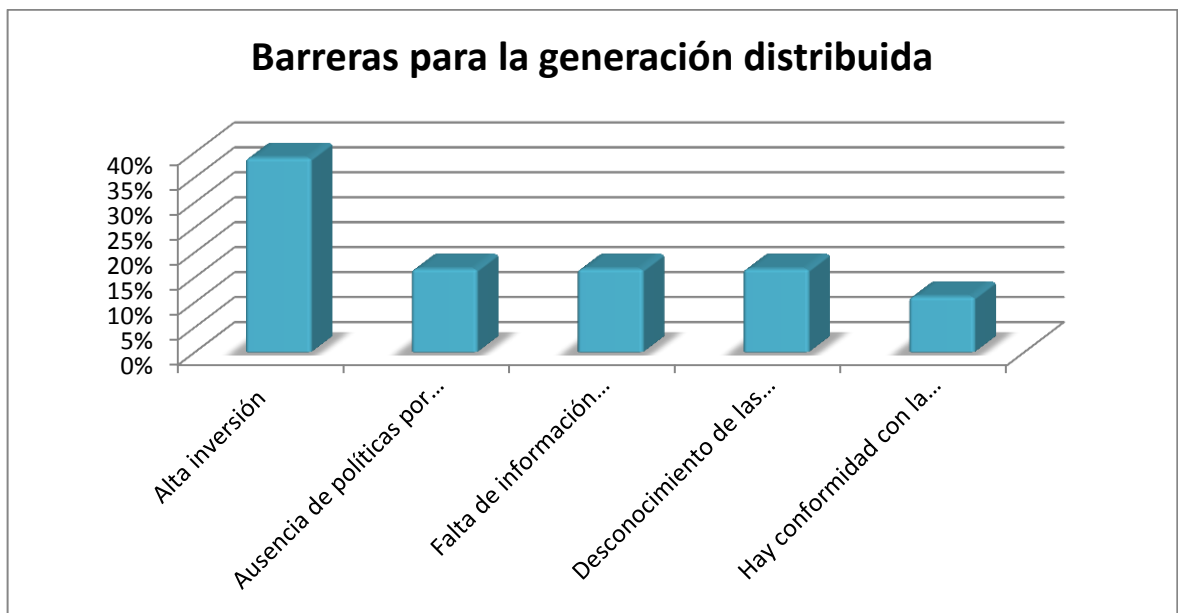


Figura 16. Barreras para la generación distribuida

Fuente: Propia

Por otro lado respecto a cómo creían que sería más factible que en su empresa implementaran un sistema de generación de energía renovable, el 56% de los encuestados estuvo de acuerdo en que sería muy factible hacerlo con facilidades de financiación con una entidad bancaria o similar, y otro 44% coincidió con que la opción menos factible era con inversiones de un tercero. Igualmente, de los encuestados el 63% afirmó que las empresas donde trabajan no poseen ningún tipo de generación de energía renovable para efectos de iluminación en los espacios de la planta, pero el otro 37% afirmó que en sus empresas si contaban especialmente con la solar. Y que el principal objetivo de estas implementaciones es el ahorro de costos.

Finalmente en el tema de inmótica, solo el 12% de los encuestados aseveró que en sus empresas contaban con este tipo de tecnología, pero el 88% restante aseguró que en sus empresas no. Además la mayoría coincidió en que el principal beneficio de esta tecnología era la automatización, seguido de la funcionalidad, diseño y finalmente comunicaciones y seguridad.

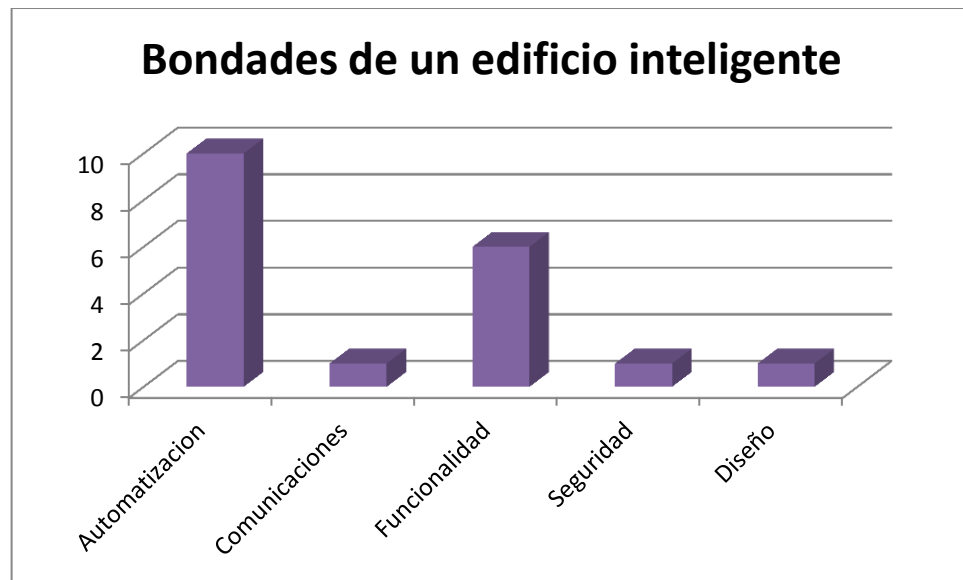


Figura 17. Bondades de un edificio inteligente

Fuente: Propia

Además, creen que las empresas accederían a instalar este tipo de sistemas principalmente pensando en la optimización de los recursos y con el interés de poder monitorear el funcionamiento general del edificio. Así mismo, el 40% de la muestra piensa que este puede darse entre los próximos 6 a 10 años.

5.1.3. CONSULTA CON EXPERTOS

Luego de identificar una serie de mecanismos aplicados en otros países para el desarrollo de *Smart Grids*, se realizó una consulta con expertos del sector eléctrico: un académico con énfasis de conocimiento en generación eléctrica, un empleado de las Empresas Públicas de Medellín, un empleado del Operador XM Expertos en mercado y un representante de las empresas fabricantes de equipos electrónicos en la ciudad, para saber desde su experiencia cómo creían que dichos mecanismos pudieran adecuarse a este mercado o la viabilidad financiera y regulatoria que el mercado eléctrico colombiano ofrecía precisamente a estos mecanismos.

El proceso metodológico de estas entrevistas consistió en que los expertos valoraran cada mecanismo enunciado en una escala determinada, calificando la viabilidad financiera (F) y regulatoria (R): 0 - ninguna, 1 - muy poca, 2 - media, 3 - alta y 4 - muy alta. Y cómo creían que respondería el usuario final a dicho mecanismo, si le sería indiferente o si lo motivaría a comprar la tecnología, o a usarla.

Algunos de los expertos no respondieron unos mecanismos, porque según su especialidad no se sentían con el criterio para valorar.

Finalmente, se les pedía adicionar al listado experiencias que tuvieran en otros países y que se pudieran adaptar a las necesidades del mercado colombiano para la implementación de *Smart Grids*.

A continuación se presentan las respuestas de los expertos. Primero se enuncia el mecanismo sobre el cuál se les preguntó, y posteriormente están las diferentes respuesta. Los expertos son llamados E, y se acompañan de un número que los representa del 1 al 4.

5.1.3.1. Respuesta a los Mecanismos de participación - Experiencia internacional

A continuación se expone una lista de mecanismos de implementación para el desarrollo de *Smart Grids* en el mundo, y las respuestas de los diferentes expertos en cuanto a la calificación de su viabilidad financiera y regulatoria en Colombia, y su opinión respecto al mismo:

- Que los usuarios tengan diferentes ofertas del plan tarifario según la medición en tiempo real.

E1: F: 2 R: 3. No se está obligando a las empresas a implementar los medidores inteligentes, y el usuario final tendría que asumir los costos de alguna manera, entonces eso puede empeorar el panorama. Si le toca pagarlo se puede dar un rechazo a la tecnología

EPM está buscando usuarios vanguardistas, que asuman estos costos, para hacer pruebas piloto.

También realizará un proyecto piloto en el barrio Naranjal.

E2: F: 2 R: 4. Muy viable implementar el esquema. Pero las inversiones lo frenan

E3: F: 3 Se puede prestar para que usuarios que no pueden mover la carga, como algunos residenciales no se benefician, e incluso al subir las tarifas en ciertas horas, ellos no tengan como disminuir su consumo.

R: 2 Requiere regulación que la CREG no la tiene para el mercado regulado. No puede ser muy rígida.

Los usuarios no regulados están abiertos a planes de este tipo.

Regulados pueden querer cierta flexibilidad pero no horaria (estacional o por franjas)

E4: F: 3 R: 2. Para las empresas puede ser muy conveniente, pero para el hogar muy difícil.

- Asignación de un porcentaje del PIB por parte del gobierno para estimular proyectos afines al desarrollo de *Smart Grids*, como fue el caso de Corea del Sur, donde asignaron el 2% del PIB (Isaac, 2012)

E1: F: 0 R: 0. En este país hay rubros que merecen más atención directa en este momento. Las condiciones de vida (calidad) de Corea del sur son muy diferentes a las de Colombia. De pronto puede darse para proyectos de investigación, y que ahí esté incluido el tema de *Smart Grids*, pero para desarrollo como tal muy difícil.

E2: F: 0 R: 0. No es viable. El país tiene muchas otras necesidades antes que invertir en esto

A menos que lo enfocaran a promover industrias locales alrededor de la tecnología

Una apuesta en este sentido es más viable, no comprar tecnología en el exterior y montarla aquí y ya, no.

E3: F: 1 R: 0. Esto es viable en países con deficiencia en generación de energía, y en el cual el gobierno sea el responsable de suplir esa demanda. En Colombia, el estado ha delegado esa función en empresas, por lo cual el estado no tendría un retorno de la inversión.

- Formación de consorcios entre el sector público y el privado, para facilitar la financiación de proyectos pilotos, en los que se hagan pruebas de *Smart Grids* en sectores geográficos específicos, como por ejemplo el macro proyecto de la Isla de Jejú donde el consorcio financio toda la implementación de *Smart Grids*, para crear a partir de las experiencias modelos de negocio.

E1: F: 3 R: 3. Algo así se va a hacer en la UPB, con patrocinadores oro (patrocinadores con capital), y varios tipos de patrocinadores. Ruta N también tiene iniciativas similares. Y en este sentido hay varias iniciativas en este país.

E2: F: 4 R: 4. Muy alta. No hay muchos retos para políticos y sí mucho interés de varios sectores públicos y privados. Se tiene que buscar desarrollar la industria aquí misma.

E3: F: 3. No de la magnitud de Jejú (en recursos financieros, área, etc), puede ser por ejemplo San Andrés

R: 2. Más que regulatorio es un problema y político 2 porque es difícil poner de acuerdo a los sectores.

E4: F: 4 R: 4. A pesar de las limitaciones económicas, por lo menos hay mucho interés de varias empresas del país. La mayoría han comenzado con medición centralizada.

- Que las empresas de energía promuevan el cambio de los medidores análogos por inteligentes, dando descuentos en las cuentas de cobro a quienes lo adquirieran en el menor tiempo establecido.

E1: F: 3 R: 3. Un usuario que vea recompensado su interés tecnológico hace que sea más viable el panorama

E2: F: 0 R: 0. Poco viable

E3: F: 4 R: 3. Ya lo van a hacer pues es más rentable que enviar personal a tomar la medida de forma directa.

E4: F: 4 R: 4. Es muy viable, pero no creo que las empresas lo vayan a hacer.

- Exigir en las nuevas construcciones la instalación de medidores inteligentes y sensores. Y algún tipo de generación renovable, al menos para la iluminación de los espacios públicos de la construcción.

E1: F: 2 R: 4. Sería lo ideal. Pero viable financieramente. Las certificaciones ayudarían mucho en este tema. En Yamaha por ejemplo tienen 35 kW en energía solar, instalado por el mismo que lo hará en la UPB.

E2: F: 1 R: 1. Muy poco. El constructor tendría que subir los precios de la vivienda y el usuario terminaría pagándolo de alguna manera

E3: F: 4 R: 4. Sería algo similar al reglamento RETIE. Es factible pero requiere voluntad política para hacer dicha exigencia.

- o Y algún tipo de generación renovable, al menos para la iluminación de los espacios públicos de la construcción.

F: 3 R: 2

Es difícil en tema de renovables pues no siempre hay disponibilidad del recurso (eólico o solar) en todas las zonas o puntos de construcción de viviendas. Algunos estarían obligados a poner un sistema pero sin contar con el recurso.

E4: F: 3 R: 0. No se les puede exigir que generen, ni el tipo de medidores que instalen. Se les puede dar beneficios por ello, más no exigir.

No sería apropiado inicialmente exigir la instalación, sería crearle enemigos a la tecnología. Se tiene que buscar es que la acepten amigablemente, y vender la idea de los beneficios. Además es más conveniente entrar primero a las industrias y luego a los hogares.

- Que las empresas de energía financien los dispositivos necesarios para el desarrollo de *Smart Grids*, difiriendo su valor en varias cuotas, y que sean incluidas en las facturas mensuales.

E1: F: 2 R: 3. El usuario final ahora mismo no está lo suficientemente motivado para esto. Solamente los vanguardistas.

EPM va a montar los 3 tipos de medidores inteligentes. Agua, Luz, gas en una prueba piloto.

Un medidor inteligente puede costar hasta 4 o 5 veces más que el análogo.

E2: F: 0 R: 1. Poco viable.

El cliente no lo hará por montarse en la moda de *Smart Grids*. Necesita muchos beneficios

E3: F: 3 R: 4. Este esquema es más atractivo para el usuario regulado

- Que el gobierno cambie las luminarias del alumbrado público por luminarias bajo tecnología verde, y lo financie con los ahorros de energía que estos implican en el futuro cercano.

E1: F: 2 R: 3. Primero hay que hacer pruebas pilotos, que demuestren las maravillas de estas luminarias.

En este momento no es viable financieramente en un momento cercano, pero si se demuestra que esto funciona sería 3,5 financieramente.

E2: F: 4 R: 4. Muy viable. Los municipios deberían hacer esto, pues son los dueños.

E4: F: 4 R: 4. No tanto luminarias bajo tecnologías verdes, sino con medidores, para que se comuniquen, y hacer así una especie de *Smart Grids*.

- Establecer leyes que exijan a las empresas de los diferentes sectores de la economía, reducir el consumo de energía en cierto porcentaje para un periodo de tiempo determinado, como es el caso de varios estados de EU. Y de esta manera se promueve el uso de tecnología *Smart Grids*.

E1: F: 3 R: 3. Se llama demanda desconectable. Se va a hacer en la UPB.

Hay que definir muy bien las condiciones, sobre todo de planeación en las empresas, para saber las mejores maneras de rebajar el precio sin afectar los ciclos productivos, y que no lo vean como algo negativo.

Cuando vean los ahorros van a ver el beneficio

E2: F: 3 R: 2. Se pueden establecer metas, pero esas metas implican inversiones. Entonces en la empresa esa inversión implica que se afecten los márgenes de rentabilidad. Es muy complejo en los temas de eficiencia energética, sobre todo para la empresas. Son inversiones muy costosas inicialmente.

E3: F: 4 R: 2. Se debe diseñar una buena estrategia regulatoria, como se verifica la reducción, como se hace seguimiento en el tiempo.

E4: F: 2 R: 4. Ya existe desde la regulación con el factor de potencia, donde se tiene que cumplir lo establecido, sino se puede cobrar multas a las empresas. A las empresas de energía les conviene que les compren energía, pero también disminuir los picos de la demanda, entonces se podría hacer.

- Realizar laboratorios de experimentación, como lo ha hecho TecNALIA en sus propias instalaciones en España. para contar con proyectos demostrativos que generen confianza en la tecnología.

E1: F: 3 R: 4. Ya se está haciendo como se dijo anteriormente. Es muy viable financieramente en este momento porque hay sector privado interesado por ser tecnologías nuevas

E2: F: 4 R: 4. Alta.

E3: F: 4 R: 3. Es importante que los usuarios vean los beneficios de la tecnología aplicada en el país.

E4: F: 2 R: 4. En Colombia solo una de las empresas de energía ha mostrado gran interés. Las otras no lo hacen mucho, y en un país como este estas iniciativas nacen es de estas empresas.

- Que las universidades ofrezcan becas para estudios relacionados con el desarrollo de *Smart Grids*, y como beneficio obtengan el crédito de los trabajos desarrollados.

E1: F: 0 R: 0. Tanto como becas no. Capacitación, cursos, y similares de alta calificación sí. Las universidades tienen que prepararse para poder preparar a las personas en el futuro, y atender este tema de la mejor manera.

E2: F: 4 R: 4

E3: F: 4 R: 4

E4: F: 4 R: 4. Deberían hacerlo. Se necesitan más profesionales capacitados en el tema. Y que acompañen los temas de certificación.

- Que se cree una ley de “Recuperación y Reinversión”, como lo hizo Estados Unidos, asignando recursos económicos para la modernización de la red. (Lee, 2012)

E1: F: 3 R: 3. Viable, pero está empezando por generación distribuida. Luego deben seguir con otras cosas. Ya está en el congreso

E2: F: 0 R: 0. Muy poca o ninguna.

E3: F: 4 R: 2

- Que el gobierno exija a los concesionarios o empresas que comercializan carros, un % mínimo de venta de carros eléctricos por cierta cantidad de carros con combustible fósil.

E1: F: 1 R: 2. Sería lo ideal. Pero vuelve y juega el papel del usuario que esté dispuesto a hacerlo. Además tiene que haber primero masificación de electro lineras. Mientras tanto es complicado. Solo aplicaría para familias de alto poder adquisitivo.

E2: F: 0 R: 0. Es una práctica restrictiva del mercado. Hay que darle es el incentivo al cliente y eso movería la industria

E3: F: 0 R: 0. No se puede obligar a un vendedor a cumplir una cuota sobre un producto que es más costoso que el que normalmente vende.

E4: F: 1 R: 0. No los pueden obligar. Lo que si pueden es fomentar la compra. En este país no les veo mucho futuro a los vehículos eléctricos, sino más bien a los híbridos. Es muy complicado sobre todo para el transporte particular por el tema de baterías, y porque son muy costosos. La batería tiene una vida útil muy corta, entonces quien adquiera este tipo de vehículos tendrán que cambiar las baterías constantemente, lo que encarece su valor en el corto plazo.

- Que los propietarios de las estaciones de gasolina, comiencen a implementar en sus diferentes estaciones algunos cargadores rápidos para los carros eléctricos, como lo hizo el grupo ABB en Estonia, para incursionar en este nuevo mercado y ser pioneras en desarrollo. (El Espectador, 2012)

E1: F: 2 R: 2. Ya por lo menos Terpel está haciendo intenciones. Ya hay intenciones

E2: F: 1 R: 1. Mientras no haya incentivos a la venta de vehículos muy difícil.

E3: F: 2 R: 1. Mientras no haya mercado no le justifica

E4: F: 1 R: 4. EPM lo quiere hacer en sus estaciones de gas. El pero es que las cargas rápidas mínimo demoran 1 hora, entonces el cliente qué va a hacer en ese tiempo. Es muy complicado por el tema de mercado.

En los centros comerciales y grandes superficies que tienen estaciones sería más viable, pero para las otras no.

- Proponer modelos de micro generación distribuida en los usuarios industriales, incentivándolos con disminución de impuestos.

E1: F: 4 R: 4. Ya hay empresas que lo han hecho

E2: F: 2 R: 2

E3: F: 2 R: 1. El gobierno no se ahorra nada porque no es quien genera.

E4: F: 2 R: 1

- Que las empresas adquirieran tecnologías vinculadas a nuevas energías renovables inteligentes con la ayuda de un banco destinado a financiar este tipo de proyectos, similar a como funciona el banco agrario con los agricultores.

E1: F: 4 R: 3. Sería muy buena idea. Igual funcionaría como un banco normal. No iría en contra del modelo de negocio que tienen.

E2: F: 1 R: 1. Los recursos del gobierno son muy limitados. Además el sector eléctrico es estable.

El gobierno se preocupa por mover otras industrias, en donde la plata no se vaya para otro lugar.

E3: F: 2 R: 1. El Gobierno no puede sacar recursos para promover tecnologías que son más costosas que las que actualmente existen, sobre todo porque no se está en una situación crítica como la de otros países, que no tienen muchas opciones de generación de energía y debe acudir a esos mecanismos.

E4: F: 1 R: 3. Como la energía en este país es buena, y la generación no es tan mala para el medio ambiente, es difícil que el gobierno piense en invertir en este campo.

- Diseñar un sistema de transporte en las ciudades, que contemple los carros eléctricos como protagonista principal.

E1: F: 3 R: 3. Primero el transporte eléctrico masivo, que el particular. Trolebuses, tranvías, etc.

E2: F: 2 R: 2. La movilidad en las ciudades va a ser multimodal, va a haber muchos tipos. En algunos de esos segmentos va a ser muy competitivo, pero no veo viable que sea solo el eléctrico. El principal limitante para los particulares son las baterías.

En el masivo el eléctrico debería ser eléctrico por rentabilidad, entre otros.

En el caso de Medellín por ejemplo, ya se tomó la decisión de que el Metro Plus sea a gas, y es una inversión mínima de 15 años, entonces no será fácil cambiar el sistema en el corto plazo.

E3: F: 3 R: 2. Si es en el transporte público se puede contemplar como estrategia del gobierno. A los particulares se les puede motivar a usar el transporte eléctrico mas no se les puede obligar.

E4: F: 3 R: 4. Para el transporte masivo sería la solución. El privado todavía se demora, ni siquiera en países de Europa, ni es Estados Unidos se ha podido posicionar.

- Que las empresas ensambladoras de automóviles y motocicletas en el país desarrollen líneas de producción para vehículos eléctricos, y disminuyan la producción de vehículos a combustión interna, con incentivos monetarios por parte del gobierno.

E1: F: 0 R: 0. Muy difícil porque sería condicionar el mercado

E2: F: 2 R: 2

E3: F: 4 R: 3. Si el gobierno asume el sobre costo (este es el mejor esquema)

5.1.3.2. Conclusiones de la consulta con expertos

Desde la regulación la mayoría de los mecanismos son viables, pero en Colombia todavía no se están implementando.

Los costos asociados a la medición en tiempo real hacen que los usuarios industriales tiendan a implementar medidores inteligentes aunque no los obligue la regulación.

Es importante realizar una segmentación del mercado, para poder atender las diferentes necesidades desde *Smart Grids*, según el mercado objetivo.

Las *Smart Grids* tendrán una penetración lenta en el mercado colombiano, pero indudablemente la evolución de la tecnología llevará a ellas tarde o temprano.

Es más fácil que la tecnología sea adoptada primero por las empresas, y luego por los hogares.

Una solución para las barreras de *Smart Grids*, es que en el país se forme una industria en torno a todos los desarrollos, y no se dependa de lo que hagan los otros países y se requiera comprarles toda la tecnología a ellos.

Antes de tomar decisiones del ámbito de automatización de sistemas, es importante analizar el impacto social que va a tener sobre todo en la generación de empleo, pues esto daría lugar a la supresión de muchos puestos de trabajo.

La voluntad política jugará un papel decisivo en estos desarrollos.

Es importante que los usuarios vean los beneficios de la tecnología aplicada en el país, por medio de laboratorios de experimentación.

Diseñar un sistema de transporte masivo en las ciudades, que contemple la alimentación eléctrica como protagonista principal.

Finalmente, en el siguiente capítulo se pretende exponer algunos mecanismos para la implementación de Smart Grids en Colombia a partir del análisis de viabilidad que acaba de exponerse.

6. MECANISMOS PROPUESTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SMART GRIDS EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

- Formación de consorcios entre el sector público y el privado, para facilitar la financiación de proyectos pilotos, en los que se hagan pruebas de *Smart Grids* en sectores geográficos específicos, como por ejemplo el macro proyecto de la Isla de Jejú donde el consorcio financio toda la implementación de *Smart Grids*, para crear a partir de las experiencias modelos de negocio.
- Realizar laboratorios de experimentación, como lo ha hecho TecNALIA en sus propias instalaciones en España. para contar con proyectos demostrativos que generen confianza en la tecnología.
- Que las empresas de energía promuevan el cambio de los medidores análogos por inteligentes, dando incentivos a quienes lo hagan en el menor tiempo posible.
- Que las universidades ofrezcan becas para estudios relacionados con el desarrollo de *Smart Grids*, y como beneficio obtengan el crédito de los trabajos desarrollados. Además de capacitaciones de alta calidad.

Otros mecanismos propuestos por los expertos

- Cambiar la regulación colombiana donde el medidor es propiedad del cliente. Si fuera de las empresas de energía podrían hacerse más cosas desde tales empresas.
- Diferenciación en las tarifas horarias, para motivar al usuario hacia las *Smart Grids*.
- Que los operadores de red tengan más metas hacia la eficiencia energética, mediante beneficios.

- Otro esquema que puede servir para *Smart Grids* sería que los clientes pudieran escoger un kWh producido por energía renovable, llamado en unos países kWh verde, donde se paga un poco más por los kW que vengan de energías verdes. En Colombia una barrera para esto es que el 80% de los clientes son subsidiados, y la pregunta es si el 20% restante estaría dispuesto a pagarlo.
- Demanda desconectable: pagar al usuario por tener la disponibilidad de disminuir su consumo en ciertos momentos pico del sistema. En Colombia está en teoría pero no se ha regulado.
- Más apoyo al desarrollo tecnológico. Por ejemplo en el caso de los medidores inteligentes, hoy son económicamente viables porque se han desarrollado tecnologías más baratas para su implementación.
- Contrario a lo que asegura IEA (Agencia Internacional de Energía, por sus siglas en inglés), hay algunos desarrollos de las *Smart Grids* que si se pueden dar por solo la respuesta del mercado, sin necesidad de incentivos del gobierno, como es el caso de la medición inteligente, y en un futuro, cuando se disminuyan los costos de los vehículos eléctricos.
- Que las empresas de servicios busquen aliados estratégicos a nivel nacional para desarrollar la tecnología necesaria para las *Smart Grids*.
- Que las universidades promuevan la investigación y desarrollo en torno a esta tecnología.

7. CONCLUSIONES

Smart Grids es la evolución que sufre la red eléctrica a través del tiempo, una evolución que usualmente se da en cualquier tecnología. Es decir *Smart Grids* es el conjunto de varias tecnologías que apuntan al mejoramiento de la red eléctrica convencional.

El mercado de energía eléctrica en Colombia está compuesto por mucho agentes, pero para el tema de *Smart Grids* cada uno de ellos juega un papel muy diferente. En el caso de los Generadores, Transportadores y Distribuidores las tecnologías involucradas como tal pueden cambiar y perfeccionar muchos procesos mediante la automatización de los sistemas. Pero los usuarios de la red son quienes finalmente al aceptar o rechazar la tecnología determinarán su éxito.

No habrá un solo concepto para *Smart Grids* en el mundo, sino que el concepto se debe ir adaptando a los entornos donde se quiere implementar. En todos los países es diferente dependiendo de las problemáticas que se tengan y que se quieran solucionar. Y el usuario mismo también definirá estas necesidades.

Colombia no está en cero en cuanto al desarrollo de *Smart Grids*, pues por lo menos hay muchas iniciativas de varios sectores para comenzar trabajos de investigación y desarrollo, como es el caso de Colombia Inteligente, donde mediante un mapa de ruta ya se tienen objetivos y tiempos establecidos para avanzar en el tema.

No existe un solo mecanismo para que se pueda dar la implementación de *Smart Grids* en Colombia, sino que la unión de varios de ellos facilitarán el camino para el éxito de esta tecnología. Este éxito dependerá además de la concientización que se logre con los usuarios finales.

Según el concejo mundial de energía uno de los principales limitantes para el desarrollo de *Smart Grids* es el tema económico, pues las inversiones iniciales son del orden los miles de millones de pesos.

Los usuarios industriales juegan un papel decisivo para la implementación de este tipo de tecnologías, pues son quienes pueden obtener mayores beneficios económicos y en menor tiempo. Pese a que en el país, los usuarios de la red todavía no están familiarizados con el concepto de *Smart Grids*, por ende su aceptación no es notoria. Sin embargo se debe buscar que de una manera amigable se llegue a la aprobación y reconocimiento de la misma.

En un país donde los recursos energéticos son tan buenos, es muy difícil adaptar este tipo de tecnologías, y para mayor éxito se deben enfocar sobre todo en los ahorros y gestión de la energía, para que sean más atractivos a los consumidores.

Una de los principales beneficios que esperan los usuarios finales de la red, tanto regulados como no regulados están asociados a los ahorros energéticos y gestión de la demanda. Los demás beneficios de las *Smart Grids* están enfocados a usuarios de tipo vanguardistas.

La implementación de tarifas horarios en Colombia, podría favorecer el interés de las *Smart Grids* por parte de los usuarios. Además la promoción del cambio de medidores análogos por inteligentes facilitaría el camino para el futuro de las *Smart Grids*

REFERENCIAS

- Carbono y Bosques*. (2001). Recuperado el 12 de junio de 2010, de Carbono y Bosques: www.carbonoybosques.org
- (2003). *Uso Racional de Energia - El Plan Energetico Nacional*. Colombia.
- UNFCCC. (18 de 12 de 2009). Obtenido de <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/l07.pdf>
- UNFCCC. (2010). Recuperado el 21 de Enero de 2011, de <http://cdm.unfccc.int/Projects/diagram.html>
- UNFCCC. (11 de Diciembre de 2010). Obtenido de http://unfccc.int/files/press/news_room/press_releases_and_advisories/application/pdf/pr_20101211_cop16_closing_esp.pdf
- Businesscol*. (2011). Recuperado el 2011, de <http://www.businesscol.com/>
- Gerencie*. (2011). Obtenido de <http://www.gerencie.com/depreciacion.html>
- Pymesfuturo*. (2011). Obtenido de <http://pymesfuturo.com/vpneto.htm>
- UNFCCC. (2011). Recuperado el 01 de 02 de 2011, de <http://cdm.unfccc.int/EB/governance.html>
- Colombia Inteligente*. (2012). Recuperado el 2012
- Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. (2000). *accefyn*. Recuperado el 15 de Junio de 2010, de [http://www.accefyn.org.co/Web_GEI\(actualizada\)/Archivos_gei/P_Cap06_Metodologia.pdf](http://www.accefyn.org.co/Web_GEI(actualizada)/Archivos_gei/P_Cap06_Metodologia.pdf)
- Acuña, P. (2011). Recuperado el septiembre de 2012, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4170/1/300263.2011.pdf>
- APROTEC. (2010). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de Tecnología apropiada: <http://www.aprotec.com.co/pages/fotovoltaco.html>
- Astigarraga, E. (1999). *Método Delphi*. Bilbao: Universidad de Deusto.

- AstroMia. (s.f.). *AstroMia*. Recuperado el 15 de junio de 2010, de <http://www.astromia.com/tierraluna/atmosfera.htm>
- Betancur, S. (2007). *e-URE*. Recuperado el Enero de 2010, de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/5/inicio.html>
- CAEMA. (s.f.). *Andeacenter*.
- Caicedo, J. C. (s.f.). *Andeancenter*. Recuperado el 13 de Junio de 2010, de http://www.siame.gov.co/siame/portals/0/Seminario%20Internacional/JUAN_CARLOS_CAICEDO.PDF
- Carmanah Company. (26 de Marzo de 2012). Obtenido de <http://carmanah.com/company/news-and-updates/media-clipping/era-solar-carmanah-lanza-su-farola-solar-mas-potente>
- CDM-Executive Board. (2010). *General Guidelines to SSC CDM methodologies*.
- Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente (CAEMA). (s.f.). *Andeacenter*. Recuperado el 15 de Junio de 2010, de <http://www.andeancenter.com/>
- Chapman, S. J. (2000). Potencia y par en los motores de induccion. En S. J. Chapman, *Maquinas Electricas* (págs. 402-404). Mc Graw Hill.
- Chejne, F. (2007). *e-URE*. Recuperado el 7 de Abril de 2011, de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/12/inicio.html>
- Comisión Nacional de Energía. (2006). *Guía del Mecanismo de Desarrollo Limpio para Proyectos del Sector de Energía en Chile*. Santiago de Chile: ByB impresores.
- Conservación Internacional Colombia. (2007). *conservación internacional*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de conservación internacional: www.conservation.org.co
- Contreras, E. (2009). *Evaluación multicriterio*. Naciones Unidas.
- Corporacion Andina de Fomento. (2009). *CAF*. Recuperado el 14 de junio de 2010, de <http://www.caf.com/view/index.asp?ms=12&pageMs=55780>

- CREG. (s.f.). CREG. Recuperado el Julio de 2012, de http://www.creg.gov.co/html/i_portals/index.php?&p_origin=plugin&p_name=glosario&p_id=A&p_options=verConceptos
- Díaz, D. F. (2012). World energy perspective *Smart Grids: Best practice fundamentals for a modern energy system*. (pág. 27). Bogotá: COCME.
- Eco Inteligencia. (2013). *¿Qué servicios ofrece una Smart City a sus ciudadanos? La movilidad urbana*. Recuperado el 2013, de <http://www.ecointeligencia.com/2013/07/que-servicios-ofrece-una-smart-city-a-sus-ciudadanos-2/>
- ECO securities. (09 de 2008). *Voluntary Emission Reduction (VER) standard*. Recuperado el 21 de 01 de 2011, de <http://spanish.ecosecurities.com/Assets/24095/ver%20standards%20presentation.pdf>
- ECODES. (2011). *Ecología y Desarrollo*. Recuperado el 19 de 1 de 2011, de <http://www.ecodes.org/cambio-climatico-y-ecodes/mercados-voluntarios-de-carbono>
- Ecosystem marketplace. (2010). *Mercados Ambientales*. Recuperado el 1 de 2 de 2011, de http://www.mercadosambientales.com/pages/dynamic/marketwatch.landing_page.php
- El plan energético nacional - estrategia energética integral 2003 - 2020. (s.f.). UPME. Recuperado el 13 de junio de 2010, de <http://www.upme.gov.co/Docs/Plan%20Energetico%20Nacional/12.%20Uso%20Racional%20de%20Energia/planenergetico-52.pdf>
- El Tiempo. (Enero de 2010). La domótica sigue ganando terreno. *El Tiempo*.
- El tiempo. (18 de mayo de 2012). *eltiempo.com*. Recuperado el septiembre de 2012, de http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-11831582.html
- Endesa. (Octubre de 2010). *andesco.org.co*. Recuperado el Septiembre de 2012, de <http://www.andesco.org.co/site/assets/media/EVENTOS%20ANDESCO/1.%20Transporte%20El%C3%A9ctrico.pdf>

Energy & Environment Group. (2003). Developing the Project Design Document. En *THE CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM: A USER'S GUIDE* (pág. 36). New York.

Energy & Environment Group. (2003). Project Idea Note. En *THE CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM: A USER'S GUIDE* (pág. 24). New York.

Enertolima. (s.f.). Obtenido de
<http://www.enertolima.com/portal/index.php/venta-de-energia/mercado-regulado-y-no-regulado.html>

Ferrando, M. G. (1992). *El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de investigación*. Madrid: Alianza Universidad.

Flórez, R. O. (2001). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Bogotá: McGRAW - HILL INTERAMERICANA.

GIEN & KAI. (2007). Eficiencia Energética en Transformadores Eléctricos. Colombia.

Global Footprint Network. (2003). *Global Footprint Network*. Recuperado el 2 de 2 de 2011, de
http://www.footprintnetwork.org/es/index.php/GFN/page/at_a_glance/

Gomez, C. (2007). *e-URE*. Obtenido de
<http://www.si3ea.gov.co/Eure/9/inicio.html>

Gomez, T. (2012). Redes eléctricas inteligentes. (pág. 46). Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

Green, Q. (2012 de Noviembre de 2012). Obtenido de
<http://generatuenergia.com/2012/11/11/mexico-ilumina-parte-de-supervia-poniente-con-farolas-solares-eg500/>

Green, Q. (10 de Septiembre de 2012). Recuperado el noviembre de 2012, de
<http://generatuenergia.com/2012/09/10/iluminacion-exterior-sostenible-farola-hibrida-solar-eolica-uge-sanya-sls/>

- Hernández, A. R. (2009). La generación distribuida y su posible integración al sistema interconectado nacional. (pág. 98). Bogotá: CREG.
- Hogar digital. (12 de Abril de 2010). *Telecomunicación Campus Sur*. Obtenido de http://hogardigitalaccesible.euitt.upm.es/index.php?option=com_content&view=article&id=13:pasarela-residencial&catid=3:tecnologias&Itemid=10
- Hoyos Estrada, C. H. (2009). *Formulación del proyecto MDL forestal “Más bosques para Medellín: un ambiente sano para el presente y el futuro” en el municipio de Medellín*. Medellín.
- IETA/WORLD BANK. (26 de MAYO de 2010). CARBON EXPO. Recuperado el 12 de JUNIO de 2010, de CARBON EXPO: <http://www.carbonexpo.com/index.php>
- International Energy Agency. (2011). *Technology Roadmap Smart Grids*. Paris.
- Isaac, I. (8 de junio de 2012). Recuperado el noviembre de 2012, de http://www.cocme.org/ac/images/stories/mesa_u/09-iai.pdf
- ISO. (2010). *Energy management systems – Requirements with guidance*.
- Juncoop. (2012). Recuperado el septiembre de 2012, de <http://es.juncoop.com/Articles.asp?ID=289>
- KAI & GIEN. (2007). Ahorro de Energía en Sistemas de Bombas Centrífugas. Colombia.
- KAI & GIEN. (2007). Eficiencia Energética en los Sistemas de Aire Comprimido. Colombia.
- KAI & GIEN. (2007). Eficiencia Energética en Motores Eléctricos. Colombia. Recuperado el 15 de 2 de 2011, de UPME.
- Laiz, H. (2012). *Metrología, Normalización y Ensayos para las “Smart Grids”*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Industrial .
- Lee, Y. (2012). *Las redes inteligentes de energía y su implementación en ciudades sostenibles*. Banco Interamericano de desarrollo.

- Malhotra, N. (2004). *Investigación de mercados. Un enfoque aplicado*. Mexico: Pearson Education.
- Mesa S., O., Poveda J., G., & Carvajal S., L. F. (1997). *Introducción al clima de Colombia*. Medellín: Imprenta Universidad Nacional.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. (9 de junio de 2010). *minambiente*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=5701&catID=1036>
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (9 de junio de 2010). *minambiente*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=5701&catID=1036>
- Ministerio de Educación de Colombia. (2010). *Colombia una potencia en energías alternativas*. Colombia.
- Miranda, D. (2008). *Estado y desarrollo de la tecnología Smart Grid en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Naciones Unidas. (1998). *PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN*. Kyoto.
- Nieto, C. (2007). *e-URE*. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/7/inicio.html>
- Ossa, D. (2012). *Análisis del comportamiento estratégico de los agentes generadores en el mercado eléctrico colombiano*. Universidad Nacional de Colombia.
- Perez, C. (2007). *e-URE*. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/8/inicio.html>
- Point Carbon. (2010). *pointcarbon*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de [pointcarbon: www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)
- PROCOBRE. (2006). *Tipos de Colectores Solares*. Obtenido de [procobre: http://www.procobre.org/procobre/pdf/02_energia_solar_03.pdf](http://www.procobre.org/procobre/pdf/02_energia_solar_03.pdf)

- Publicación de negocios colombo alemana. (Abril de 2010). *ahk-colombia*. Recuperado el 14 de junio de 2010, de www.ahk-colombia.com/fileadmin/user.../DOING_BUSSINES_63.pdf
- Ríos, M. A. (2011). *Metrología, Normalización y Ensayos para las "Smart Grids"*. México DF: Instituto Politécnico Nacional.
- Rodriguez, H., & Gonzàles, F. (2000). Portafolio colombiano de proyectos para el MDL - Sector Energía. Bogotá, Colombia.
- S. Botero, A. C. (s.f.). *Regulación para el Fomento de las Energías Alternas en el Mercado Colombiano*.
- Saldarriaga, L. (21 de Agosto de 2012). *elcolombiano.com*. Recuperado el Septiembre de 2012, de http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/E/el_trolebus_pide_via_en_el_concejo/el_trolebus_pide_via_en_el_concejo.asp
- Salinas, M. Z. (2007). *Guía sobre los Mercados y la Comercialización de Proyectos MDL Forestales*.
- SIAME. (Julio de 2003). *SIAME*. Obtenido de http://www.siame.gov.co/siame/documentos/documentacion/mdl/HTML/18_FECOC.htm
- Sosa, M. I. (2013). *La cogeneración en el contexto de las tecnologías de conversión energética del futuro*. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- Stoecker, W. F. (1998). *Industrial Refrigeration Handbook*. McGraw-Hill.
- SWECA, S.A. (1997). *SWECA, S.A.* Recuperado el 12 de junio de 2010, de SWECA, S.A.: www.sweca.com
- Tadeo, F. U., Isaza Delgado, J. F., & Campos Romero, D. (2007). *Cambio Climático, Glaciaciones y calentamiento global*. Bogotá.
- Trujillo, D. (2007). *e-URE*. Obtenido de <http://www.si3ea.gov.co/Eure/6/inicio.html>
- TUV SUD. (2007). *VER+*. Obtenido de http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1179142340972697520616/Standard_VER_e.pdf

- TUV SUD. (2007). *VER+*. Obtenido de http://www.tuev-sued.de/uploads/images/1179142340972697520616/Standard_VER_e.pdf
- Twenergy . (2013). *Codensa*. Recuperado el 8 de 10 de 2013, de <http://twenergy.com/energia-eolica/que-es-la-energia-eolica-382>
- UNFCCC. (s.f.). *UNFCCC*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de UNFCCC: <http://unfccc.int/2860.php>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2010). *SI3EA*. Recuperado el 2010, de <http://www.si3ea.gov.co/Home/CartilladelaFNCE/tabid/82/language/en-US/Default.aspx>
- UNITED NATIONS. (1998). *KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE*. Kyoto.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2010). *CDM METHODOLOGY BOOKLET*. Bonn, Germany.
- UPB. (Octubre de 2013). *Universidad Pontificia Bolivariana*. Obtenido de http://www.upb.edu.co/portal/page?_pageid=1054,32449389&_dad=portal1&_schema=PORTAL
- UPME & IDEAM. (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Colombia.
- UPME. (2004). *Una visión del mercado eléctrico colombiano*. Bogotá.
- UPME. (2008). *UPME*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de UPME: www.upme.gov.co
- UPME. (2010). *Energías renovables, descripción, tecnologías y usos finales*.
- Vanegas, J. G. (Septiembre de 2011). *Identificación y priorización de barreras a la eficiencia energética: un estudio en microempresas de Medellín*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Vargas, J. A. (2013). Aspectos globales de la energía y el Trilema de sostenibilidad energética, Vision wec 2013. *Jornada Técnica COCME*. Bogotá.
- Velez R., C. (2010). *Oportunidades del Mercado Internacional del Carbono*. Medellín, Colombia.

Verbong, G. P. (2012). *Smart grids or smart users? Involving users in developing a low carbon electricity economy*. Eindhoven, Países Bajos.

Villanueva, T. (8 de Junio de 2012). Obtenido de
http://www.cocme.org/ac/images/stories/mesa_u/02-phc.pdf

WBCSD. (1993). *CECODES*. Recuperado el 12 de junio de 2010, de CECODES:
www.cescodes.org.co

Wulfinghoff, D. R. (1999). *Energy Efficiency Manual*. Maryland: Energy Institute Press.

Wulfinghoff, D. R. (1999). *Energy Efficiency Manual*. En D. R. Wulfinghoff, *Energy Efficiency Manual* (págs. 1161-1162). Wheaton, Maryland U.S.A.: Energy Institute Press.

ANEXOS

ANEXO 1. ENCUESTA A USUARIOS REGULADOS - RESIDENCIALES

El siguiente cuestionario pretende conocer la percepción que tienen los usuarios acerca de diferentes tipos de tecnologías, y la manera como ellas logran incidir en la cotidianidad. Su respuesta es muy importante para mí, pues contribuye al desarrollo de mi trabajo de grado. Muchas gracias por responder

1. ¿Si pudiera elegir su proveedor de energía, elegiría usted un proveedor que hiciera uso de fuentes renovables para la generación de energía aunque fuera un poco más costoso el servicio?

Si_ no__

Explique el por que

2. ¿Estaría dispuesto a pagar una alta inversión inicial por la instalación de un panel solar o un aerogenerador en su hogar, teniendo en cuenta que luego el costo de la energía sería muy inferior al actual?

no_

si_

3. Si su respuesta es afirmativa ¿cuál sería el tiempo máximo que exigiría para recuperar la inversión?

Menos de 1 año

Entre 1-3 años

Máximo 5 años

4. ¿Para su caso, si fuera a implementar un sistema de generación de energía propia, cuál de estas considera que es la energía alternativa que usaría?

- Eólica

- Solar Fotovoltaica

Explique el por qué

5. Ordene de mayor a menor importancia los criterios que usted considera pueden ser los beneficios de contar con una fuente de energía alternativa propia

- Reducción de costos de energía
- Autonomía en la generación de la energía que consume
- Uso de recursos renovables
- Disminución del impacto ambiental

6. Ordene de mayor a menor importancia el beneficio que más le interesaría obtener de la red

- Seguridad energética (suministro sin interrupciones)
- Manejo remoto de los electrodomésticos
- Conocer la tarifa en tiempo real y pagar en función de dicha tarifa
- Contar con energía generada a partir de recursos renovables

7. ¿Si el costo de funcionamiento (combustible o electricidad) fuera el mismo, compraría usted un carro eléctrico en lugar de uno de gasolina o gas?

no_

si_

Explique por qué

8. ¿Cuáles son las razones por las que cree que la implementación de carros y motos eléctricas no ha sido masiva en el mercado colombiano?

- Altos costos de inversión
- Desconfianza del sistema
- Pocos esfuerzos de la industria

- Mitos sobre la eficiencia
 - Baterías con poca autonomía
 - Falta de incentivos gubernamentales
 - Otro
9. ¿Cuál cree que es el principal beneficio que se puede obtener al cambiar una moto a gasolina, por una eléctrica?
10. Ordene de mayor a menor sus preferencias respecto a las funciones que preferiría de un electrodoméstico tecnológico
- Que se encienda y apague a control remoto
 - Ahorro de energía por control inteligente
 - Interactividad
 - Información del consumo de energía en tiempo real
11. ¿Qué porcentaje en el precio de un electrodoméstico inteligente estaría dispuesto a pagar por encima de precio de un electrodoméstico convencional?
- Más de 10%
 - Más de 25%
 - Más de 50%
 - Más de 100%
12. ¿En su hogar, cuando no está utilizando los electrodomésticos, estos permanecen apagados o desconectados?
- Siempre
 - A veces
 - Ocasionalmente
 - Nunca

13. ¿Si pudiera manejar desde su celular los electrométricos de su hogar (encender, apagar, activar y desactivar funciones) y saber sus consumos de energía, haría uso de esta aplicación:
- Siempre
 - A veces
 - Ocasionalmente
 - Nunca
14. Ordene de mayor a menor las que usted cree son las principales bondades de una casa inteligente, o bajo la tecnología domótica
- Aumento de la calidad de vida y el confort
 - Funcionalidad de la vivienda
 - Diseño
 - Automatización de los sistemas del hogar
 - Seguridad
 - Comunicaciones
15. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la instalación de tecnología domótica en su hogar?
- Entre 6 y 10 salarios mínimos
 - Entre 10 y 13 salarios mínimos
 - Más de 13 salarios mínimos

ANEXO 2. ENCUESTA A USUARIOS NO REGULADOS - INDUSTRIALES

El siguiente cuestionario pretende conocer la percepción que tienen los usuarios acerca de diferentes tipos de tecnologías, y la manera como ellas logran incidir en la cotidianidad de sus empresas. Su respuesta es muy importante para mí, pues contribuye al desarrollo de mi trabajo de grado. Muchas gracias por responder

1. ¿A su empresa le interesaría que el proveedor de energía le brindara más información estadística acerca de su consumo, para mejorar la gestión interna de la energía?
 - Si
 - No
2. ¿Si se contara con una tarifa diferenciada según la hora del día, por ejemplo que la energía fuera más barata en horas del día, y más costosa entre 6 y 11 de la noche, el proceso productivo de su empresa permitiría ajustar los horarios de producción para que el consumo de energía eléctrica se dé en los momentos en los cuales la tarifa es más económica?
 - Si
 - No
 - Eólica
 - Fotovoltaica
3. ¿Su empresa estaría dispuesta a pagar una alta inversión inicial por la instalación de un sistema de generación propia, teniendo en cuenta que luego el costo de la energía sería muy inferior al actual?
 - No
 - Si, si la empresa recupera la inversión en menos de 1 año
 - Si, si la empresa recupera la inversión entre 1 y 3 años

- Si, si la empresa recupera la inversión en máximo 5 años
4. ¿Cuál tecnología considera técnicamente más viable de implementar para generación propia en su empresa?
 - Solar fotovoltaica
 - Eólica
 - Cogeneración
 5. ¿Por qué razón su empresa no ha implementado un sistema de generación de energía propio?
 - Motivos económicos
 - Falta de iniciativa
 - Falta de interés
 - Costos de mantenimiento
 - Falta de información
 - Ausencia de políticas por parte del gobierno
 - Otra, cuál
 6. ¿Por qué razón su empresa podría interesarse en implementar un sistema de generación propia?
 - Reducción de costos de energía / Tarifas
 - Conservación de los recursos no renovables
 - Autonomía en la generación de energía
 - Orientación ambiental y de responsabilidad social
 - Calidad de la potencia
 7. ¿Cómo cree que sería más factible que en su empresa implementaran un sistema de generación de energía renovable? – Responda en cada una si es Muy factible, factible, o poco factible
 - Con recursos propios

- Con inversión de un tercero que provea el servicio a su empresa mediante un contrato (entre 5-10 años)
 - Con incentivos del gobierno
 - Con facilidades de financiación
8. ¿Cuáles son las razones por las cuales aún no se ha implementado en su empresa el uso interno de vehículos eléctricos?
- No cree en sus beneficios medioambientales
 - Por la inversión inicial
 - Por falta de ayudas políticas
 - Desconocimiento de beneficios
 - En su empresa si poseen montacargas eléctricos
9. ¿En su empresa han implementado algún tipo de generación de energía renovable para efectos de iluminación en algunos espacios de la planta?
- Si
 - No
- Si es afirmativo, ¿cuál?
- Eólica
 - Solar
 - Otra
10. Cree que con la implementación de este tipo de generación se contribuye principalmente a
- La Responsabilidad social empresarial
 - Eficiencia energética
 - Ahorro de costos
 - Ninguna de las anteriores
11. ¿Cuáles cree usted que son las principales bondades de un edificio inteligente, o bajo la tecnología inmótica?
- Funcionalidad

- Diseño
- Automatización de los sistemas
- Seguridad
- Comunicaciones

12. ¿Su empresa cuenta actualmente con este tipo de tecnología?

- Si
- No

13. ¿Cuánto tiempo cree que tardará su empresa para acceder a la tecnología inmótica?

- Entre 3 y 5 años
- Entre 6 y 10 años
- Entre 11 y 15 años
- Más de 15 años

14. ¿Por qué razón accedería a instalar sistemas de inmótica en su empresa?

- Reducción de costos energéticos
- Control remoto de la energía
- Optimización de recursos
- Imagen

15. ¿Para su empresa cuál sería la función más importante de la inmótica?

- Control de la iluminación de las instalaciones
- Climatización del edificio
- Monitoreo del funcionamiento general del edificio (ascensores, sensorización)
- Control de los sistemas de acceso
- Seguridad