

ASPECTOS GENERALES DE LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES EN COLOMBIA



UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

*GRUPO DE INVESTIGACIÓN XUÉ
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN BARIÓN*



2020



Convenio Interadministrativo 080 de 2019. Región Administrativa y de Planeación Especial RAP-E – Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Director RAP-E:

- Doctor Fernando Florez Espinoza

Supervisor Convenio:

- Ingeniero Jorge Eduardo Aya Rodríguez

Responsable del eje de Infraestructura, transporte, logística y servicios públicos.



Equipo Técnico:

- César Andrés Rincón Triana
- Alejandro Hurtado Beltrán
- Alejandra Patarroyo
- Miguel Ángel Ocaciones
- Felipe Cruz Espitia
- Luis Antonio Gutiérrez
- Jaime Adrián Matéus Ramírez
- Wendy Katherine Villarraga Clavijo
- Oscar Daniel Guerrero Mora
- José Alexander Ovalle Murcia
- Heguar Stins Goyeneche Mendivelso

Equipo Específico:

- Juan David Salinas Cerquera

Coordinadora Grupo/Semillero de Investigación:

- Nubia Marcela Rodríguez Figueroa

Director Grupo/Semillero de Investigación:

- Ingeniero Andrés Escobar Díaz

Tabla de contenido

Listado de Figuras	6
Listado de tablas.....	7
1. Introducción	9
2. Metodología	10
Fuentes de Información.....	10
Técnicas e Instrumentos	10
Objetivo	10
3. Resumen	12
4. Smart Grids	12
4.1. Definición de Smart Grid o red eléctrica inteligente.....	12
4.2. Aspectos claves.....	13
4.2.1. Generación distribuida y el paradigma bidireccional	13
4.2.2. Interactividad del usuario	14
4.2.3. Infraestructura avanzada de medición	15
4.2.4. Seguridad cibernética	15
4.2.5. Soporte de carga de automóviles eléctricos.....	16
4.3. Tecnologías y funcionalidades.....	17
4.3.1. Infraestructura de Medida Avanzada (AMI – Advanced Metering Infrastructure)	17
4.3.2. Automatización de la Red (ADA – Advanced Distribution Automation)	18
4.3.3. Recursos Energéticos Distribuidos (DER).....	19
4.3.4. Movilidad Eléctrica (VE).....	20
4.4. Tecnologías de la información y comunicación	21
5. Objetivos energéticos de Colombia	25
5.1. Objetivos estratégicos de Colombia.....	26
5.1.1. Un país formal - Acceso Universal.....	26
5.1.2. Un país productivo y eficiente - Seguridad y calidad.....	26
5.1.3. Un país competitivo - Competitividad.....	26
5.1.4. Un país eficiente - Sostenibilidad	26
5.2. Objetivos energéticos del estudio para Colombia	27
6. Descripción de la red eléctrica en Colombia	29
6.1. Comparación técnica de la red eléctrica actual colombiana frente a una REI.	30
7. Soluciones de redes eléctricas inteligentes para el contexto colombiano	31

7.1.	Beneficios asociados a las funcionalidades	31
7.2.	Impacto de las Funcionalidades.....	38
7.3.	Selección de las Funcionalidades REI más adecuadas al caso colombiano	41
7.4.	Metodología de evaluación del beneficio aportado por cada Funcionalidad	46
7.5.	Resumen del modo de Estudio de las Funcionalidades	51
7.6.	Influencia de los Beneficios en los Objetivos Específicos	52
8.	Panorama y desarrollo de las REI en Colombia	54
8.1.	Mapa de Proyectos de Redes Inteligentes en Colombia	54
8.2.	AMI	55
8.3.	ADA.....	59
8.4.	DER.....	60
8.5.	VE.....	63
8.6.	Gestión de activos y gestión de cargas.....	63
9.	Análisis particular de algunas de las iniciativas referentes a REI en Colombia	68
9.1.	Proyecto Piloto de Medición Inteligente Multiservicio (EPM-UNE)	68
9.2.	Proyecto Arquitectura Red Jumbo	68
9.3.	Proyecto Implementación del Centro de Gestión de la Medida – Fase 0	69
9.4.	Proyecto Transporte Eléctrico - Viabilidad de Tecnologías Innovadoras para la Operación, Modernización y Crecimiento de las Red Eléctrica de EPSA E.S.P.	69
9.5.	Automatización de la operación de redes de distribución subterráneas	70
9.6.	Proyecto Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) sobre plataforma TWACS	70
9.7.	Aplicaciones TICS de tele medición en Electricaribe.....	71
10.	Panorama y desarrollo internacional de las REI	72
10.1.	Contexto internacional de Redes.....	72
10.2.	Proyectos más relevantes de REI a nivel mundial	73
10.2.1.	PRICE: Proyecto de REI en el Corredor del Henares.....	73
10.2.2.	Smartcity Málaga	74
10.2.3.	DISCERN: Distributed Intelligence for Cost-Effective and Reliable solutions	76
10.2.4.	Smart Grid en Corea: Isla de Jeju	77
10.2.5.	Proyecto Baltimore Gas and Electric	78
10.2.6.	Proyecto Austin Energy Smart Grid.....	79
10.2.7.	Proyecto China Southern Power Grid.....	81
10.2.8.	iGreen Grid	82

10.3.	Conclusiones de las Experiencias Internacionales	82
11.	Visión de las REI en Colombia.....	84
11.1.	Lineamientos para las REI en Colombia.....	86
11.2.	Futuro de las REI	87
12.	Diagnóstico del marco político y regulatorio en Colombia	88
13.	Micro Smart Grids.....	88
13.1.	Aspectos generales.....	88
13.2.	Aplicaciones.....	89
13.3.	Proyectos.....	89
14.	Smart Cities.....	89
14.1.	Aspectos generales.....	89
14.2.	Modelo ideal.....	90
14.3.	Las ciudades más inteligentes	92
14.4.	Edificios inteligentes.....	93
	Conclusiones	97
15.	Recomendaciones	101
16.	Referencias	117

Listado de Figuras

Figura 1. Modelo conceptual de Referencia. [1]	13
Figura 2. (a) Sistema de energía eléctrica tradicional (b) Red eléctrica inteligente. [1]	Error! Bookmark not defined.
Figura 3. Medidas de gestión de la demanda. [1]	15
Figura 4. Medidores inteligentes. [1]	15
Figura 5. Subministro de energía eléctrica a los VE mediante energía renovable. [1]	17
Figura 6. Principales funcionalidades para el desarrollo de RI en Colombia. [2]	21
Figura 7. Las TIC en el modelo SGAM de CEN-CENELEC-ETSI. [2]	22
Figura 8. Mapeado entre las redes de comunicaciones y los dominios conceptuales en el modelo de SGAM. [2]	23
Figura 9. Objetivos. [2]	25
Figura 10. Capacidad instalada por tipo de planta generadora. [3]	30
Figura 11. Esquema de una red mallada con explotación radial. [5]	34
Figura 12. Esquema de generación distribuida Esquema de una red mallada con explotación radial. [5]	35
Figura 13. Vehículo Eléctrico.[5]	37
Figura 14. Características de la generación fotovoltaica Vehículo Eléctrico.[5]	48
Figura 15. Curva de carga y descarga del vehículo eléctrico [5]	50
Figura 16. Curvas del vehículo eléctrico [5]	50
Figura 17. Proyectos de redes eléctricas en Colombia [6]	54
Figura 18. Características Proyecto PRICE [7]	73
Figura 19. Características proyecto Smartcity Málaga [7]	75
Figura 20. Características proyecto DISCERN [7]	76
Figura 21. Características proyecto Smart Grid en Corea [7]	77
Figura 22. Características proyecto Smart City Santiago de Chile [7] Error! Bookmark not defined.	
Figura 23. Características proyecto Baltimore Gas and Electric [7]	79
Figura 24. Características proyecto Austin Energy Smart Grid [7]	80
Figura 25. Características proyecto China Southern Power Grid [7]	81
Figura 26. Características proyecto iGreen Grid [7]	82

Listado de tablas

Tabla 1. Arquitectura multicapa de las REI Fuente: Science Direct [2].....	24
Tabla 2. Valoración del peso de cada objetivo específico considerado sobre el objetivo global de Colombia Fuente: Science Direct [2].....	28
Tabla 3. Comparación técnica de la red eléctrica actual colombiana frente a una RI Fuente: (Fang, Misra, Xue y Yang, 2012) [4].....	31
Tabla 4. Mejoras obtenidas por la implantación de cada tecnología de RI Fuente: CIRCE [5]	32
Tabla 5. Valor objetivo por beneficio de la RI Fuente: CIRCE [5]	41
Tabla 6. Influencia considerada para cada funcionalidad sobre los beneficios	42
Tabla 7. Influencia de cada funcionalidad RI a los KPI's Fuente: CIRCE [5]	44
Tabla 8. Importancia de cada funcionalidad en la consecución de los objetivos de Colombia Fuente: CIRCE [5].....	44
Tabla 9. Contribución de los KPI's al objetivo global de Colombia Fuente: CIRCE [5]	45
Tabla 10. Tiempos considerados para el cálculo del SAIDI Fuente: CIRCE [5]	47
Tabla 11. Resumen del Modo de Estudio de las Funcionalidades Fuente: CIRCE [5].....	51
Tabla 12. Influencia de las Beneficios de RI frente a objetivos Fuente: CIRCE [5]	53
Tabla 13. Proyectos pilotos referentes a AMI desarrollados en Colombia Fuente: Grupo Consultor CIRCE [6]	58
Tabla 14. Proyectos pilotos referentes a ADA desarrollados en Colombia Fuente: CIRCE [6]	60
Tabla 15. Proyectos pilotos referentes a la generación distribuida y sistemas de almacenamiento desarrollados en Colombia Fuente: CIRCE [6].....	62
Tabla 16. Proyectos pilotos referentes a la movilidad eléctrica Fuente: CIRCE [6].....	63
Tabla 17. Proyectos pilotos referentes a gestión de activos y gestión de cargas Fuente: CIRCE [6]	67
Tabla 18. Evaluación de las experiencias internacionales con base a sus principales funcionalidades Fuente: CIRCE [7].....	83
Tabla 19. Penetración de funcionalidades de AMI, ADA, DER y VE según fase Fuente: CIRCE [5]	85
Tabla 20. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología de Redes Eléctricas Inteligentes en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2]	108
Tabla 21. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología AMI en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2].....	110
Tabla 22. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología ADA en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2].....	113
Tabla 23. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología DER en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2]	116

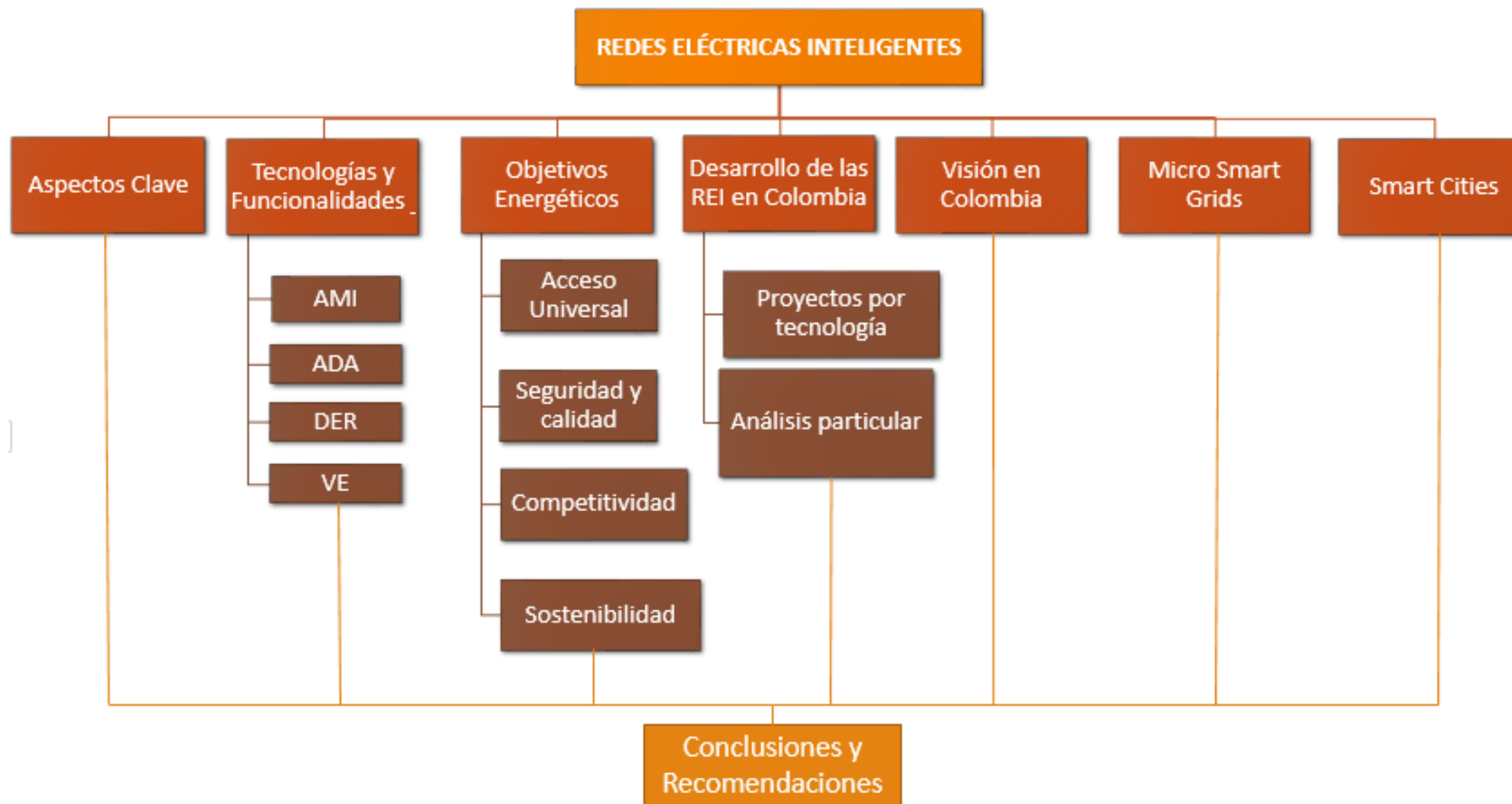


Diagrama 1. Mapa conceptual - Estructura del Documento. Elaboración propia

1. Introducción

Durante las últimas décadas el consumo energético mundial se ha incrementado considerablemente acompañando el crecimiento económico. Este incremento se refleja en el sector eléctrico en un crecimiento acelerado del consumo, base fundamental para el bienestar social en el siglo XXI. En este sentido, la manera de organizar la producción y gestionar la energía eléctrica, así como su asignación, es un asunto de primer orden dado el impacto que ésta tiene en las actividades productivas, el medio ambiente y el bienestar de la sociedad de cada país.

Adicionalmente al aumento de demanda, existen otros factores que motivan la mejora de las infraestructuras de la red eléctrica, como por ejemplo el envejecimiento de los sistemas e infraestructuras eléctricas, el aumento de la presencia de fuentes de energía renovables, la integración del Vehículo Eléctrico (VE) en la red y la necesidad de mejorar la seguridad del suministro eléctrico y la eficiencia del sistema, entre otros. Como respuesta a los factores expuestos anteriormente surge el concepto de Red Eléctrica Inteligente (REI) o Smart Grid (SG).

Muchas de las iniciativas desarrolladas a nivel internacional, relacionadas con la implementación de sus tecnologías, han surgido a partir de asociaciones, tanto públicas como privadas, que se agrupan con el objetivo de crear las condiciones apropiadas y brindar las herramientas necesarias para impulsar el desarrollo e implementación de éstas en cada uno de los territorios.

El Ministerio de Minas y Energía de Colombia en conjunto con el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones solicitaron al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) establecer una Cooperación Técnica (CT) con el objetivo de identificar el marco más apropiado para llevar a cabo su implementación en Colombia, de acuerdo a lo establecido en la estrategia del BID para Colombia 2012 – 2014 (GN-2648-1) y a las prioridades institucionales establecidas en el Reporte (GCI-9) “Ninth General Capital Increase in Resources for the IDB”, el cual considera las siguientes áreas como prioritarias: Infraestructura para la competitividad y bienestar social, puesto que el proyecto busca determinar los beneficios y necesidades de la infraestructura su implementación en Colombia, y, proteger el medio ambiente y mejorar en el aseguramiento de alimentos como respuesta al cambio climático, puesto que promueve la eficiencia energética, la integración de energías renovables y el almacenamiento de energía en la red.

El objetivo general de la CT consistió en identificar las estrategias, estándares y regulaciones que mejor se adapten y que sean necesarias para llevar a cabo, de forma exitosa, su implementación. Para cumplir con este objetivo, la CT buscó realizar una comparación de las tecnologías asociadas, compartir el conocimiento adquirido por algunos de los países que ya han incursionado en estrategias de implementación, y hacer un análisis de los avances y logros alcanzados por proyectos piloto que han sido utilizados como plataformas de prueba para los aspectos establecidos en el desarrollo del proyecto. Por último, se proporcionan los elementos esenciales para su desarrollo, entre los que se incluyen la determinación de las principales barreras y oportunidades para su desarrollo, la descripción de las tecnologías más aptas para ser implementadas, el

conjunto de pasos a seguir para su implementación y el grado de penetración de cada una de ellas, entre otros.

2. Metodología

Fuentes de Información

El presente documento nos muestra los planteamientos y propuestas del resultado del análisis y elaboración del equipo de trabajo donde se asocian documentos realizados por el gobierno nacional en cooperación con el Banco Interamericano de Desarrollo para dar el aporte necesario al entorno colombiano y en especial a la Región Administrativa y de Planeación Especial (Región Central RAPE). Estos planes de desarrollo recopilan la información extraída de documentos de la UPME, La IEEEE, tesis de grados y páginas de internet, dedicada a la descripción de cada uno de los sectores que influyen en la estructuración del país y de las regiones asociadas. Se condensa la información del sector energético aplicada a las Redes Eléctricas Inteligentes, partir de esto podemos analizar el estado en el que se encuentra Colombia respecto a las REI y lo que se proyecta en el futuro para su desarrollo teniendo también en cuenta experiencias internacionales.

Técnicas e Instrumentos

Se estructuró la investigación bajo la técnica de carácter documental, la cual considera la recopilación de información con base en documentos asociados al tema de investigación y bajo fuentes confiables, consideradas principales para abarcar el tema definido. La técnica destaca la lectura de los documentos para identificar temas representativos al tema abarcado, en este caso, se conoce el documento para extraer la información asociada al sector energético, para luego ser redactada de la forma que se quiere representar la investigación.

Como instrumentos se tiene información y bases de datos gubernamentales aprobadas por entes como Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de las TIC, UPME y demás departamentos de interés. Cabe aclarar que la información está abierta al público y que su acceso no está limitado, por lo tanto, se tomó la última información publicada por dichas entidades. La categoría de esta información es cualitativa y cuantitativa dependiendo el documento asociado; los planes de desarrollo contienen información normativa y texto fundamentado en la base de la planeación, pero también debe tener magnitud numérica a la hora de evaluar y postular el desarrollo de cada plan.

El método para la metodología de investigación es el de análisis-síntesis, por medio del cual se analiza la información obtenida, para obtener los detalles cualitativos y cuantitativos de la información asociada. Se debe sintetizar y organizar la información de forma que el lector pueda identificar los aspectos relevantes, los cuales se representarán en texto, tablas o figuras que contribuyan al entendimiento del documento.

Objetivo

Este documento tiene como objetivo general realizar un estado del arte de las redes eléctricas inteligentes en Colombia para saber cómo nos encontramos en este tema y así mismo poder hacer recomendaciones y dar conclusiones.

Algunos objetivos específicos son mostrar las tecnologías de las REI, los proyectos y aplicaciones que se han ejecutado y la regulación política de las mismas.

3. Resumen

El presente artículo realiza un análisis de las redes eléctricas inteligentes con el propósito de establecer un marco de referencia, el cual permita identificar las principales características del sistema actual de interconexión eléctrica en Colombia. Asimismo, se presentan los proyectos de Smart Grids tanto en Colombia como internacionalmente, también los incentivos propuestos por el gobierno colombiano, para apoyar proyectos de investigación y desarrollo que implementen fuentes no convencionales de energía y promuevan una gestión eficiente de ésta.

En la actualidad dependemos casi por completo de la energía para cubrir la mayoría de nuestras necesidades, desde la generación de electricidad, pasando por el transporte, hasta la generación de calor. La electricidad ocupa un lugar importantísimo en este escenario, debido a que la sociedad moderna depende fuertemente de ella, llegando a incluso a paralizarse cuando el sistema eléctrico falla. En este sentido, la seguridad energética se ha convertido en uno de los temas más importantes que ocupan las agendas nacionales e internacionales. Las Redes Eléctricas Inteligentes se plantean como una de las soluciones para proteger, monitorear y optimizar el trabajo de todos los elementos interconectados, proporcionando de esta manera un sistema moderno de gestión que incluso podrían mitigar el impacto de los diferentes desastres naturales que pueden afectar a un país.

4. Smart Grids

4.1. Definición de Smart Grid o red eléctrica inteligente

“La REI es un concepto relativamente nuevo que se ha ido configurando con el paso del tiempo. De forma general, se trata de un concepto que engloba pequeñas particularidades dependiendo de la perspectiva de cada país, las políticas y órganos reguladores, las tecnologías que se usan, entre otras variables. Según (A. Sinha, 2011) y (Z. Jin, 2010), las REI son la evolución del sistema eléctrico actual hacia un sistema de red moderno, el cual es capaz de monitorear, proteger y optimizar el trabajo de todos sus elementos interconectados; desde las grandes centrales y sistemas de generación distribuidos hasta los usuarios finales, los Sistemas Inteligentes de Almacenamiento de Energía (SIAE), los Vehículos Eléctricos (VE), electrodomésticos y dispositivos del hogar. [1]” Desde que se habló del nuevo concepto de REI, alrededor del 2005, ha habido un creciente interés por las ellas mismas. Mediante las REI acompañado de las TIC se quiere modernizar las ya envejecidas redes eléctricas. Los motivos para implementar las REI por cada país son muy diferentes y pueden ser tan variadas como: prevenir la dilatación térmica de las líneas, asegurar el subministro de energía, mejorar la capacidad de las líneas eléctricas, mejorar la calidad de la energía entregada a las cargas, entre otras. Los objetivos comunes de la implementación de las REI es el de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, renovar las infraestructuras envejecidas y reducir las pérdidas de energía en la red de transmisión y distribución. [1]

La evolución del sistema eléctrico actual hacia las REI representa un cambio hacia un sistema descentralizado, soporta el flujo de energía y comunicación de forma bidireccional y de generación distribuida, donde los usuarios finales o cualquier agente que esté conectado a la red pasa a ser un ente activo con los mercados. [1]

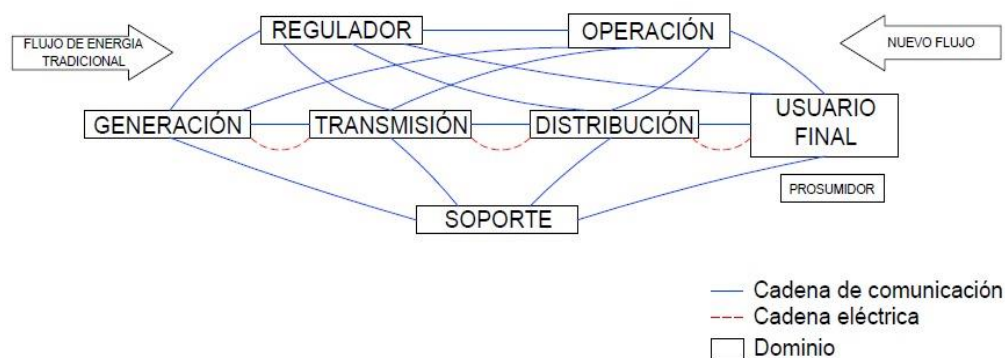


Figura 1. Modelo conceptual de Referencia. [1]

4.2. Aspectos claves

Según la UPME los aspectos más interesantes y prometedores en la evolución hacia una red más inteligente son: el soporte de flujo de energía bidireccional, la capacidad de interacción con el usuario, el desarrollo de sistemas de medición avanzados, la ciberseguridad, el soporte de carga de automóviles eléctricos y su uso como sistema de generación distribuido. [1]

4.2.1. Generación distribuida y el paradigma bidireccional

Existen varias características que diferencian una red eléctrica inteligente de una tradicional pero una de las más importantes es su capacidad de soportar un flujo de energía bidireccional, quiere decir, pasar de un esquema en que el flujo de energía va solo desde las grandes fuentes de generación hacia los usuarios finales, a uno que incorpora y aprovecha la capacidad de almacenamiento y generación distribuida, con un rol activo de los usuarios, en el que son capaces de proveer energía a otros usuarios. [1]

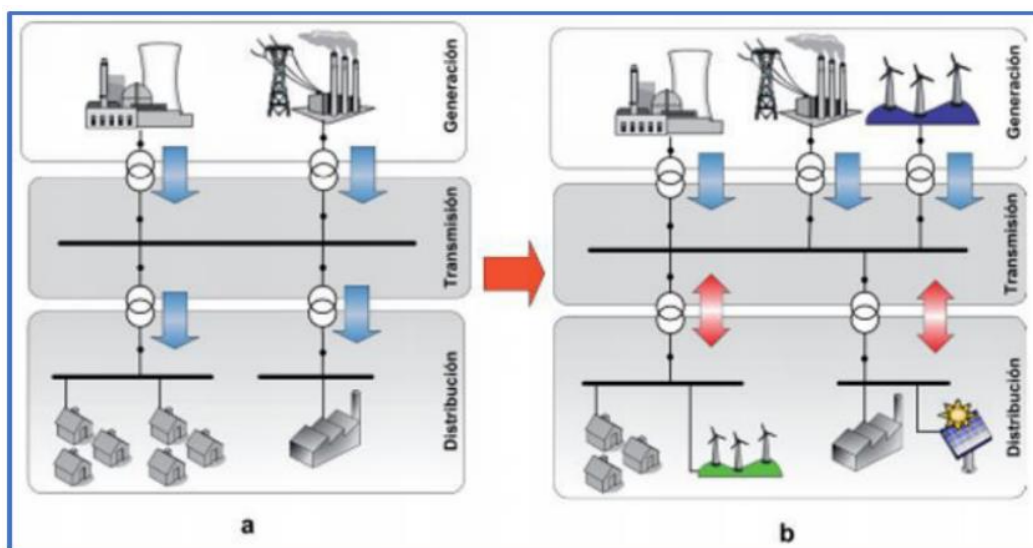


Figura 2. (a) Sistema de energía eléctrica tradicional (b) Red eléctrica inteligente. [1]

4.2.2. Interactividad del usuario

A lo largo de la historia la interacción del cliente en la gestión de su propio consumo de energía se ha limitado al control voluntario de la demanda y a programas de control directo de carga, como por ejemplo el cambio de bombillas de menor consumo, como las que ofrecen la tecnología LED. Con la implementación de las REI será posible que los usuarios o dispositivos instalados al final de la cadena eléctrica tomen decisiones para controlar la demanda y que de esta manera se adapten mejor a las necesidades tanto de la red como del propio cliente. Lo que se busca desde el operador del sistema eléctrico es poder aplanar la curva de la demanda para obtener una mayor racionalización, planificación y abaratamiento de la energía. En la

MEDIDAS DE GESTION DE LA DEMANDA			
Reducción del consumo	Desplazamiento del consumo de la punta al valle	Llenado de valles	Reducción del consumo en las horas punta del Sistema
-Mejoras en la eficiencia de equipos y procesos -Concienciación sobre el ahorro energético	- Discriminación horaria - Participación activa de la demanda en los mercados	- Bombeo - Tecnologías de almacenamiento - Vehículo eléctrico	- Servicio de interrumpibilidad - Gestión automática de cargas

Figura 3. Medidas de gestión de la demanda. [1]se presentan los cuatro grandes grupos sobre los que se trabaja [1]:

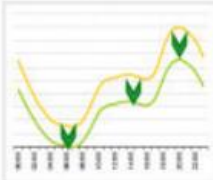
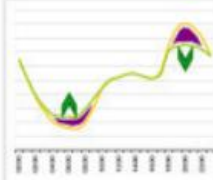
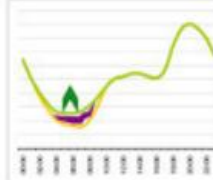
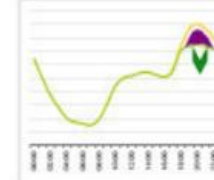
MEDIDAS DE GESTION DE LA DEMANDA			
Reducción del consumo	Desplazamiento del consumo de la punta al valle	Llenado de valles	Reducción del consumo en las horas punta del Sistema
			
-Mejoras en la eficiencia de equipos y procesos -Concienciación sobre el ahorro energético	- Discriminación horaria - Participación activa de la demanda en los mercados	- Bombeo - Tecnologías de almacenamiento - Vehículo eléctrico	- Servicio de interrumpibilidad - Gestión automática de cargas

Figura 3. Medidas de gestión de la demanda. [1]

4.2.3. Infraestructura avanzada de medición

La infraestructura de medición avanzada (Advanced Metering Infrastructure, AMI) apuesta por la incorporación de nuevas redes de comunicaciones y sistemas de base de datos, que proporcionarán beneficios importantes tanto a las compañías eléctricas como a los consumidores. AMI consiste en un sistema de comunicación bidireccional que involucra medidores "inteligentes" y otros dispositivos de gestión de la energía. Esto permite a las empresas responder más rápidamente a los posibles problemas, los servicios de conexión/desconexión, y comunicar en tiempo real los precios de la electricidad, entre otras funciones. La aplicación del concepto AMI, supone una oportunidad para desarrollar un sistema de facturación más complejo, que traslade mejor los costos de la energía a las tarifas aplicadas al consumidor, teniendo así en cuenta el momento del día (si es un pico o valle de consumo) y la distribución de la demanda a lo largo de este. [1]



Figura 4. Medidores inteligentes. [1]

4.2.4. Seguridad cibernética

Las REI implementan la integración de sistemas computacionales, algo que podría traer nuevos riesgos de ciberseguridad a los sistemas de gestión, generación y distribución. Uno de los mayores desafíos que enfrenta el desarrollo de REI tiene que ver con la

seguridad cibernética de los sistemas. Según el Informe de EPRI (Electronic Power Research Institute): "La seguridad cibernética es un problema crítico debido a la posibilidad cada vez mayor de ataques cibernéticos y los incidentes críticos en contra de este sector, ya que se vuelve cada vez más interconectado" [1]. El primer paso hacia la protección de las REI contra las violaciones de seguridad involucra un análisis de riesgos. En una eventual amenaza al sistema de potencia eléctrica los riesgos más importantes serían la pérdida de disponibilidad del sistema, la interrupción de la red eléctrica y la posibilidad de perder el control de la red. Además de enfrentar apagones y pérdida de disponibilidad, es necesario considerar las consecuencias de las fallas de la red. [1]

4.2.5. Soporte de carga de automóviles eléctricos

Según estudios en los próximos 10 a 20 años, la introducción del vehículo eléctrico (VE) aportará nuevos beneficios a la sociedad, conjuntamente con las redes eléctricas inteligentes, ya que estos tienen la posibilidad de reducir el costo del consumo de petróleo y reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. [1]

Los VE ofrecerán un alto rendimiento, seguridad y versatilidad, ya que, estos podrán ser cargados directamente de la red eléctrica (ofreciendo a la vez un bajo coste de carga en el hogar), y estos dispositivos ofrecerán un nuevo concepto llamado V2G (Vehicle to Grid), el cual como almacenador de energía puede ayudar a solucionar las dificultades asociadas con la naturaleza intermitente de las energías renovables. La tecnología V2G utiliza la energía almacenada en las baterías de los VE, tales como Battery Electric Vehicle (BEV's) y los Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEVs'), para proporcionar electricidad a la red en las horas pico o cuando sea necesario. Una de las opciones para la carga de VE (Ver *Figura 5. Subministro de energía eléctrica a los VE mediante energía renovable. [1]*) con cero emisiones es la energía eólica o una mezcla de esta con energía solar ya que las dos por separado ofrecen muchas fluctuaciones a la red. Esta podría ser la primera fuente y la más indicada para subministrarles energía a lo VE, toda energía excedente y no necesaria podría ser utilizada para el sector de la generación de energía eléctrica de uso doméstico e industrial. Se debe tener en cuenta que debido al elevado costo de las baterías y el hecho de que su vida útil dependa del número de ciclos de carga y descarga, limitan la aplicación de este servicio en el corto plazo. [1]

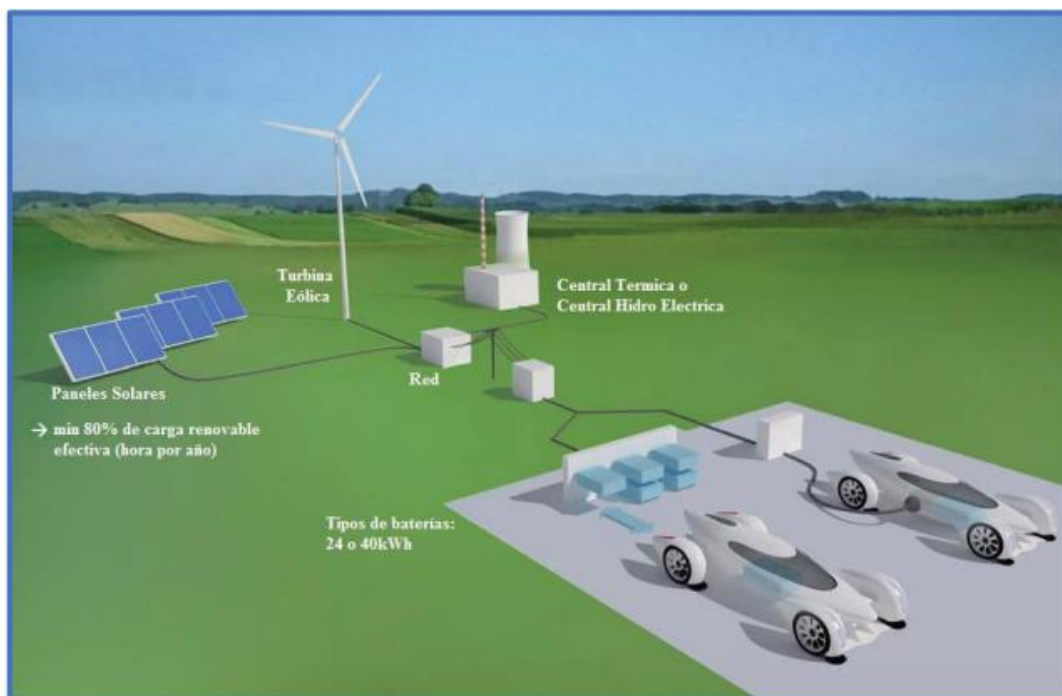


Figura 5. Subministro de energía eléctrica a los VE mediante energía renovable. [1]

4.3. Tecnologías y funcionalidades

A lo largo del estudio de las REI se han estudiado diferentes tecnologías que hacen posible dotar a la red eléctrica tradicional de las características propias de una RE. En este trabajo y como en la mayoría de textos relacionados con REI se realiza el análisis de cuatro tecnologías teniendo en cuenta los beneficios que representaría su implementación en la búsqueda de alcanzar los objetivos energéticos planteados, tanto por las entidades gubernamentales como por la iniciativa de Colombia Inteligente y la viabilidad que existe para que éstas sean llevadas a cabo en el contexto colombiano. De acuerdo al documento citado, las tecnologías más relevantes a trabajar respecto a las REI son [2]:

1. Infraestructura de Medida Avanzada (AMI – Advanced Metering Infrastructure)
2. Automatización de la Red (ADA – Advanced Distribution Automation)
3. Recursos Energéticos Distribuidos (DER)
4. Movilidad Eléctrica (VE).

La integración de todas estas 4 tecnologías debe estar basada en la existencia de una infraestructura de TIC confiable y segura, que garantice la interoperabilidad, la cual debe servir de soporte a todas las aplicaciones que aportan inteligencia a la red en cualquiera de sus niveles. [2]

4.3.1. Infraestructura de Medida Avanzada (AMI – Advanced Metering Infrastructure)

Las aplicaciones de las REI necesitan información sobre el estado de la red, los consumidores y los generadores. La infraestructura de medida, junto con una red de comunicaciones adecuada, proporciona a la REI la información necesaria para la toma de decisiones y los medios adecuados para el envío y recepción de órdenes. [2]

AMI incluye tanto a los elementos de medida que informan del estado de la red, (en subestación centro de transformación o de reparto, transformadores, entre otros), como a los Contadores Inteligentes (CI) instalados a nivel de usuario. El CI aporta nuevas funcionalidades que favorecen la comunicación desde el operador de red hasta el usuario, pasando por los agentes intermedios necesarios (comercializadoras, empresas de servicios energéticos, gestores de recarga del VE) y permitiendo la participación activa del usuario en el mercado eléctrico. Según el texto citado las funcionalidades consideradas para esta tecnología son las siguientes [2]:

Lectura y operación remota, el cual contribuye al ahorro de costos de operación al no ser necesario el desplazamiento de personal de la compañía. Asimismo, permite a los Operadores de Red (OR) disponer de monitorización de los flujos de potencia en sus redes.

- **Limitación de potencia de forma remota:** Permite a los OR la reducción de costos de operación y a los usuarios disminuir su factura ya que pueden solicitar cambios de potencia contratada de manera más rápida, ajustándola a sus necesidades reales. [2]
- **Detección de manipulación de los contadores y aviso a compañía:** Es una valiosa herramienta para la reducción de las pérdidas no técnicas, ya que se puede detectar las manipulaciones hechas por agentes externos. [2]
- **Información al usuario:** Los CI van a permitir que el usuario disponga de toda la información relativa a su consumo en tiempo real, ya sea directamente en el CI o en un portal Web donde se puede ver la información de tarifas, información de su consumo puntual y acumulado, saldo disponible para modalidad prepago entre otros. El usuario va a conocer su perfil de consumo y va a poder calcular los ahorros que le supondría un cambio en sus hábitos. [2]
- **Tarificación horaria:** Esta funcionalidad sirve para la implementación de distintos tramos horarios de facturación en los CI, de manera que los precios se ajusten y tengan cierta proporcionalidad al costo real de la energía en cada momento. Permitirá fomentar que los usuarios modifiquen sus hábitos de consumo, desplazando carga de períodos pico a períodos valle de la curva de consumo. [2]
- **Medida de generación distribuida:** La conexión a la generación distribuida en baja tensión, en las instalaciones del usuario final, requiere que los CI dispongan de la capacidad de medida de la energía entrante tanto como de la saliente, para usuarios que actúen como consumidores y/o generadores de energía. [2]
- **Gestión activa de cargas:** Es la posibilidad de conectar o desconectar cargas en los momentos más convenientes según la curva de demanda. Esta funcionalidad puede suponer una contribución importante para el aplanamiento de la curva de demanda y para la integración de la generación distribuida. Existen diversos sistemas de gestión activa de cargas como por ejemplo utilizando un sistema Volt Var Control. Estos sistemas reducen el consumo de las cargas gestionando la tensión a la que están expuestas dentro de los límites regulatorios. [2]

4.3.2. Automatización de la Red (ADA – Advanced Distribution Automation)

La automatización de la red por medio del uso de la infraestructura de medida y las TIC es necesaria tanto para maximizar la integración de las DER, como para mejorar la continuidad y la calidad del suministro. El incremento del nivel de automatización permite asegurar la continuidad del suministro, siendo este uno de los objetivos principales de la red eléctrica colombiana, ya que actualmente se cuentan con tiempos de interrupción de suministro demasiado elevados. Según el texto citado las funcionalidades consideradas para esta tecnología son las siguientes [2]:

- **Telemando (control remoto):** La capacidad de operar de forma remota o por telecontrol sobre elementos de corte y maniobra de la red de distribución

permitirá reducir de forma significativa los tiempos de reposición de suministro en caso de fallas en la red, mejorando como resultado la continuidad de suministro. [2]

- **Localización de fallas:** El desarrollo y optimización de métodos de localización de fallas contribuye a la mejora de la continuidad del suministro, reduciendo los tiempos de reposición del servicio en caso de falla. Los métodos comprenden desde detectores de paso de falla hasta complejos métodos de localización basados en inyección de ondas de alta frecuencia dependiendo la característica aérea o subterránea de la Red. [2]
- **Self-Healing:** El Self Healing o auto curación, es la función más avanzada de la tecnología ADA. Esta consiste en la automatización total del proceso de detección y localización de fallas y reposición de suministro, lo cual minimiza el tiempo de interrupción de suministro. [2]
- **Reconfiguración automática:** Esta funcionalidad avanzada implica el desarrollo de algoritmos de reconfiguración óptima que hacen uso de la información del estado de la topología de la red, obtenida a partir de los distintos elementos de la tecnología AMI instalados en líneas, subestaciones, sistemas de generación y en los propios CI instalados en el lado del usuario. La optimización de la configuración de red permite la mejora de la eficiencia energética y el aumento de la vida útil de sus elementos al evitar y/o disminuir sobrecargas en los elementos de la red. [2]
- **Gestión de activos:** Prácticamente todas las tecnologías y funcionalidades de las REI pueden aportar beneficios a la optimización del CAPEX y OPEX. Desde este punto de vista, la gestión de activos no se enmarca en exclusiva en ninguno de los bloques tecnológicos de las REI. En este informe se ha asociado a la tecnología ADA por ser la más cercana al operador de red. La gestión de activos comprende todas aquellas actividades destinadas a mejorar el mantenimiento, alargar la vida útil y a planificar las inversiones de los elementos clave de la red. [2]

4.3.3. Recursos Energéticos Distribuidos (DER)

Las principales funcionalidades de esta tecnología son micro generación (generación en baja tensión) y el almacenamiento de energía. Es una alternativa para la integración rápida y eficiente de las fuentes renovables de energía y los sistemas de almacenamiento a la red de distribución. [2]

La generación distribuida conectada en las redes de B.T y M.T. aporta cercanía de la generación al consumidor, lo que reduce las pérdidas técnicas asociadas al transporte y mejora la eficiencia de la red, se implementa también un sistema de control adecuado donde puede prestar servicios complementarios a la red en los momentos críticos, lo que permite aumentar los niveles de calidad de la energía suministrada y reducir la dependencia de los grandes generadores; además esta tecnología habilita la participación de los usuarios como generadores o Prosumidores, la cual brinda beneficios económicos a los usuarios, elemento clave en el despliegue de las redes eléctricas del futuro. Los sistemas de almacenamiento distribuido, también enmarcados en las tecnologías DER,

complementan a la generación de energía a partir de fuentes renovables, puesto que su naturaleza es variable y no gestionable. [2]

4.3.4. Movilidad Eléctrica (VE)

La Electrificación del transporte o Movilidad eléctrica es una de las tendencias en la mayoría de los países tanto desarrollados, como países en vías de desarrollo en mediano y largo plazo. Esta tecnología representa un importante desafío para las redes eléctricas del futuro, puesto que deben permitir la integración de este nuevo tipo de demanda, la cual presenta claras ventajas medioambientales al sustituir los vehículos basados en combustibles fósiles. Los VE suponen una oportunidad para mejorar la eficiencia global del sistema eléctrico dado a que la recarga de sus baterías puede realizarse en el momento elegido por los usuarios o por el operador de la red. Un adecuado control de dicho proceso implica una capacidad de gestionar la demanda, posibilitando el aplanamiento de la curva de carga. [2]

Un nivel de funcionalidad más avanzado del VE es el llamado V2G, que implica que el vehículo es capaz no solo de cargar su batería cuando se conecta a la red eléctrica sino también de descargar a la misma la energía existente en su batería. Contar con vehículos eléctricos V2G conectados a la red con el control y supervisión proporcionado por una REI permite disponer de un recurso energético que en determinadas condiciones puede proporcionar un suministro eléctrico que mejore la cobertura de demanda en situaciones puntuales. En la Figura 6 podemos ver las funcionalidades consideradas como relevantes para la aplicación de cada una de las tecnologías estudiadas al sistema colombiano. [2]

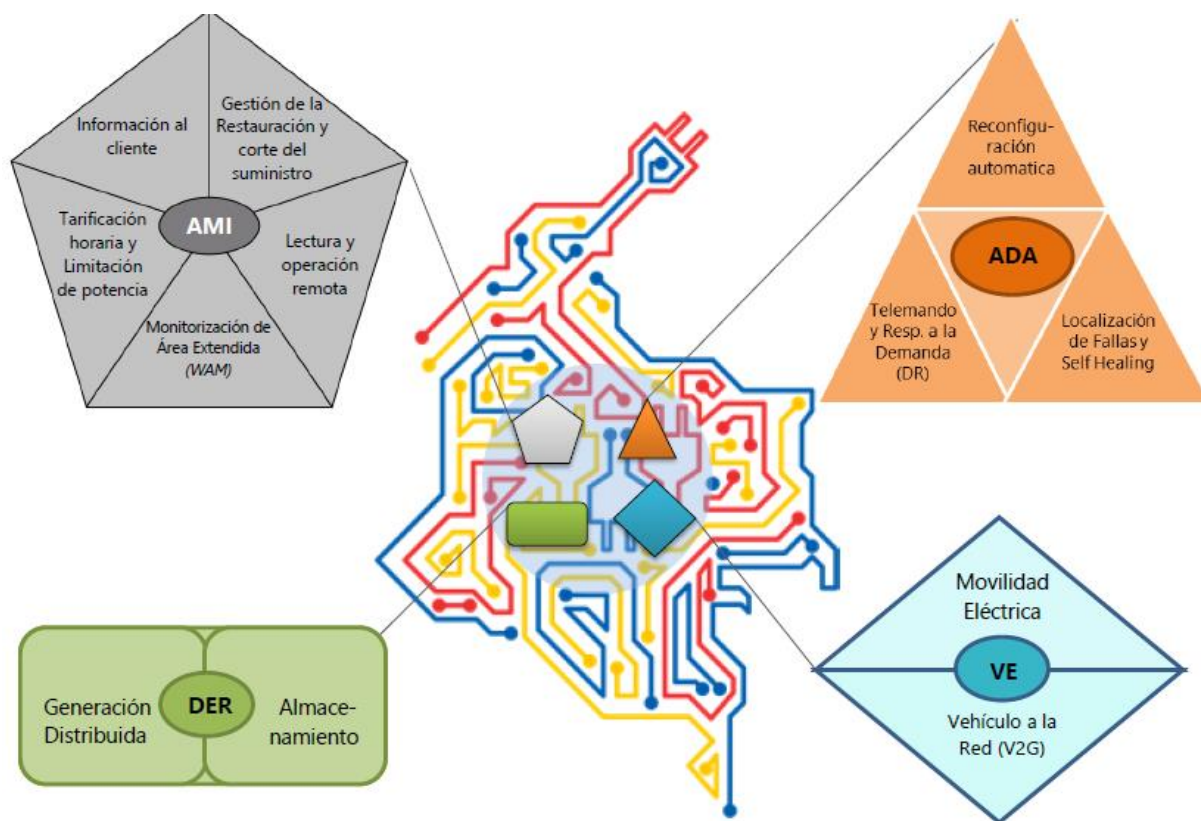


Figura 6. Principales funcionalidades para el desarrollo de RI en Colombia. Fuente: Elaboración propia , Grupo Técnico Proyecto BID [2]

4.4. Tecnologías de la información y comunicación

Una REI es un sistema complejo de varios sistemas que debe satisfacer las necesidades de muchas partes interesadas como fabricantes, empresas de servicios públicos, usuarios, reguladores, industrias, etc. Lograr la interoperabilidad en un sistema de este tipo a una escala masiva es una dura labor que requiere de una orientación arquitectónica, la cual para este caso es tomada de la Smart Grid Architectural Methodology o SGAM. “Las TIC son uno de los ejes fundamentales de esta arquitectura ya que permiten el flujo de toda la información generada por los nuevos elementos de la red y permiten su operación a distancia; características fundamentales de toda REI. Las propuestas de arquitectura de red de comunicaciones para las REI varían dependiendo de las necesidades particulares requeridas y de la profundidad en la descripción de cada una de sus etapas.

Un ejemplo de arquitectura es la propuesta para las comunicaciones del CEN-CENELEC-ETSI incluida en el SGAM, la cual recogen esquema complejo de niveles, dominios, subredes e interrelaciones”. [2]

Una representación ilustrativa de esta arquitectura se observa en la Figura 7.

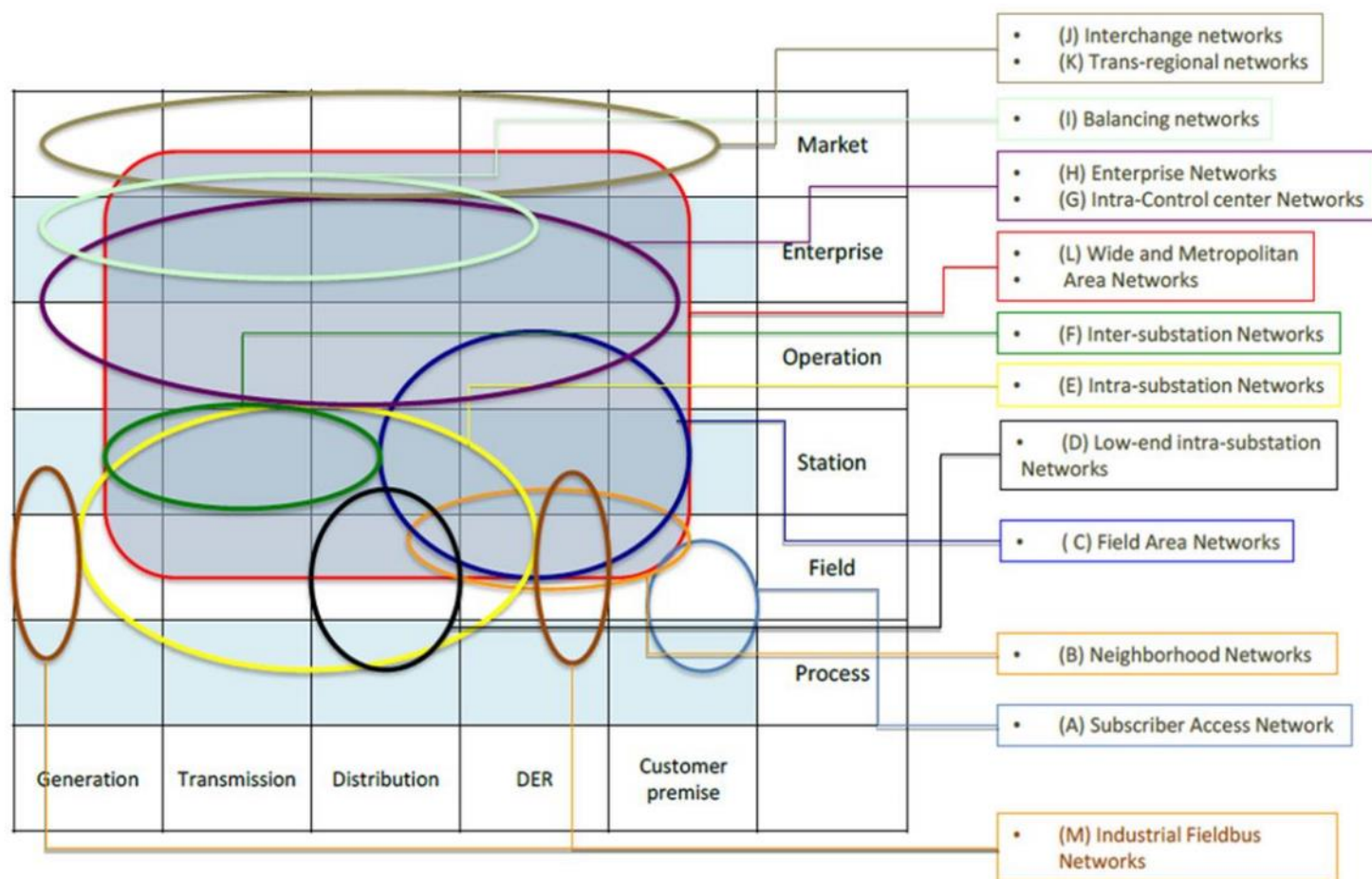


Figura 7. Las TIC en el modelo SGAM de CEN-CENELEC-ETSI. Fuente: CEN-CENELEC-ETSI [2]

Teniendo en cuenta los principios de interoperabilidad, universalidad, localización y flexibilidad, SGAM proporciona un enfoque para entender la complejidad de las REI, permitiendo la transición desde el estado actual de la red eléctrica hasta su futura implementación. SGAM está conformado por dominios, zonas e interoperabilidad, subdivididos a su vez en niveles y capas, los dominios físicos de la red corresponden a la cadena completa de la energía eléctrica, la cual es generación, transmisión, distribución y uso final de los usuarios. Las zonas definen los niveles jerárquicos involucrados en la gestión del sistema de energía eléctrica como proceso, campo, estación, operación, empresa y mercado. A su vez la relación entre las zonas y los dominios, se establece mediante las capas de interoperabilidad que son componente, comunicación, información, función y negocio. [2]

Otro punto de vista es el esquema propuesto por el NIST (National Institute of Standards and Technology) (Ver Figura 8Figura 8), el cual propone un esquema de arquitectura descriptivo, que tiene como objetivo fomentar la comprensión de las complejidades operacionales que significa la implementación de las REI haciendo uso de las aplicaciones existentes más utilizadas en la actualidad por la industria del sector energético. [2]

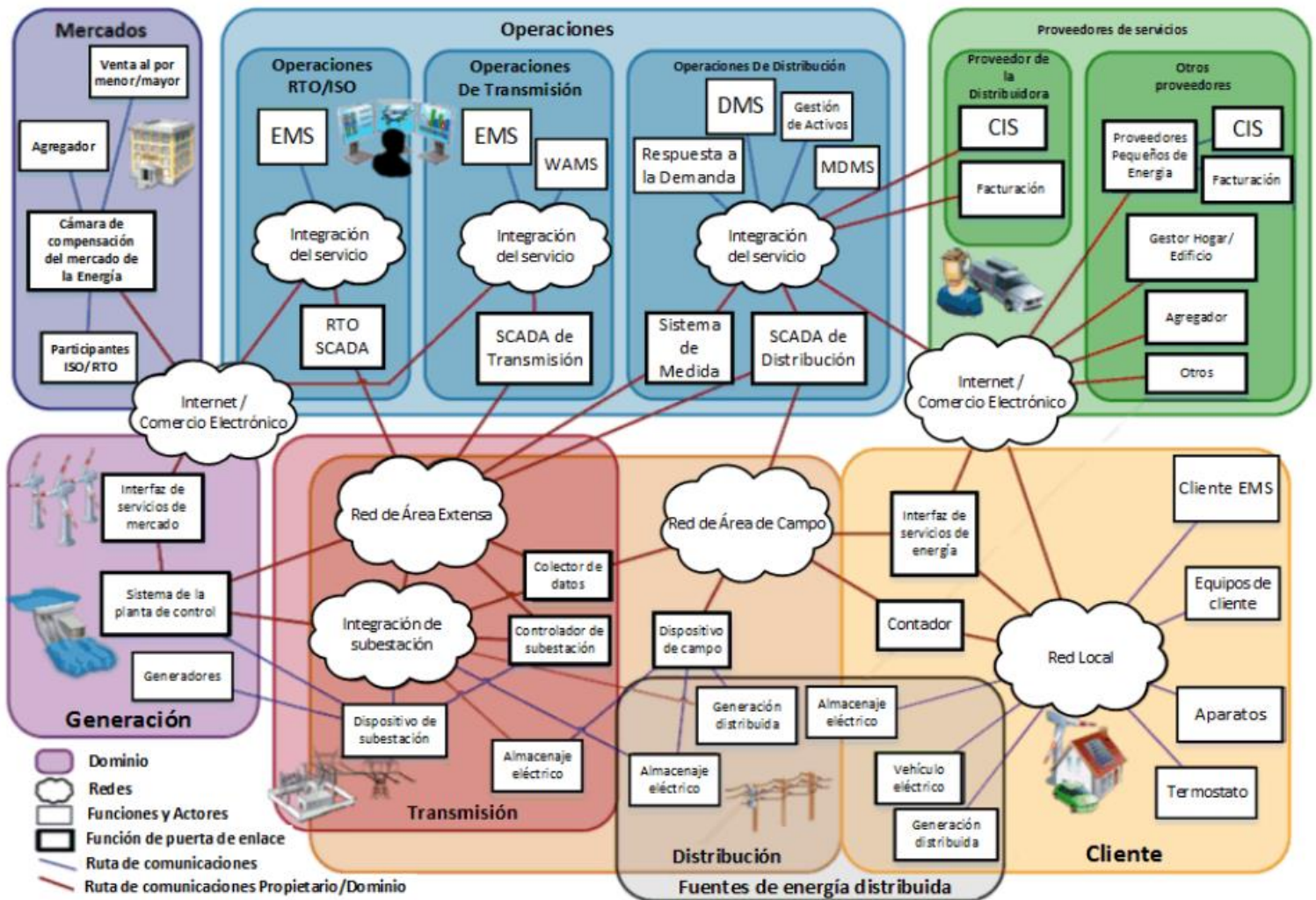


Figura 8. Mapeado entre las redes de comunicaciones y los dominios conceptuales en el modelo de SGAM. Fuente: National Institute of Standards and Technology [2]

En un enfoque más simplificado se puede ver donde las REI se entienden como una plataforma interactiva, que consta de varias capas:

1. La capa de energía, que se refiere a la generación de energía, transmisión, distribución e infraestructura del cliente. [2]
2. La capa de control de la energía, que dota a la red de control y gestión. [2]
3. La capa de comunicación, que permite comunicación bidireccional en el entorno de la red. [2]
4. La capa de seguridad, que proporciona confidencialidad, integridad, autenticación y disponibilidad. [2]
5. La capa de aplicación, que proporciona varias aplicaciones de REI a los clientes y a las operadoras basada en la información de las infraestructuras. [2]

La Tabla 1 muestra un ejemplo de este tipo de arquitectura junto con los elementos necesarios para la implementación de una RI que hacen parte de cada una de las capas.

Aplicaciones de controladores y redes inteligentes		Aplicaciones de cliente	Capa de Aplicación
Autenticación, control de acceso, integridad de los datos, encriptación y privacidad			Capa de Seguridad
Telefonía Móvil, WiMax, FO	PLC, DSL, Cable coaxial, Mallas RF	PLC, ZigBee, Wifi, Z-Wave	Capa de Comunicaciones
WAN	NAN/FAN	HAN/BAN/IAN	
Bancos Capacitivos, Seccionadores, PMU's	Switches, Sensores, Transformadores, Medidores, Almacenamiento		Capa de control
Transmisión y Generación	Distribución	Clientes	Capa de Energía

Tabla 1. Arquitectura multicapa de las REI Fuente: Science Direct [2]

Por ejemplo, para habilitar una aplicación de Smart Metering, según la fuente citada la red eléctrica debe contar con [2]:

- La capa de energía que es el sistema de distribución de la energía eléctrica a los clientes. [2]
- La capa de control de energía el contador inteligente que habilita la monitorización del consumo. [2]
- La capa de comunicación que es necesaria para poder transmitir la información entre la compañía y el cliente. [2]
- La capa de seguridad que es necesaria para proteger la privacidad de la información. [2]

Entre los elementos de la arquitectura la capa de comunicación es uno de los elementos más críticos. En el entorno de las REI, la red de comunicaciones puede ser representada como una arquitectura multicapa jerárquica clasificada por rango de cobertura y velocidad de transmisión. [2]

5. Objetivos energéticos de Colombia

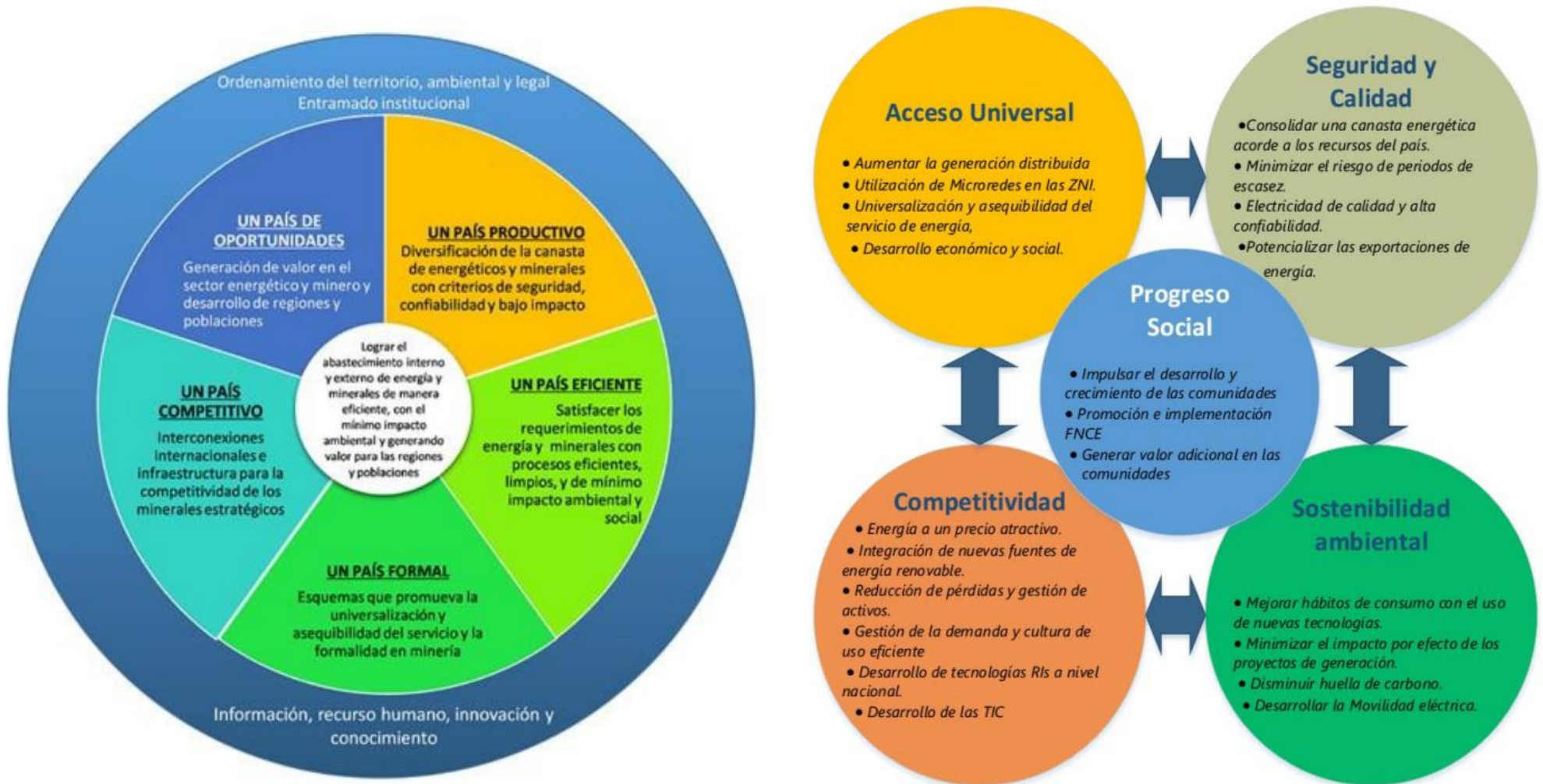


Figura 9. Objetivos. Fuente: Ideario 2050 / Plan Estratégico: Colombia Inteligente [2]

Para la elaboración del mapa de ruta es necesario establecer las metas y los objetivos que se esperan alcanzar con la implementación del proyecto para lo cual se tomó como punto de partida los objetivos definidos en el Ideario Energético de la UPME para el año 2050 y los Ejes Estratégicos y Temáticos de la Iniciativa Colombia Inteligente. El cumplimiento de estos objetivos es la motivación principal para la implementación y desarrollo de las RI en Colombia. [2]

5.1. Objetivos estratégicos de Colombia

Se analizaron los objetivos nombrados anteriormente con el propósito de identificar aquellos a los que las funcionalidades de las REI aportan alguna contribución. Cada uno de los objetivos estratégicos está conformado por varios objetivos específicos (Ver Figura 9), cuyo cumplimiento se evalúa por medio de una serie de KPI's. [2]

Mientras que el Ideario Energético elaborado por la UPME muestra de forma general los principales objetivos y retos para el sector energético, la iniciativa Colombia Inteligente da a conocer en sus objetivos estratégicos las líneas maestras para el sector eléctrico de una forma más específica. Claramente podemos apreciar las similitudes entre la visión de ambos documentos. [2]

5.1.1. Un país formal - Acceso Universal

“Las REI permiten aumentar el grado de generación distribuida por medio de la utilización de micro redes, favoreciendo la generación eléctrica en las Zonas No Interconectadas (ZNI). Esta característica le brinda al país la posibilidad de avanzar de forma más eficaz y eficiente en las labores de universalización y asequibilidad del servicio de energía, en la medida que aún hay regiones del país que no cuentan con un suministro continuo de ésta, incentivando así el desarrollo económico y social de estas regiones y de todo el país.” [2]

5.1.2. Un país productivo y eficiente - Seguridad y calidad

“Alcanzar un suministro confiable y eficiente de la energía, minimizando el riesgo de cortes eléctricos y garantizando la continuidad de suministro a través de la incorporación de nuevas fuentes energéticas y la implementación de tecnologías de punta, como, por ejemplo, las asociadas a las RI, que permitan una operación más eficiente del sistema.” [2]

5.1.3. Un país competitivo - Competitividad

“Su implementación permitirá mejorar la competitividad del país y obtener beneficios para los sectores tecnológico, eléctrico e industrial de Colombia.” [2]

5.1.4. Un país eficiente - Sostenibilidad

“Promover la gestión eficiente de la demanda en todos los sectores productivos e incorporar la implementación de energías renovables por medio del desarrollo de nuevas tecnologías, como por ejemplo las RI, que permitan mitigar el impacto ambiental causado por el sistema eléctrico. Adicionalmente, considerar la utilización del vehículo eléctrico (VE) como elemento de penetración de estas tecnologías limpias en el sector transporte, y así reducir las emisiones de gases contaminantes (CO2) asociadas.” [2]

5.2. Objetivos energéticos del estudio para Colombia

Dado que se debe agregar la contribución de los objetivos específicos dentro de cada uno de los objetivos estratégicos y a su vez la contribución de estos al objetivo global, Adicionalmente, teniendo en cuenta que es difícil medir la contribución de algunos objetivos específicos a los estratégicos, se dividen estos en dos tipos, los que tienen una contribución DIRECTA (tenidos en cuenta para el cálculo de pesos dentro del grupo) y aquellos que tienen una contribución INDIRECTA (objetivos que aportan, pero solo en una forma cualitativa. En la

Tabla 2 se presentan los valores de la contribución de los objetivos específicos del estudio a los objetivos estratégicos, y la contribución de los objetivos estratégicos al objetivo global análisis del estado del sistema eléctrico colombiano. [2]

Para el logro de los objetivos específicos, las RI proponen funcionalidades tales como lectura y operación remota, información al usuario, telemando, etc, que apoyadas en tecnologías de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), Automatización de la red de distribución (ADA), Recursos distribuidos (DER), y Vehículos Eléctricos (VE), permiten alcanzar los beneficios obtenidos con la implementación de proyectos de RI. [2]

Objetivo Específico	Contribución Obj. Específico a Obj. Estratégico	Objetivo Estratégico	Contribución del Obj. Estratégico a Obj. Global
Minimizar el riesgo de periodos de escasez de un recurso fundamental para el progreso	20	Seguridad y Calidad	55
Calidad de la electricidad con una confiabilidad acorde con las necesidades de la sociedad del siglo XXI	70		
Canasta energética acorde con los recursos disponibles del país para un suministro continuo de electricidad	10		
Potencializar las exportaciones de energía	INDIRECTO		
Energía a un precio atractivo comparado con otros países de la región	10	Competitividad	40
Flexibilización para que se promueva una mayor penetración de nuevas fuentes de energía renovables	INDIRECTO		
Reducir las pérdidas técnicas a valores costos efectivos	10		
Reducir las pérdidas no- técnicas y	40		

Objetivo Específico	Contribución Obj. Específico a Obj.	Objetivo Estratégico	Contribución del Obj. Estratégico a
mantenerlas en valores mínimos tolerables			
Gestión de activos para una mejor eficiencia del sector eléctrico	15		
Desarrollo de gestión de la demanda para amortiguar el crecimiento de uso de la electricidad, sin detrimento de la calidad de vida de la comunidad. Desarrollo de una cultura de uso eficiente en la sociedad.	25		
REI involucraran un componente tecnológico con gran cantidad de equipos electrónicos que pueden ser fabricados o integrados en el país.	INDIRECTO		
Desarrollo en el país de tecnologías de equipos y sistemas relacionados con las RI tanto para consumo local como para exportación	INDIRECTO		
Potenciar o adquirir experiencia en las componentes de sistemas asociados a los procesos de recolección de datos, procesamiento de información e integración de aplicaciones	INDIRECTO		
Minimizar el impacto a las comunidades por efecto de nuestros proyectos de generación	INDIRECTO	SOSTENIBILIDAD	5
Disminuir la huella de carbón del sector	100		
Acceso universal al servicio eléctrico	INDIRECTO	Acceso Universal	

Tabla 2. Valoración del peso de cada objetivo específico considerado sobre el objetivo global de Colombia Fuente: Science Direct [2]

Como se puede observar en la tabla anterior el objetivo específico con mayor contribución al Objetivo Global es la “Calidad de la electricidad con una confiabilidad acorde con las necesidades de la sociedad del siglo XXI”, con un peso total de 38,5% (70% respecto al objetivo estratégico y 55% de este respecto al objetivo global), seguido de reducir las pérdidas no-técnicas y mantenerlas en valores mínimos tolerables, aportando un 40% al objetivo estratégico y en un total también del 40% al objetivo global. [2]

Los objetivos específicos que menos aportan para su respectivo objetivo estratégico son la canasta energética para un suministro continuo, energía a un precio atractivo, reducir las pérdidas técnicas a valores costos efectivos, cada uno aportando el 10% a su objetivo estratégico. [2]

En el Plan Energético Nacional (PEN) expedido por el gobierno colombiano el 9 de enero de 2020 se plantearon 7 objetivos a corto, mediano y largo plazo, los cuales son:

- Seguridad de suministro energético y diversificación de la matriz energética
- Energía eje de desarrollo económico y prosperidad
- Gestión ambiental del sector energético
- Aseguramiento de cobertura a servicios y productos energéticos con inclusividad y desarrollo territorial
- Eficiencia energética
- Integración energética regional
- Entorno habilitante para la implementación del PEN 2020 – 2050

Para lograr cada uno de estos objetivos se pueden usar distintas aplicaciones de redes eléctricas inteligentes, incluyéndolas paulatinamente y de acuerdo a las necesidades.

Aunque el PEN 2020 no tiene una sección específica para la implementación de REI, se hace énfasis en dos puntos.

- La aceleración de la transformación de las redes de los energéticos hacia redes inteligentes, comenzando por las redes eléctricas, seguidos de redes de gas, agua e industria minera.
- La incursión poco a poco de vehículos eléctricos para transporte urbano de pasajeros, transporte de carga urbana, taxis y motos, para así mismo reducir las emisiones de CO₂.

“Las proyecciones de la UPME estiman que a 2050 un 30% de los vehículos del país, incluyendo motos, será eléctrica. Un 12% de los automóviles, camionetas y camperos particulares serán eléctricos, mientras que un 50% de las motos se moverán con este tipo de tecnologías. En cuanto al transporte público individual, un 30% de los taxis serán eléctricos mientras que un 30% se moverán con Gas Natural Vehicular.”

6. Descripción de la red eléctrica en Colombia

Ya establecidas las actividades del sector eléctrico a partir de la Ley 143, el Ministerio de Minas y Energía (MME) administra las funciones de regulación, planeación, coordinación y seguimiento (Congreso de la República de Colombia, 1994), dichas funciones son respectivamente realizadas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), la UPME y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). Asimismo, para la planeación, supervisión y control de los recursos de generación, interconexión y transmisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) se cuenta con la operación integrada del Centro Nacional de Despacho (CND), los acuerdos técnicos del Administrador de Consejo Nacional de Operación (CON), y la operación de mercados del Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) dependencia del CND. [3]

El suministro eléctrico colombiano depende del Sistema Interconectado Nacional y de los sistemas locales de las Zonas No Interconectadas (ZNI); de acuerdo al Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Energía Eléctrica 2013-2017, la interconexión al SIN es la

principal alternativa para la prestación del servicio ZNI, este representa el 98,9 % de la generación instalada. En la

Figura 10, se describe la capacidad por tipo de planta generadora a Diciembre de 2018 y se resalta la incorporación en la matriz energética nacional de la energía eólica y de la cogeneración, como resultado de la implementación de tecnologías limpias y optimización de procesos de combustión, respectivamente promovidas por los subprogramas del sector industrial, con el objetivo de crear metas de ahorro. [3]

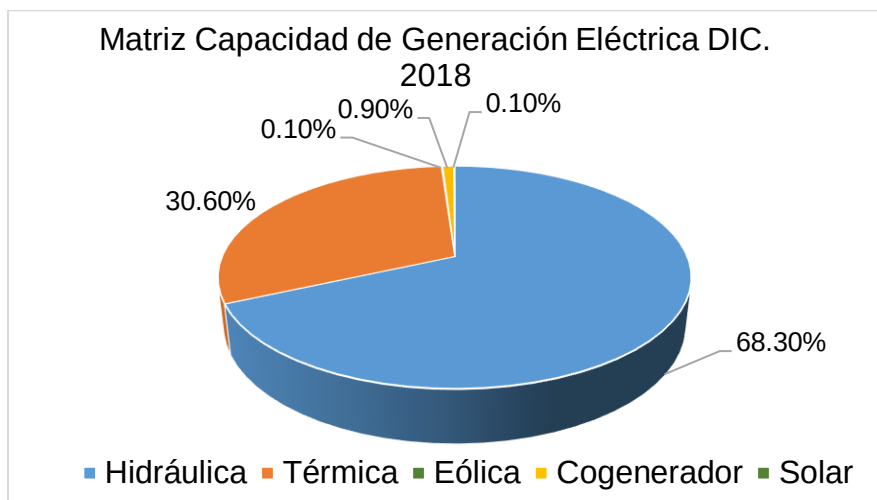


Figura 10. Capacidad instalada por tipo de planta generadora. Fuente: Elaboración propia con datos de ACOLGEN [3]

6.1. Comparación técnica de la red eléctrica actual colombiana frente a una REI.

A pesar de todas las debilidades técnicas y de infraestructura que posee el actual sistema energético colombiano para el desarrollo de las REI, existe una gran oportunidad desde el marco normativo y regulatorio, el cual, mediante incentivos económicos promueve la integración de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) a la red tradicional tendientes a la generación distribuida, a la eficiencia energética e inclusión de las ZNI para el desarrollo económico sostenible del país. [3]

RED ELÉCTRICA ACTUAL COLOMBIANA	RED INTELIGENTE
Electromecánica	Digital
Comunicación Unidireccional	Comunicación Bidireccional
Generación Centralizada	Generación Distribuida
Pocos sensores	Sensores a lo largo de la REI
Monitoreo Manual	Auto monitoreo
Restauración Manual	Reconfiguración automática
Fallas y apagones	Adaptivo y aislado
Control limitado	Control Generalizado
Pocas opciones de implementación de TIC para los clientes	Múltiples opciones de implementación de TIC para los clientes

Tabla 3. Comparación técnica de la red eléctrica actual colombiana frente a una RI
Fuente: (Fang, Misra, Xue y Yang, 2012) [4]

7. Soluciones de redes eléctricas inteligentes para el contexto colombiano

7.1. Beneficios asociados a las funcionalidades

En este documento se identifican los beneficios que aportan cada una de las funcionalidades de las REI. En la Tabla 4 se muestran los beneficios directos que conllevan la implementación de cada una de ellas. [5]

Cada optimización se analiza con herramientas diferentes, a continuación, se detalla cómo se lleva a cabo dicho análisis. [5]

CI's (Número de contadores inteligentes) y monitorización (AMI)

De acuerdo a las particularidades del sistema eléctrico colombiano, de acuerdo al texto citado las funcionalidades de los CI's que se consideran más relevantes son las siguientes [5]:

- Limitación de potencia
- Información al usuario: participación de los consumidores en el mercado eléctrico
- Detección de manipulación y aviso a compañía
- Lectura y operación remota
- Gestión activa de cargas
- Medida de generación distribuida
- Tarificación horaria

Las principales mejoras que aporta la implantación de CI's es la reducción de pérdidas no técnicas, manipulación remota del contador por parte del OR y la reducción de costos de comercialización, por esto facilita la participación de los consumidores en el mercado eléctrico y el aplanamiento de la curva de demanda. [5]

TECNOLOGÍA	FUNCIONALIDAD	Reducción de pérdidas técnicas	Reducción de pérdidas no técnicas	Aplanamiento de la curva de demanda	Reducción de costos de comercialización	Mejora de la continuidad del suministro	Reducción de emisiones de CO2	Aumento de la dependencia energética ante fenómenos naturales	Aumento de la vida útil y ahorro de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución	Mejora del factor de potencia
CL's y monitorización (AMI)	Limitación de potencia				✓					
	Información del usuario			✓						
	Detección de manipulación y aviso a compañía		✓							
	Lectura y operación remota		✓		✓					
	Gestión activa de cargas			✓						
	Tarificación horaria			✓						
	Medidas de generación distribuida		✓		✓					
Automatización de la red de distribución (ADA)	Telemando (Control Remoto)					✓				
	Localización de faltas					✓				
	Self-healing					✓				
	Reconfiguración automática	✓							✓	
Recursos distribuidos (DER)	Generación distribuida en BT	✓		✓			✓	✓		✓
	Almacenamiento			✓						
Vehículo eléctrico	Movilidad pública						✓			
	V2G			✓			✓			
Gestión de activos									✓	

Tabla 4. Mejoras obtenidas por la implantación de cada tecnología de RI Fuente: CIRCE [5]

Reducción de pérdidas no técnicas

La instalación de CI's permite aumentar la información disponible para el OR e incrementar con ella el control sobre la energía entregada por su red y sobre la no facturada. Además, los CI's son capaces de detectar y alertar al OR en caso de una manipulación de terceros sin permiso previo. [5]

Reducción de los costos de comercialización

La instalación de CI's permite reducir el costo de desplazamiento para registrar la lectura del contador convencional. Por otro lado, los CI's pueden presentar la función de actuar de manera remota sobre ciertos parámetros de la operación, como es el cambio de tarifa, la modificación de la potencia contratada, la conexión/desconexión de los CI's, entre otras. Estas funciones facilitan una reducción en los costos de operación y una disminución de los cortes de suministro en comparación con los contadores tradicionales, los cuales necesitan ser operados de forma manual. [5]

Despliegue de la generación distribuida

Adicionalmente el CI es una de las piezas clave en el despliegue de la generación distribuida en BT ya que podría facilitar la información de la producción de manera instantánea al OR, así como detalles de la facturación en función de la regulación específica. [5]

Automatización de la red (ADA)

“La automatización de la red distribución consiste en dotar a algunos de los componentes de la red de los medios necesarios para permitir que el control se pueda realizar de forma automática, o por control remoto. La solución difiere según la tipología de las líneas. Se considera que el primer grado de automatización son los reconectores que, en caso de falta, permiten que desde un centro de control se pueda suministrar energía desde otra línea, caso de estar operando en una línea mallada de explotación radial. Un segundo grado de automatización incluiría el control remoto de los seccionadores en los transformadores, que permitirían que la zona a aislar en caso de falta sea más reducida y, por tanto, los tiempos sin suministro afectarían a una cantidad menor de usuarios.” [5]

Un aspecto clave para la mejora de la continuidad de suministro es la localización de fallas a lo largo de la red de distribución. En este sentido, se debe considerar el despliegue de dispositivos de localización de fallas en MT, tales como detectores de paso de falta, localizadores de falta en cabecera, entre otros. [5]

La automatización debe incluir la capacidad del sistema de ampliar los esquemas de protección e implementar mecanismos adaptativos de autoajuste de los dispositivos que lo forman. Esto es fundamental cuando, en caso de falta, se suministra energía desde una segunda línea o cuando la generación distribuida vierta su producción a la red, debido a que cambiaría la dirección de los flujos de potencia y por lo tanto los sistemas de protección se deberían adaptar. [5]

Un nivel más avanzado de automatización incluiría el concepto de subestación automatizada, que permitiría implementar mayores funcionalidades. La S/E automatizada realizará la concentración de los datos de generación y consumos conectados a la misma

para su transmisión a niveles superiores como para control o facturación, entre otros. Asimismo, contará con un controlador de subestación que albergará los algoritmos de localización de la falla, reposición de suministro y reconfiguración de red, para los que requieran información del estado de los dispositivos de localización de falla o elementos de maniobra de la red y a los que a su vez envía las órdenes correspondientes. Según el texto citado las principales funcionalidades de automatización avanzada son las siguientes [5]:

- **Self Healing** (autocuración): Es la automatización total del proceso de detección más la localización de la falla y el restablecimiento del suministro eléctrico. [5]
- **Reconfiguración de red automática:** Debido a las TIC y a AMI, se dispone de información del estado de la topología de la red, de medidas de consumo y generación, es posible una reconfiguración de red automática que minimice pérdidas y sobrecargas en la red. [5]

La automatización de red mejora principalmente con la continuidad del suministro y puede mejorar la eficiencia energética del sistema. [5]

Mejora de la continuidad de suministro

En las zonas de mayor consumo de energía habitualmente se cuenta con redes enmalladas de explotación radial. Este tipo de configuración es frecuente porque permite que en caso de que una falla impida el suministro de energía, algunos de los usuarios que estén alimentados desde un punto A puedan ser alimentados desde un punto B, identificado como punto fronterizo en la parte derecha de la Figura 11. Por otro lado, en entornos rurales caracterizados por líneas de explotación radial de mayor longitud que en los entornos urbanos la automatización de la red también consigue disminuir los tiempos en los que hay cortes de suministro de energía. [5]

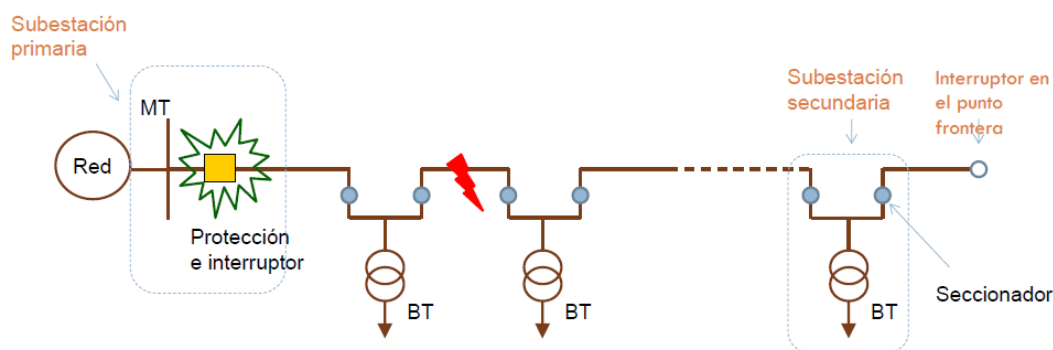


Figura 11. Esquema de una red mallada con explotación radial. Fuente: CIRCE [5]

Mejora de la eficiencia

La funcionalidad más avanzada de ADA consiste en ser capaz de reconfigurar la misma de manera que la eficiencia del sistema mejore.

Según el texto citado para la implementación de esta funcionalidad son necesarias varias condiciones [5]:

- Red mallada de explotación radial con dos o más elementos de corte automatizados.
- Monitorización de flujos de la red.
- Estimador de estado de la red.

El estimador de estado de la red, en función de los flujos en cada tramo, determina el punto donde la red mallada debe ser cortada de manera que las pérdidas técnicas sean mínimas. A partir de esta información se dan las órdenes de apertura y cierre de interruptores de manera que la red quede reconfigurada. [5]

Sistemas energéticos distribuidos - Generación distribuida en B.T.

En el presente documento se considera generación distribuida en BT únicamente a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de B.T. Tal y como se presenta en la caracterización de la red de distribución es el sistema de generación mejor posicionado para incrementar su penetración. Se considera que estos sistemas están compuestos por las placas fotovoltaicas y los inversores que se encargan de convertir la corriente continua generada por las placas en corriente alterna que se suministra a la red, como podemos apreciar en la Figura 12. [5]

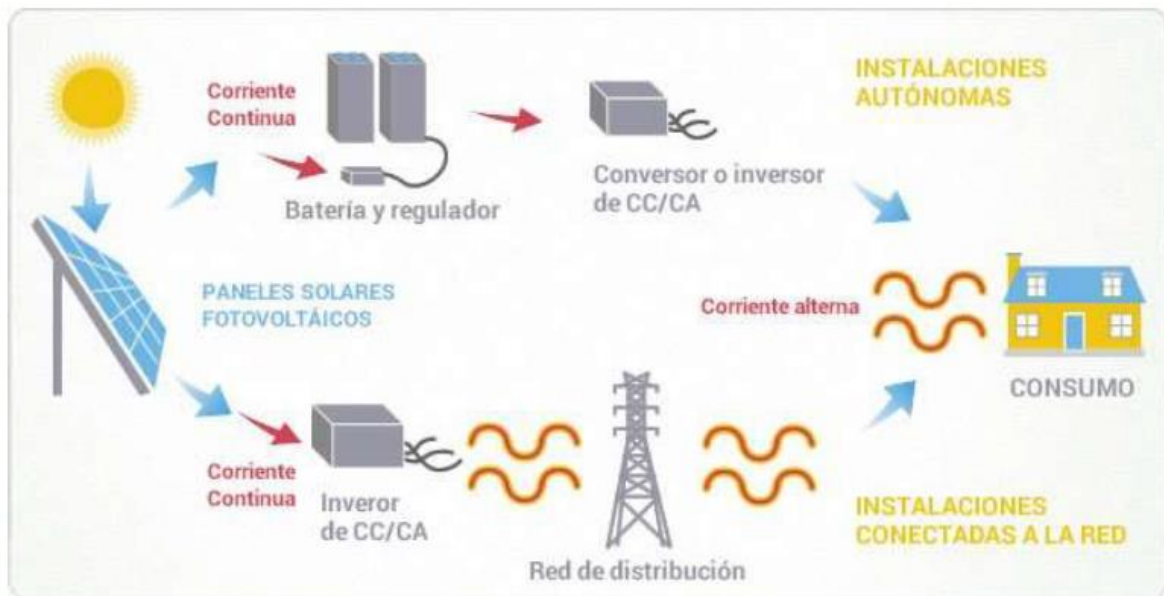


Figura 12. Esquema de generación distribuida Esquema de una red mallada con explotación radial. Fuente: Click Renovables (<http://www.clickrenovables.com/>) [5]

En general los inversores de conexión a la red cuentan con controles de tensión y/o factor de potencia que les permiten modificar su aportación de energía reactiva en función de las necesidades de la red a la que se encuentren conectados. La introducción de generación distribuida presenta múltiples beneficios. A continuación, se muestra los más relevantes [5]:

Reducción de pérdidas técnicas

De esta forma la energía se genera en puntos muy cercanos al lugar de consumo, con lo que se consigue una reducción drástica de las pérdidas por efecto Joule inherentes a la circulación de la corriente eléctrica por los conductores. [5]

Aplanamiento de la curva de demanda

La energía producida con generación distribuida, es energía que no se demanda a la red de distribución. Por esto, la energía generada fuera de las horas valle permite aplanar la curva de demanda. [5]

Reducción de emisiones de CO2

La generación distribuida mediante sistemas fotovoltaicos conectados en B.T. permite reducir las emisiones de CO2 causadas mediante algunas formas de generación de electricidad. Para realizar esta valoración se considera que mediante esta generación se sustituye parte de la energía generada por las centrales térmicas convencionales. [5]

Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales

El incremento de la energía generada con sistemas distribuidos permite reducir el consumo de recursos hídricos cuando las predicciones indiquen tiempos de sequía. De esta manera se dispondrá de una mayor cantidad de energía potencial acumulada en los embalses para ser utilizada de acuerdo a las necesidades del país. [5]

Mejora del factor de potencia

Esto se debe a que los sistemas fotovoltaicos son capaces de operar siguiendo una consigna de tensión o de factor de potencia, de manera que absorben o entregan potencia reactiva a la red en función de que haya sobretensión o subtenensión, respecto a la tensión nominal del punto en el que se encuentran conectados. [5]

Sistemas energéticos distribuidos – Almacenamiento

Actualmente los sistemas de almacenamiento no son muy frecuentes en las redes eléctricas. Es más común la instalación de baterías junto a los sistemas fotovoltaicos aislados para garantizar el suministro durante la ausencia de sol. Sin embargo, debido entre otros factores al desarrollo tecnológico del vehículo eléctrico, las baterías han sufrido un notable desarrollo en los últimos años y ya se dispone de equipos comerciales que pueden ser utilizados. [5]

Aplanamiento de la curva de demanda

La instalación de sistemas de almacenamiento permite el consumo de energía durante las horas valle, cuando su coste es menor y suministrarla en horas pico ayudando a disminuir el pico de la curva de demanda. [5]

Sistemas energéticos distribuidos - Vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico permite la movilidad sin la necesidad de un motor térmico y por tanto del uso de combustibles derivados del petróleo. El almacenamiento de la energía se hace en baterías que deben ser recargadas desde la red de distribución. Estas baterías deben garantizar una autonomía y una vida útil suficiente como para poder competir con el vehículo con motor de combustión. El sector del vehículo comprende distintos niveles [5]:

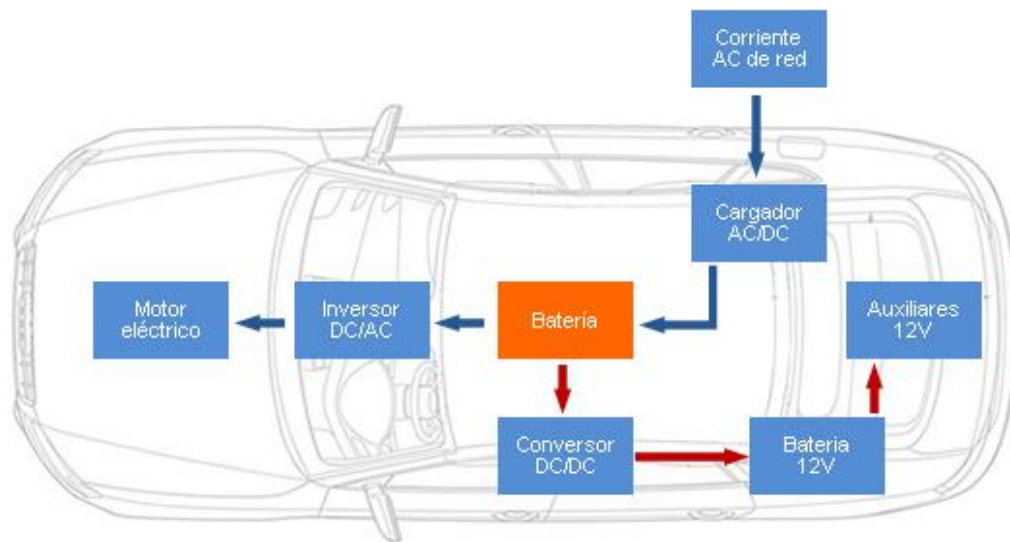


Figura 13. Vehículo Eléctrico. Fuente: Ecoticias [5]

Las ventajas a partir de la implementación del vehículo eléctrico son:

Reducción de emisiones de CO2

La reducción de emisiones de CO2 conseguida con la introducción del vehículo eléctrico es consecuencia de la disminución del uso de combustibles fósiles en los desplazamientos. Este efecto se acentúa debido a que la canasta de generación de energía eléctrica en Colombia es mayormente renovable. [5]

Aplanamiento de la curva de demanda

Los beneficios que aporta el VE a la explotación de la red son similares a los de los sistemas de almacenamiento. Ya que el principal uso de los mismos no es el almacenamiento, sino la movilidad, sus procesos de carga y de descarga a la red se deben dar desde los puntos de recarga. El impacto de la implantación del VE sobre la red actual sin modificaciones tarifarias y regulatorias probablemente consistiría en el aumento del consumo en las horas pico, ya que coincide cuando la mayor parte de la población llega a casa y conectaría su vehículo a la red para cargar la batería. Para evitar este

efecto y poder aprovechar las ventajas que brinda el disponer de sistemas de almacenamiento móviles que transportan la energía sin utilizar la red eléctrica sería necesario que el patrón de funcionamiento se basara en los puntos siguientes según el texto citado [5]:

- Los puntos de recarga de los vehículos deberán tener la suficiente inteligencia como para realizar la carga en los momentos en los que la energía es menos costosa. Para motivar que el usuario esté interesado en dotar con la suficiente inteligencia al sistema de recarga, debe de haber un incentivo económico mediante la distinción en la tarifa entre horas valle y horas pico. [5]
- El VE también se puede aprovechar como elemento de almacenamiento de energía. Uno de los casos más beneficiosos para la red es que los vehículos eléctricos pudieran proveer de energía a la red en las horas de mayor consumo, descargando sus baterías para volver a cargarlas en las horas valle nocturnas, una vez que la demanda ha disminuido. [5]

Gestión de activos

La gestión de activos es una función cuyas posibilidades se ven aumentada por las REI, ya que permite la explotación óptima y el aprovechamiento máximo de los recursos de las redes de distribución. Este concepto engloba el aumento de vida útil de los elementos de la red de distribución y el mejor aprovechamiento de la capacidad de la red para hacer frente a la demanda, gracias a la combinación de varios elementos y funciones de las REI. [5]

Aumento de vida útil y aplazamiento de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución

La implantación de las REI permite mejorar la gestión de los activos que componen la red de distribución de manera que se consigue incrementar su vida útil mediante la reducción de los tiempos que son sometidos a sobrecargas. Dicha optimización también evita la necesidad de repotenciar la propia red de distribución, es decir, evita la construcción de nuevas líneas o aumentar la capacidad de los transformadores, conductores y demás componentes de la red actual. La RI permite aumentar el grado de aprovechamiento de los recursos actuales. [5]

7.2. Impacto de las Funcionalidades

Para realizar el comparativo entre los distintos escenarios de implantación de las funcionalidades REI entre sí, se valora cómo los beneficios de las funcionalidades de las REI afectan a la consecución de los objetivos de Colombia en materia energética. [5]

Según el texto citado es necesario completar las siguientes acciones [5]:

Definición de valores objetivo de cada beneficio.

Dada la situación actual del sistema eléctrico colombiano y el beneficio potencial de las distintas funcionalidades de las REI se van a fijar valores objetivos para los KPI's en el escenario final a 2030. Los valores de KPI's se normalizan utilizando estos valores de manera que toman un valor de 1 cuando se alcanza el valor objetivo, mientras que su valor es 0 cuando permanecen en su valor inicial. [5]

Influencia de los beneficios en los objetivos específicos

Se estudia la relación entre los beneficios que aportan las funcionalidades de las REI (medidos a través de sus correspondientes KPI's) y los objetivos específicos de Colombia. De esta manera, para un determinado escenario de implantación se puede obtener el valor de la mejora del Objetivo Global de Colombia, indicador que resume en un único valor numérico la mejora que alcanzan los objetivos estratégicos relacionados con las REI disponiendo de un único marco comparativo, favoreciendo el análisis de diferentes escenarios de implantación. [5]

Reducción de pérdidas técnicas

Según la UPME las pérdidas totales en Colombia representan el 15,75% de la energía ofertada. El valor exacto de las pérdidas técnicas y de las no técnicas es difícil de cuantificar de manera exacta, sin embargo, se puede estimar que la mitad del valor de las pérdidas totales corresponde a cada una de ellas, es decir, aproximadamente el 8% de pérdidas técnicas y otro tanto de no técnicas. Tomando como referencia los valores de pérdidas técnicas de otros países similares a Colombia y otros países con un sistema eléctrico más desarrollado, como Estados Unidos o algunos países europeos, el valor objetivo de pérdidas técnicas fijado para Colombia puede considerarse en un 6% de pérdidas, lo que supone una reducción del 25% del valor actual. [5]

Reducción de pérdidas no técnicas

En el caso de las pérdidas no técnicas, partiendo del valor actual del 8% y tomando como referencia los estudios mencionados que muestran la potencialidad de la tecnología AMI para combatir este problema, se ha acordado el valor objetivo de pérdidas no técnicas para Colombia del 4%, lo que supone una reducción del 50% del valor actual. [5]

Aplanamiento de la curva de demanda

El aplanamiento de la curva de demanda se ha medido a través de la relación entre el consumo en la hora valle y en la hora pico de la curva de demanda. El valor actual de este parámetro en Colombia es de 0,53. La situación ideal sería que el consumo en horas valle y en horas pico fuera igual, pero resulta un objetivo que en la práctica es imposible de conseguir. [5]

Bajo este contexto, el valor objetivo marcado para este KPI's es disminuirlo 66% respecto al valor actual, objetivo que es complicado de alcanzar, pero no imposible. [5]

Reducción de los costos de comercialización

La instalación de aparatos de medida inteligente en los puntos de consumo aporta varios beneficios directos. El más relevante es la accesibilidad al contador inteligente ya sea para realizar la lectura de los datos de consumo o para reconfigurar el equipo. Esto redundará en ahorros relacionados con la comercialización de energía derivado de evitar el desplazamiento de personal a los puntos de medida, ocasionando beneficios directos desde el momento de su instalación. [5]

Mejora de la continuidad de suministro

Colombia actualmente registra un valor de SAIDI promedio de 29,47 horas/año. Tomando esta situación de partida y considerando el potencial de mejora que aportan las REI, se fija como valor objetivo para la continuidad de suministro llegar a un SAIDI promedio de 10 horas/año. Con esto se espera una mejora del 66% respecto del valor actual. [5]

Reducción de emisiones de CO₂

Según informes de la UPME acerca de las variables de generación y del mercado eléctrico colombiano las emisiones totales de las centrales de gas natural y de carbón en 2017 en Colombia fueron de 12,16 millones de toneladas mientras que las emisiones generadas por los vehículos con motores térmicos llegaron a 16,3 millones de toneladas de CO₂. Con estos datos se obtiene que la suma total de emisiones de Colombia para el año 2017 fue de 28,46 millones de toneladas de CO₂. [5]

Debido a que la previsión más razonable es que los niveles de emisiones aumenten por el incremento del consumo energético, se ha establecido que el valor objetivo de emisiones de CO₂ es mantener el nivel actual. [5]

Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales

Colombia actualmente cuenta con una dependencia energética con respecto a la generación hidráulica del 68,3%. [3]

Se ha analizado que la independencia energética proviene de la reducción de la dependencia de la generación hidráulica. Respecto de este valor y teniendo en cuenta que las REI van a permitir integrar fuentes de generación distribuida, se ha acordado establecer un valor objetivo donde la generación distribuida igual al 10% de los usuarios con una potencia promedio instalada de 1,5 kW, esta estimación da un escenario de penetración cercano al 10% en 2030. [5]

Mejora del factor potencia

El factor de potencia para la red colombiana ha sido evaluado en la red de la zona Caribe, considerando un factor de potencia actual en la zona de 0,7. Por medio de la instalación de fuentes de generación distribuida es posible, no sólo reducir pérdidas por disminución del consumo, si no también compensar la potencia reactiva de la red. Por esto se establece como un valor objetivo un factor de potencia de 0,95, lo que supone una mejora del 35,7%. [5]

BENEFICIO	VALOR OBJETIVO
Reducción de pérdidas técnicas	6%
Reducción de pérdidas no técnicas	4%
Aplanamiento de la curva de la demanda	66%
Reducción de costos de comercialización	14 USD
Mejora de la continuidad del suministro	66%
Reducción de emisiones de CO2	0%
Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales	4,10%
Mejora del factor de potencia	35,70%
Aumento de la vida útil y aplazamiento de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución	2 AÑOS

Tabla 5. Valor objetivo por beneficio de la RI Fuente: CIRCE [5]

7.3. Selección de las Funcionalidades REI más adecuadas al caso colombiano

A continuación, se realiza la evaluación de la influencia que tiene cada funcionalidad, incluida en cada tecnología que compone la REI, sobre cada KPI's según fuentes de la UPME. En primer lugar, según el documento citado se clasifica la importancia que tiene cada funcionalidad de la siguiente manera [5]:

- Sin contribución al KPI's 0
- Contribución baja 1
- Contribución importante 2
- Contribución decisiva 3

Es posible que una tecnología esté todavía lejos de mercado como el almacenamiento o Self-Healing, sin embargo, su implantación afectaría de buena manera a los beneficios como aplanamiento de curva de demanda o disminución de SAIDI, por tanto, ambas tienen una influencia de 3 sobre los beneficios nombrados. [5]

En la Tabla 6 podemos ver la influencia considerada para cada funcionalidad sobre los beneficios.

FUNCIONALIDAD	INFLUENCIA	INFLUENCIA NORMALIZADA	KPI
GD	3	0,75	Reducción de

FUNCIONALIDAD	INFLUENCIA	INFLUENCIA NORMALIZADA	KPI
Reconfiguración Automática	1	0,25	pérdidas técnicas
Detección Manipulación CI	3	0,6	Reducción de pérdidas no técnicas
Lectura y operación remota CI	1	0,2	
Medida de generación distribuida CI	1	0,2	
Información del usuario CI	2	0,2	Aplanamiento de la curva de demanda
Gestión de cargas CI	2	0,2	
Tarificación horario CI	2	0,2	
GD	0	0	
Almacenamiento	3	0,3	
Movilidad Eléctrica	1	0,1	Reducción de costos de comercialización (y operación remota)
Limitación de potencia CI	3	0,5	
Lectura y operación remota CI	3	0,5	
Medida de generación distribuida CI	0	0	Mejora de la continuidad de suministro
Telemando	3	0,5	
Localización de faltas	2	0,33	
Self_healing	1	0,17	Reducción de emisiones de CO2
GD	3	0,43	
Movilidad Eléctrica	3	0,43	
V2G	1	0,14	Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales
GD	3	1	
Gestión de activos	3	0,5	Aumento de la vida útil y aplazamiento de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución
Reconfiguración Automática	3	0,5	
GD	3	1	Mejora del factor de potencia

Tabla 6. Influencia considerada para cada funcionalidad sobre los beneficios

Fuente: CIRCE [5]

Se supone un escenario donde la implantación de las funcionalidades alcance el cumplimiento de los valores objetivo para cada uno de los KPI's, así mismo se evita evaluar los beneficios en función del grado de implantación de las funcionalidades ya que

el valor normalizado de cada uno de los KPI es uno. Sin embargo, hace falta conocer la influencia de cada funcionalidad de la REI en los beneficios para poder utilizar la metodología desarrollada. Los resultados de aplicar esta metodología determinan la influencia de cada funcionalidad RI en los beneficios. Una vez cuantificada la viabilidad de implantación y la influencia sobre los KPI's de cada funcionalidad de la REI se introducen los valores correspondientes de la Tabla 6. Las columnas de la Tabla 7 permanecen iguales. [5]

FUNCIONALIDAD	VIABILIDAD	INFLUENCIA	INFLUENCIA NORMALIZADA	KPI
Generación distribuida en BT	58%	3	0,75	Reducción de pérdidas técnicas
Reconfiguración automática	42%	1	0,25	
Detección manipulación	58%	3	0,6	Reducción de pérdidas no técnicas
Lectura y operación remota	83%	1	0,2	
Medida generación distribuida	75%	1	0,2	
Información del usuario	75%	2	0,2	Aplanamiento de la curva de demanda
Gestión de cargas	50%	2	0,2	
Tarificación horaria	58%	2	0,2	
Generación distribuida en BT	58%	0	0	
Almacenamiento	58%	3	0,3	
Movilidad pública	58%	1	0,1	
Limitación de potencia	58%	3	0,5	Reducción de costos de comercialización (y operación remota)
Lectura y operación remota	83%	3	0,5	
Medida generación distribuida	75%	0	0	
Telemando	75%	3	0,5	Mejora de la continuidad de suministro
Localización de faltas	67%	2	0,33	
Self-healing	33%	1	0,17	
Generación distribuida en BT	58%	3	0,43	Reducción de emisiones CO2
Movilidad pública	58%	3	0,43	
V2G	42%	1	0,14	
Generación distribuida en BT	58%	3	1	Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales
Gestión de activos	58%	3	0,5	Aumento de la vida útil y aplazamiento de inversiones para

Reconfiguración automática	42%	3	0,5	aumentar la capacidad de la red de distribución
Generación distribuida en BT	58%	3	1	Mejora del factor potencia

Tabla 7. Influencia de cada funcionalidad RI a los KPI's Fuente: CIRCE [5]

La tabla anterior muestra la importancia obtenida para cada funcionalidad al evaluar su contribución a la consecución de los objetivos de Colombia. Como se puede apreciar la generación distribuida juega un papel fundamental en la consecución de los objetivos, tras dicha funcionalidad las siguientes en orden de importancia son el telemando de los elementos de corte de la red y la detección de manipulación de los CI's.

Una vez obtenida esta valoración se debe combinar con las características del sistema eléctrico colombiano como son tipo de usuarios residenciales con las diferencias entre estratos, número de usuarios regulados o no regulados y sus respectivos consumos medios, número y consumo de los usuarios industriales y comerciales, etc. Con ambos puntos de vista se puede establecer un grado de penetración de cada tecnología en cada fase temporal considerada. [5]

FUNCIONALIDAD	IMPORTANCIA RELATIVA (%)
Generación distribuida en BT	23,71
Telemando	15,47
Detección manipulación	14,1
Localización de faltas	9,17
Lectura y operación remota	8,69
Medida de generación distribuida	6,04
Gestión de activos	4,15
Almacenamiento	3,32
Información del usuario	2,84
Self-Healing	2,29
Tarificación Horaria	2,21
Reconfiguración automática	2,14
Gestión de cargas	1,9
V2G	1,39
Limitación de potencia CI	1,38
Movilidad eléctrica	1,19

Tabla 8. Importancia de cada funcionalidad en la consecución de los objetivos de Colombia Fuente: CIRCE [5]

		Objetivo Global Colombia								
		55			40				5	
		Seguridad y Calidad			Competitividad				Sostenibilidad	
		20	70	10	10	10	40	15	250	100
KPI's	Minimizar riesgo periodos de escasez	Calidad electricidad en Colombia	Canasta Energética	Energía a un precio atractivo	Reducir pérdidas técnicas	Reducir pérdidas no técnicas	Gestión de activos	Gestión de la demanda	Disminuir huellas de carbono	
Reducir pérdidas técnicas				0,25	0,8					
Reducir pérdidas no técnicas				0,25		1				
Aplanamiento de la curva de demanda							0,8			
Reducción de costos de comercialización (y operación remota)							0,2			
Mejora de la continuidad de suministro		0,1		0,5						
Reducción de emisiones CO2									1	
Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales	1		1							
Aumento de la vida útil y aplazamiento de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución							1			
Mejora del factor potencia					0,2					
Cumplimiento Objetivo (p.u.)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Peso del objetivo (en %)	11	38,5	5,5	4	4	16	6	10	5	
										Cumplimiento Objetivos Colombia (%)
										100

Tabla 9. Contribución de los KPI's al objetivo global de Colombia Fuente: CIRCE [5]

7.4. Metodología de evaluación del beneficio aportado por cada Funcionalidad

A continuación, se muestra cómo se ha realizado la evaluación de la mejora de las funcionalidades de Redes Inteligentes.

CI's y monitorización (AMI)

La evaluación de los beneficios de los CI's se hace a través de valoraciones y cuantificaciones obtenidas de la bibliografía estudiada a los objetivos de reducción de pérdidas no técnicas, aplanamiento de la curva de demanda o la reducción de costos de comercialización favoreciendo la accesibilidad a los datos de consumo. [5]

Reducción de pérdidas no técnicas

En materia de detección de pérdidas no técnicas, se explica la evolución de los métodos computacionales de identificación de fraude energético en diferentes sistemas eléctricos, siempre considerando un 100% de penetración de los sistemas de medida inteligente. [5]

Aplanamiento de la curva de demanda

En lo referente a aplanamiento de la curva de demanda, se ha comprobado que el CI actúa principalmente sobre la reducción del pico máximo de demanda. Este tipo de actuación se realiza por medio de acciones de los operadores sobre el consumidor, como los programas de tarificación dinámica, respuesta de la demanda o de la planificación de consumo energético. [5]

Reducción de costos de comercialización

La mejora en la reducción de costos de comercialización no se aprecia exclusivamente a nivel técnico, sino que la instalación de CI permite apreciar un beneficio económico directo desde el momento de su puesta en funcionamiento. [5]

Automatización de la red - ADA

Para hacer este análisis se define en una red urbana enmallada en explotación radial y en una red rural radial de gran longitud. Adicional se caracteriza la demanda de los mismos, donde en los entornos urbanos el 50% de los usuarios son residenciales, el 40% son comerciales y el 10% restante industriales, en entornos rurales se considera un 90% de usuarios residenciales y un 10% de usuarios industriales. [5]

Se debe definir el grado de automatización donde el primer grado es la existencia de reconectores telecontrolados en los puntos fronterizos que son los que permiten suministrar desde una segunda línea en caso de una falla. Los siguientes grados de automatización consisten en la instalación de interruptores telecontrolados en los transformadores. El reparto de la automatización en las diferentes subestaciones se hará de manera que se optimice el beneficio obtenido. Siguiendo el mismo criterio de los interruptores, se analiza la influencia de la instalación de detectores de la falla, de esta forma se puede comparar el beneficio que aporta a la mejora de la continuidad de suministro cada elemento. Debido a que algún OR está planteando la instalación conjunta de ambos elementos se evalúa el beneficio que se obtiene si se instalan simultáneamente.

Como último paso se considera como el mayor grado de automatización la funcionalidad de self healing con la que se reducen los tiempos de toma de detección y toma de decisión por parte del centro del control ya que se hacen automáticamente. Se deben definir los tiempos que de la recuperación del suministro. [5]

En la Tabla 10 se enumeran y se adjunta los rangos considerados para los más importantes.

	ENTORNO URBANO [min]	ENTORNO RURAL [min]
Primera maniobra de la brigada	60	120
Segunda maniobra de la brigada	40	100
Actuación del personal de centro de control para dar aviso a la brigada	4,0-5,0	4,0-5,0
Actuación del personal de centro de control para dar orden de cierre/apertura	0,5-1,5	0,5-1,5

Tabla 10. Tiempos considerados para el cálculo del SAIDI Fuente: CIRCE [5]

Según el texto citado estos son los pasos para actuar en la detección de la falla [5]:

- Tras tener definidos los pasos, se procede a hacer una falla en cada uno de los tramos que conforman la red y se calcula el tiempo que tarda en recuperar el suministro en cada tramo, teniendo en cuenta el número de usuarios por tramo. [5]
- Una vez realizada la falla en cada tramo hay que normalizar los tiempos obtenidos para la probabilidad de cada una de las faltas en la red real. Como estos datos son difíciles de cuantificar, la normalización se hace en función del valor del indicador SAIDI disponible para Colombia. [5]
- Una vez validados los cálculos para el grado de automatización actual de la red, se repite el proceso por cada funcionalidad y grado de penetración de la misma analizada. [5]

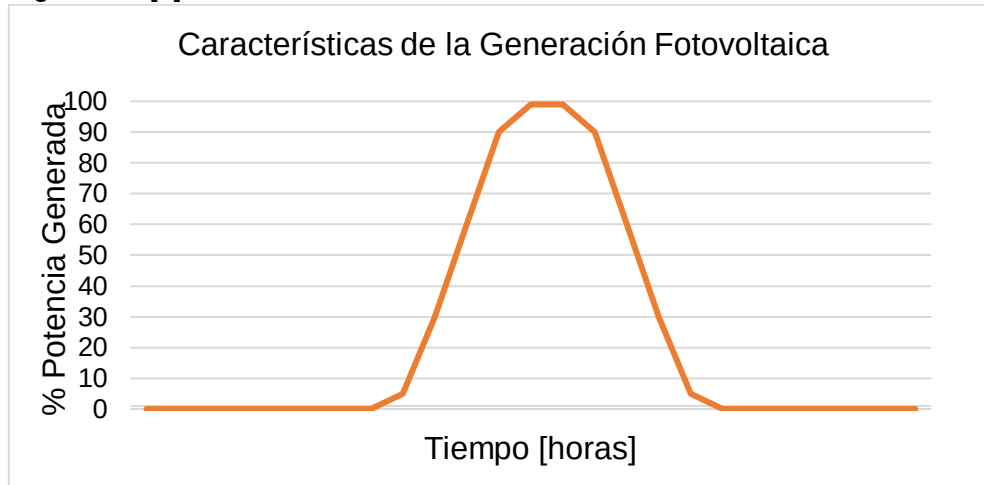
Por último, se obtiene el valor de SAIDI característico de Colombia en función del peso que tiene el entorno urbano y el rural respecto a toda la red. [5]

Sistemas energéticos distribuidos

Reducción de pérdidas técnicas

- Una vez definida la tipología de los circuitos se añade la caracterización de la demanda. En este caso se añade el entorno industrial en el que se considera que el 50% de los usuarios son residenciales y el 50% son industriales. [5]
- Se definen las curvas de carga para cada tipo de usuario según su potencia contratada, ajustándolas al comportamiento de la curva de la demanda global de Colombia. Dicha curva se caracteriza porque la variación entre la demanda máxima y la mínima es de un 30%. [5]

- Se caracteriza la curva típica de generación de los sistemas fotovoltaicos, según la Figura 14. [5]



*Figura 14. Características de la generación fotovoltaica Vehículo Eléctrico.
Fuente: CIRCE [5]*

- Se parte de una potencia promedio instalada en cada vivienda de 1,5 kW. Estas instalaciones se modelan en grupos de 10, 30 y 40 sistemas y se distribuyen en los nodos de manera que se minimicen las pérdidas, en función de su proximidad a la cabecera de la línea y de la potencia contratada. [5]
- El estudio se realiza para cada tipo de entorno y grado de penetración de generación distribuida. [5]
- De este modo se obtiene mediante simuladores un índice de pérdidas técnicas por sistema y grado de penetración de GD, analizando la reducción de pérdidas respecto del valor de pérdidas sin GD. [5]
- Por último, se obtiene el índice de pérdidas característico de Colombia en función del peso que tiene el entorno urbano, el industrial y el rural respecto a toda la red. [5]

Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales

La evaluación de los beneficios de la generación distribuida acerca del aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales, se realiza teniendo en cuenta que el número de horas anuales de utilización de los sistemas de generación distribuida es inferior al de las centrales hidráulicas, según la IDEA. Esto permite establecer un factor de aprovechamiento medio, que servirá para establecer el resultado del KPI sobre independencia energética. [5]

Optimización del factor de potencia

La evaluación se realiza mediante el estudio de la instalación de generación distribuida fotovoltaica cuya implementación permite compensar el factor de potencia según un criterio técnico-económico. [5]

- Se utilizan como fuentes de compensación los módulos de generación fotovoltaica con capacidades de 15 kW, 45 kW y 60 kW. [5]
- Este estudio se lleva a cabo sobre la red de la zona caribe ya que es la zona con más problemas de factor de potencia donde se modelan las cargas utilizando 0,7 como factor de potencia. [5]
- Se considerará que la instalación fotovoltaica permite compensar reactivamente en todo momento, y no está restringida a las condiciones de generación, debido a las características del convertidor de potencia. [5]
- Se realiza un análisis para determinar las mejores ubicaciones para establecer puntos de compensación de reactiva. Por medio de esto consigue una clasificación de los puntos del sistema de mayor a menor potencial de corrección del factor de potencia. [5]
- Una vez identificados los puntos con mayor potencial de mejora, se comprueba la mejora del factor de potencia que se consigue en función de los diferentes módulos fotovoltaicos considerados, uno a uno. [5]
- Posterior se determina el módulo que proporciona una mayor compensación sin suponer un costo mayor que el de las pérdidas asociadas a operar con un factor de potencia muy reducido. Así se sabrá la capacidad óptima a instalar en cada punto seleccionado. [5]
- Por último, se asigna una característica horaria para incluir los reactivos en cada uno de los puntos identificados para la compensación de manera óptima. [5]

Con esta metodología el resultado final es la solución para la compensación del factor de potencia en el sistema nombrado anteriormente, así se permitirá reducir la sobrecarga de los diferentes equipos de los que se compone la red gracias a la optimización del flujo de reactiva. [5]

Sistemas energéticos distribuidos – Almacenamiento

Aplanamiento de la curva de demanda

La evaluación se hace conjuntamente con la valoración del aporte de la generación distribuida al aplanamiento de la curva de demanda. [5]

Sistemas energéticos distribuidos – Vehículo eléctrico

Reducción de emisiones de CO2

La evaluación de los beneficios de la generación distribuida se lleva a cabo por valoraciones y cuantificaciones obtenidas de la UPME a través del informe las emisiones de CO2 de las centrales térmicas en Colombia y del efecto sobre las mismas a raíz de integrar el VE dentro del sistema energético. [5]

Aplanamiento de la curva de demanda

Para analizar este punto se realiza la caracterización de la curva de demanda y la carga del vehículo eléctrico. Para optimizar el aprovechamiento del vehículo eléctrico, se considera que la recarga de sus baterías se lleva a cabo durante la madrugada ya que estas horas son las de menor consumo y que tras la vuelta a casa su carga se verá restringida hasta la madrugada siguiente. Al tratarse de una primera etapa de integración

del VE en la red, se estudia sólo como una nueva carga, sin la capacidad de inyectar potencia a la red, como se muestra en la Figura 15. [5]

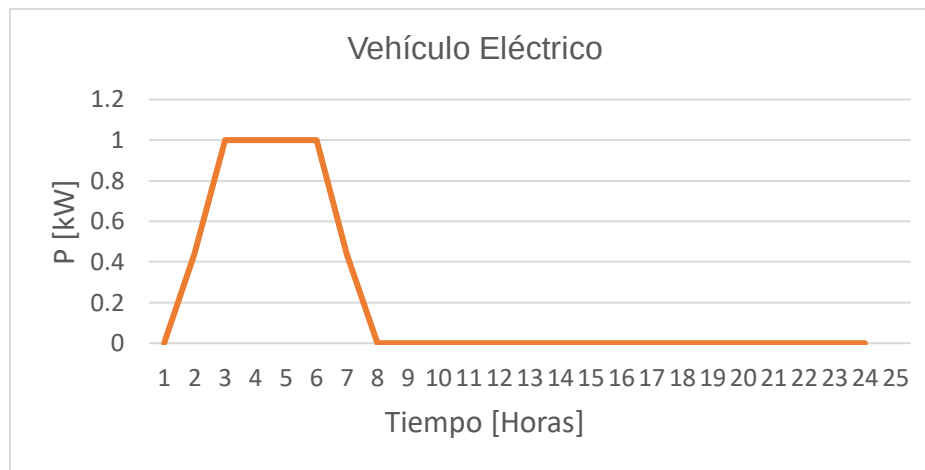


Figura 15. Curva de carga y descarga del vehículo eléctrico Fuente: CIRCE [5]

En la

Figura 16 podemos ver la diferencia entre los clientes que tengan VE y los que no, donde los que lo poseen recaen en un consumo mayor en horas valle por parte de los que no, al tratarse de una carga nueva sin capacidad de devolver parte de la energía que carga y que no necesite durante su actividad diaria. Al no considerarse la posibilidad de inyectar energía en la red, la contribución del vehículo eléctrico al aplanamiento de la curva de demanda es el aumento del mínimo consumo. [5]

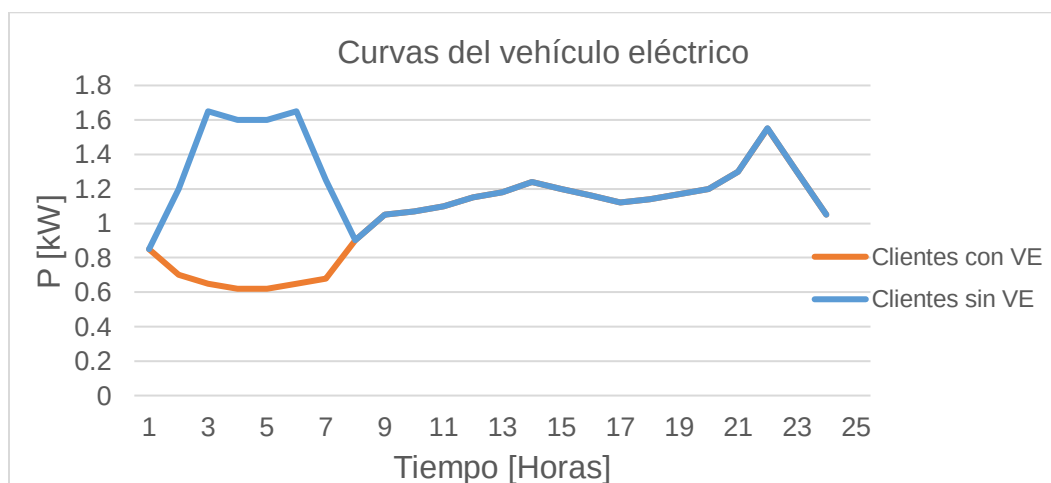


Figura 16. Curvas del vehículo eléctrico Fuente: CIRCE [5]

Con la idea de realizar una aproximación a los niveles de penetración determinados, se estima que 1 cliente residencial tiene 3 kW, un cliente comercial tiene 10 kW y un cliente industrial tiene 50 kW y en función de ellos se definen las curvas de carga de cada sector. La penetración del VE se define en función de los usuarios residenciales. De acuerdo a la gráfica. [5]

Gestión de activos

La evaluación se lleva a cabo mediante el aumento de vida útil de los transformadores que permite la instalación de las REI mediante la reducción de la sobrecarga de la red con base a la norma que especifica la pérdida de vida útil en función del nivel de sobrecarga de estos equipos según la norma IEC 60076-7. [5]

Por esto se ha considerado que actualmente se trabaja con un 108% de sobrecarga, por ser el primer nivel de sobrecarga se considera que por medio de la red inteligente se pasaría a trabajar al 100%. [5]

7.5. Resumen del modo de Estudio de las Funcionalidades

FUNCIONALIDAD RI	MODO DE ESTUDIO
CL's y monitorización (AMI)	Valoraciones y cuantificaciones obtenidas a partir de experiencias nacionales e internacionales y diferentes estudios científico-técnicos
Reducción de pérdidas no técnicas	
Aplanamiento de la curva de demanda	
Reducción de costos de comercialización	
Automatización de la red (ADA)	Herramientas propias de trabajo desarrolladas en proyectos similares a partir de los circuitos obtenidos en la circular 036 de 2014 de la CREG
Mejora de la continuidad de suministro	
Sistemas Energéticos distribuidos en BT	Modelos simplificados de los circuitos característicos de los entornos urbano, industrial y rural, basados en el modelo de la CIGRE y adaptados al caso colombiano
Reducción de pérdidas técnicas	
Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales	
Optimización del factor de potencia	
Sistemas Energéticos distribuidos -Almacenamiento	La valoración se hace conjuntamente con la valoración del aporte de la generación distribuida al aplanamiento de la curva de la demanda
Aplanamiento de la curva de demanda	
Vehículo eléctrico	Modelos simplificados de los circuitos característicos de los entornos urbano, industrial y rural, basados en el modelo de la CIGRE y adaptados al caso colombiano
Reducción de emisiones CO2	
Aplanamiento de la curva de demanda	
Gestión de activos	Valoraciones y cuantificaciones obtenidas a partir de experiencias nacionales e internacionales y diferentes estudios científico-técnicos
Aumento de la vida útil y aplazamiento de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución	

Tabla 11. Resumen del Modo de Estudio de las Funcionalidades Fuente: CIRCE [5]

7.6. Influencia de los Beneficios en los Objetivos Específicos

Debido a que hay objetivos específicos los cuales contribuyen a varios beneficios obtenidos por las funcionalidades de las REI, es necesario ponderar la influencia de los beneficios sobre objetivos.

Por ejemplo, se considera que al objetivo específico “Energía a un precio atractivo comparado con otros países de la región” contribuye un 25% el KPI’s de reducción de pérdidas técnicas, otro 25% el de reducción de pérdidas no técnicas y un 50% el de mejora de continuidad de suministro. [5]

En la Tabla 11, se muestra la matriz que relaciona el cumplimiento de los objetivos específicos con los beneficios aportados, considerando la influencia de cada beneficio sobre cada objetivo. [5]

KPI's	Minimizar riesgo periodos de escasez	Calidad electricidad con confiabilidad	Canasta Energética	Energía a un precio atractivo	Reducir pérdidas técnicas	Reducir pérdidas no técnicas	Gestión de activos	Gestión de la demanda	Disminuir huellas de carbono
Reducir pérdidas técnicas				0,25	0,8				
Reducir pérdidas no técnicas				0,25		1			
Aplanamiento de la curva de demanda							0,8		
Reducción de costos de comercialización (y operación remota)							0,2		
Mejora de la continuidad de suministro		1		0,5					
Reducción de emisiones CO2									1
Aumento de la independencia energética ante fenómenos naturales	1		1						
Aumento de la vida útil y aplazamiento de inversiones para aumentar la capacidad de la red de distribución							1		
Mejora del factor potencia					0,2				

Tabla 12. Influencia de las Beneficios de RI frente a objetivos Fuente: CIRCE [5]

8. Panorama y desarrollo de las REI en Colombia

8.1. Mapa de Proyectos de Redes Inteligentes en Colombia

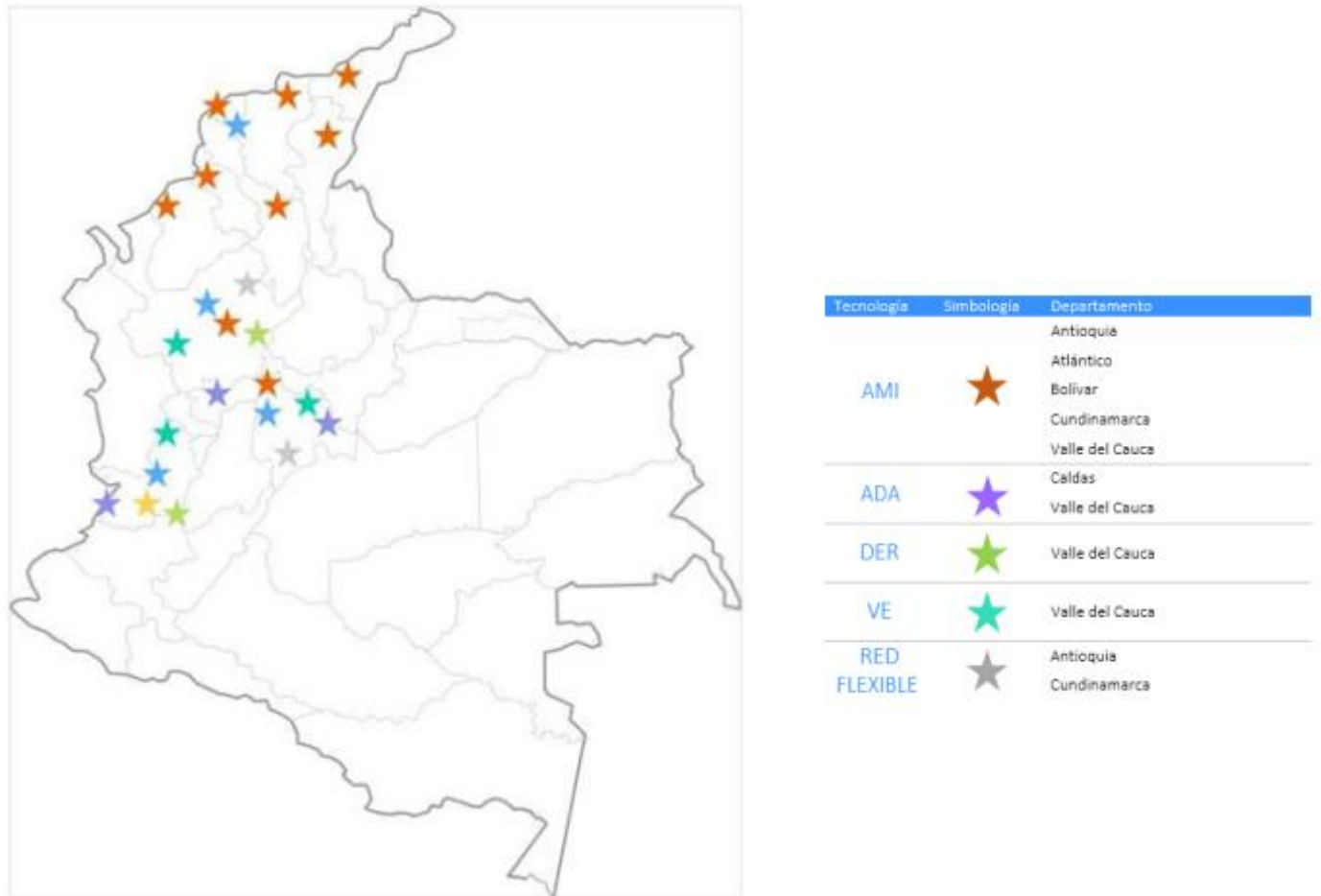


Figura 17. Proyectos de redes eléctricas en Colombia Fuente: Informe 4 propuesta de hoja de ruta (Información aportada por Colombia Inteligente) [6]

8.2. AMI

Proyectos Piloto Referentes a AMI					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Piloto Smart Metering	BOGOTA D.C	ENEL	Evaluación del Smart Metering masificado como una infraestructura tecnológica que se puede aportar en el desarrollo de Colombia y en los objetivos estratégicos de CODENSA.	Factibilidad	AMI
			Implementar un piloto de medidores inteligentes con el objetivo de demostrar los beneficios de la infraestructura de medición avanzada (AMI)		
			Normalizar los sistemas de medida centralizada existentes en la compañía		
			Disminuir las pérdidas de energía por el hurto		
			Aumenta la calidad del servicio de energía eléctrica		
			Disminuir los costos de operación en las actividades de suspensión, inspección y reconexión		
Intelligent Supervision and Advances Control (Isaac) Fase III	Antioquia	XM	Este proyecto tiene como objetivo diseñar la arquitectura, el ecosistema funcional y un prototipo para los futuros sistemas de supervisión y control en tiempo real, proponiendo una visión hacia una evolución radical de los sistemas SCADA/EMS. Esta visión esta soportada en la premisa que la tecnología de supervisión evolucionará en 5 grandes temas:	En operación	AMI/ADA
			Integración completa de la medición fasorial en las herramientas de supervisión.		
			Desarrollo de funcionalidad de supervisión y control (EMS) distribuida en las S/E.		
			Infraestructura de comunicaciones con paradigma de Nube/Bus de datos.		
			Desarrollo de paradigmas de protección colaborativa.		
			Paradigmas de conciencia situacional avanzada para operadores.		
Proyecto Piloto de medición inteligente Multiservicio	Antioquia	EPM	Proyecto piloto de medición inteligente en electricidad, aguas y gas natural, para aproximadamente 1000 clientes, con el objetivo de asimilar la tecnología y medir impactos en calidad del servicio, identificación de pérdidas y costos comerciales, entre otros.	Otro	AMI

Proyectos Piloto Referentes a AMI					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Estudio del protocolo IPv6 en el modelo de datos del dominio de distribución de la Smart Grid	Valle	Universidad del Valle	En este trabajo se evalúa el desempeño de IPv6 en el dominio de distribución de las REI. Esta evaluación incluye una medición y análisis de los retardos, volúmenes de tráfico, anchos de banda, condiciones de seguridad y tiempos de asignación de direcciones con relación a diferentes condiciones de congestión en la red y número de usuarios activos. Se concibió un plan avanzado para superar las fuertes limitaciones que impone trabajar con simulación en este contexto.	Finalizado	AMI
Interconexión en los segmentos de acceso y backbone de la red de telecomunicaciones de la Smart Grid	Antioquia	INTERNEXA S.A.	Definir una metodología de selección del esquema de interconexión de acceso más apropiado, que satisfaga los requerimientos de conectividad de una zona geográfica o escenario determinado.	Factibilidad	AMI
			Analizar el impacto del tráfico de dispositivos de RI sobre el backbone de la red de telecomunicaciones de Internexa.		
			Plantear un modelo de negocio y sugerir al marco regulatorio el esquema de interconexión de los segmentos de acceso y backbone de la red de telecomunicaciones de las REI.		
Proyecto infraestructura de medición avanzada sobre plataforma TWACS	Valle	ACLARA PLS	Implementar soluciones que permitan atender la problemática de pérdidas no técnicas y el problema de bajo recaudo, en condiciones accesibles para los usuarios del sistema.	En operación	AMI
Proyecto piloto: Gestión de 1MW de demanda en sitio	CALI	Innovari	El proyecto pretende deslastrar 1MW de demanda dentro del SDL de EMCALI, de manera automática.	Factibilidad	AMI

Proyectos Piloto Referentes a AMI					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Interoperabilidad de medidores con DLMS COSEM y protocolo PLC PRIME	Atlántico-Bolívar-Magdalena	Electricaribe	Tener diferentes proveedores de medidores administrados por un mismo sistema de medida. La problemática actual es que cada proveedor tiene sus medidores y protocolos propios, con este proyecto se espera que se puedan leer medidores de diferentes proveedores.	Evaluación	AMI
Perfil Colombiano 61850	Perfil Colombiano 61850	CODENSA S.A. ESP- Universidad Nacional Sede Medellín	Con este proyecto se pretende desarrollar un perfil colombiano IEC61850, que permita unificar el proceso de configuración de los equipos en todas las empresas del sector eléctrico colombiano	Diseño	AMI
Piloto Smart Meter con protocolo DLMS Cosem PRIME	Guajira-Cesar-Magdalena-Atlántico-Bolívar-Córdoba-Sucre	Electricaribe	Con este proyecto se pretende evaluar el comportamiento de la red PLC-PRIME con protocolo de comunicación DLMS-COSEM y lograr integrar en un mismo sistema de medida medidores de diferentes marcas; actualmente tienen muchas pérdidas debido a la manipulación de los equipos actuales, se busca tener el control de la energía debido a las principales variables de energía externas.	Factibilidad	AMI
Proyecto implementación del centro de gestión de la medida-fase0	Valle de Cauca-Colombia	Empresa de Energía del Pacífico- EPSA	EPSA desea realizar el estudio para la implementación de MDM's como parte de su centro de gestión de la medida para control de flujos de energía con el fin de realizar la tele gestión y gestión inteligente de la información de tal forma que sirva para la toma de decisiones que apoyen a la reducción de las pérdidas, gestión de la demanda y apalanquen los estudios de eficiencia energética.	OTRO	AMI

Proyectos Piloto Referentes a AMI					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Desarrollo de un sistema electrónico inteligente de medición y administración de energía eléctrica a usuarios finales	Cundinamarca	CIDEI	Se espera ganar un sistema inteligente de medida, control y administración de energía en redes de distribución, que permita a la empresa beneficiaria, realizar de forma automática el balance de energía en transformadores de distribución, identificando y analizando las pérdidas asociada al hurto de energía. Para la generación de resultados, se propone el desarrollo de un prototipo de dispositivo de medida inteligente y el software de administración de energía, conformando un sistema que cumpla con las características requeridas por la empresa beneficiaria. Se contempla la ejecución en el cual se realizará la instalación de dos dispositivos de medida y un concentrador en una de las redes de los clientes de la empresa beneficiaria, el cual durará entre 7 días y un mes.	Construcción	AMI
Arquitectura de software para gestión y medición del consumo de energía	Valle	OnGreen Colombia	La arquitectura que se va a diseñar en el proyecto servirá de base para el proyecto tecnológico de una iniciativa empresarial, en la cual busca brindar soluciones de ahorro y uso eficiente de recursos de agua y energía a las empresas de la región empleando como base una plataforma de servicios informáticos en la nube que le permite la gestión integral de recursos hídricos y energéticos y la detección de oportunidades de ahorro, recuperación, reciclaje y reúso de dichos recursos.	Diseño	AMI

Tabla 13. Proyectos pilotos referentes a AMI desarrollados en Colombia Fuente: Grupo Consultor CIRCE [6]

8.3. ADA

Proyectos Piloto Referentes a ADA					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Automatización de la operación de las redes de distribución subterráneas	Caldas	CHEC S.A.	Se instalaron diez equipos de telecontrol asociados a las celdas de corte que permitió la supervisión y operación remota desde el centro de control. De esta manera se agilizan los tiempos de respuesta en interconexión de circuitos ante eventos presentados en el sistema. Este esquema permite realizar de manera remota 29 interconexiones entre diferentes circuitos	En Operación	ADA
Intelligent Supervision and Advances Control (Isaac) Fase III	Antioquia	XM	Este proyecto tiene como objetivo diseñar la arquitectura, el ecosistema funcional y un prototipo para los futuros sistemas de supervisión y control en tiempo real, proponiendo una visión hacia una evolución radical de los sistemas SCADA/EMS. Esta visión esta soportada en la premisa que la tecnología de supervisión evolucionará en 5 grandes temas:	En operación	AMI/ADA
			Integración completa de la medición fasorial en las herramientas de supervisión.		
			Desarrollo de funcionalidad de supervisión y control (EMS) distribuida en las S/E.		
			Infraestructura de comunicaciones con paradigma de Nube/Bus de datos.		
			Desarrollo de paradigmas de		

Proyectos Piloto Referentes a ADA					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
			protección colaborativa.		
			Paradigmas de conciencia situacional avanzada para operadores.		

Tabla 14. Proyectos pilotos referentes a ADA desarrollados en Colombia Fuente: CIRCE [6]

8.4. DER

Proyectos Piloto Referentes a DER					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Servicios de DataCenter	Antioquia	INTERNEXA	Brindar los servicios de almacenamiento, servidores para el almacenamiento y el procesamiento de señales	Diseño	DER
Proyecto Eficiencia energética y energías renovables EPSA y Yumbo	Valle del Cauca	EPSA- Empresa de energía del pacífico	Este proyecto tiene como objetivo principal llevar a cabo una evaluación del impacto que tiene la implementación de la tecnología en la red eléctrica y que permita conocer las condiciones bajo las cuales sería apropiada su aplicación en el sistema interconectado nacional: esto manejándolo bajo la implementación de un sistema fotovoltaico en el edificio EPSA Yumbo en modalidad piloto	Otro	DER
Proyecto Piloto de Micro-Red Inteligente Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín)	Antioquia	Universidad Pontificia Bolivariana (Medellín)	Se pretende implementar una Microred inteligente para el estudio, investigación, apropiación tecnológica y desarrollo de prototipos con miras a ofrecer soluciones integradas tipo micro red para grandes consumidores, zonas no interconectadas, etc. Para resolver la problemática identificada, se procederá en tres fases:	Construcción	DER
			Fase I: Implementación de la infraestructura de la micro red.		
			Fase II: Investigación, apropiación tecnológica e integración de prototipos.		
			Fase III: Desarrollo de soluciones a la medida y escalamiento de la Microred		

Proyectos Piloto Referentes a DER					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Perfil modelo CIM para empresas del sector eléctrico colombiano	Antioquia	EPM	El modelo CIM es un estándar descrito en UML que organiza toda la información que puede ser necesaria en la gestión de los sistemas de energía eléctrica. Su empleo simplificará el intercambio de información entre aplicaciones de distintos fabricantes. Actualmente las empresas del sector eléctrico están trabajando para implementar el modelo CIM en sus sistemas informáticos de forma independiente. Por medio de este proyecto se pretende generar un perfil del modelo CIM básico para el intercambio de información y proporcionar herramientas informáticas que ayuden a implementar dicho modelo.	Construcción	DER

Tabla 15. Proyectos pilotos referentes a la generación distribuida y sistemas de almacenamiento desarrollados en Colombia Fuente: CIRCE [6]

8.5. VE

Proyectos Piloto Referentes a VER					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Proyecto Transporte Eléctrico-Viabilidad de Tecnologías Innovadoras para la operación, Modernización y Crecimiento de las Redes Eléctricas de EPSA E.S. P	Valle del Cauca	EPSA	Debido al gran avance que se vienen presentando en los últimos años los vehículos eléctricos y su presentación inicial en el mercado nacional, donde cada uno de ellos tiene tecnologías diferentes en su diseño, EPSA trabajara en un estudio sobre Viabilidad de Tecnologías innovadoras para la operación, modernización y crecimiento de las redes eléctricas de la EPSA. Con esto se pretende conocer futuras necesidades y realizar pilotos que validen la información de rendimientos, comportamientos en el ámbito local y el impacto en la red, estaciones de carga sistemas de almacenamiento y movilidad eléctrica.	Finalizado	VE

Tabla 16. Proyectos pilotos referentes a la movilidad eléctrica Fuente: CIRCE [6]

8.6. Gestión de activos y gestión de cargas

Proyectos Piloto Referentes a gestión de activos y gestión de cargas					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Desarrollo de capacidades al producto SMARTIN, utilizando analítica avanzada y autoaprendizaje, SMARTIN (Sistemas de información para gestión de pérdidas no técnicas)	Antioquia	Universidad de Medellín	El proyecto se trata de un software que permite gestionar la medición desde contadores inteligentes: sin embargo, actualmente el producto no tiene la capacidad de identificar las pérdidas no técnicas. Así se propone ampliar las capacidades del producto utilizando algoritmos avanzados y análisis estadísticos de datos, para poder hacer el producto más acorde a las problemáticas del sector y contribuir a la reducción de las pérdidas no técnicas. Consiste en una solución de REI para gestionar las pérdidas no técnicas de energía. Esta solución beneficia a las empresas del sector eléctrico en Colombia y Latinoamérica y es un producto altamente especializado y extensivo en conocimiento que hace uso de algoritmos avanzados para mitigar el problema mencionado.	Construcción	Gestión de activos
Proyecto adecuación funcional del sistema de control SVC Tunal 230 kV	Bogotá D.C.	Empresa de Energía de Bogotá	Desarrollar y apropiar el conocimiento necesario para mejorar y/o adecuar el sistema de control SVC, de manera que éste sea capaz de contribuir eficazmente el amortiguamiento de oscilaciones del sistema que se presenten, especialmente ante	Diseño	Gestión de activos

Proyectos Piloto Referentes a gestión de activos y gestión de cargas					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapa	Tecnología
			eventos en el área oriental.		
Proyecto adecuación funcional del sistema de control SVC Tunal 230 kV	Cundinamarca	Empresa de Energía de Bogotá	Sistemas de control que integren el funcionamiento de los equipos FACTS con la PMU oscilaciones del sistema que se presenten especialmente ante eventos en el área oriental.	Factibilidad	Gestión de activos
Aplicación de REI- Proyecto SDPL (Sistemas dinámicos de parametrización de Líneas)	Cundinamarca	Empresa de Energía de Bogotá	Mediante los sensores de temperatura telemedidas de los SPD L es posible hacer un mayor y mejor uso de la capacidad de las líneas y modificar los flujos de potencia entre diferentes circuitos.	Factibilidad	Gestión de activos

Proyectos Piloto Referentes a gestión de activos y gestión de cargas					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Estrategias basadas en inteligencia computacional para la gestión de la potencia eléctrica en ambientes de Microred	Valle del Cauca	Universidad del Valle	El objetivo principal de este proyecto es proponer técnicas innovadoras basadas en inteligencia computacional para incrementar la calidad y eficiencia energética de las gestiones de la potencia eléctrica en micro redes, utilizando modelos que contemplen las realidades y el potencial de desarrollo eléctrico de nuestro país. Se busca entregar a la comunidad científica, académica y al sector nacional, un conjunto de estrategias novedosas de optimización para resolver el problema de evaluar de forma automática y en tiempo real, el estado óptimo de la operación de la micro red en lo relacionado a la gestión de su potencia eléctrica, con lo cual se logre incrementar la productividad, la calidad del servicio y la sostenibilidad	Construcción	Gestión de cargas

Proyectos Piloto Referentes a gestión de activos y gestión de cargas					
Nombre del proyecto	Ubicación del proyecto	Empresa desarrolladora	Descripción general del proyecto	Etapas	Tecnología
Proyecto implementación de micro turbinas de Río-Fase 0	Cauca	EPSA	Se implementará un piloto en la central hidroeléctrica de Salvajina, consistente en la instalación de una micro turbina de río de 5 kW, evaluando por medio de un protocolo de pruebas su desempeño, resistencia y entrega de energía a redes auxiliares o a una pequeña red de distribución no interconectadas al STN. Inicialmente el proyecto se está implementando en la salida del agua turbinada en una central hidroeléctrica de 280 MW, denominada Salvajina, con el fin de tener conocimiento de las tecnologías de micro turbinas y de sistemas fotovoltaicos.	Evaluación	Gestión de cargas

Tabla 17. Proyectos pilotos referentes a gestión de activos y gestión de cargas Fuente: CIRCE [6]

9. Análisis particular de algunas de las iniciativas referentes a REI en Colombia

9.1. Proyecto Piloto de Medición Inteligente Multiservicio (EPM-UNE)

El canal de comunicaciones y los protocolos empleados para conectarse con los contadores inteligentes son los siguientes [6]:

- Red de área local (LAN):
- Para la capa de aplicación se utiliza DLMS/COSEM, ANSI C.12, DNP 3
- Para la capa de transporte se tiene UDP, Capa Red: IPv6,
- Capa Enlace: RF Mesh
- Red de área amplia (WAN):
- Celular GPRS, 3G (GSM) y Ethernet (sobre fibra).

Opcionalmente, pueden utilizarse protocolos en la HAN para unos cuantos clientes [6]:

- Nivel de Aplicación: SEP
- Nivel de Transporte: UDP,
- Nivel de Red: IPv6
- Nivel de Enlace: 802.15.4 / ZigBee, 802.11 n/g"

Los concentradores de datos se ubican en los postes de EPM y en lugares propios para un buen alcance de transmisión y recepción [6].

Este proyecto intenta reflejar en gran medida el estado actual de las comunicaciones y las expectativas que se tienen en la actualidad en Colombia, dado que EPM es una empresa de prestación de servicios públicos, con filial UNE en el área de telecomunicaciones [6].

9.2. Proyecto Arquitectura Red Jumbo

Infraestructura de comunicaciones

La infraestructura de la red de comunicaciones está compuesta por enlaces de radio tipo Trunking Motorola en la banda de 800 MHz, red móvil celular y en algunas zonas especiales de difícil cobertura, microondas por banda no licenciada de 5,8 GHz. [6]

Medios para el registro de eventos

Todos los eventos registrados en la red necesarios para la supervisión, control y medida que permitan mantener los niveles de servicio son registrados localmente en una memoria no volátil por los reconfiguradores y son enviados al centro de control por las respectivas unidades terminales remotas mediante protocolos de comunicaciones de tiempo real. [6]

Otras características del proyecto

La Smart grid contará con: Interoperabilidad, utilización de esquemas de comunicación, Automatización avanzada y Manejo de la demanda. [6]

Análisis

Este proyecto está asociado al mejoramiento del sistema de distribución de M.T, para adaptarlo a las necesidades que surgen cada día así poco a poco y estandarizar su operación y mantenimiento. [6]

9.3. Proyecto Implementación del Centro de Gestión de la Medida – Fase 0

Descripción

La Empresa de Energía del Pacífico EPSA, localizada en el departamento del Valle del Cauca, desarrolla este proyecto con el fin de integrar los sistemas de adquisición y almacenamiento de datos, para así agilizar el proceso de integración, manipulación y mantenimiento de los múltiples sistemas. [6]

Características de los equipos de medida y de la red

EPSA no propone realizar modificaciones con software a los equipos de medida. Se utilizarán equipos de medida estándar. El sistema colector y concentrador de datos tiene como propósito integrar las señales de los equipos telecontrolados, que en algunos casos ya traen protocolos de medición inteligente para objetivos específicos. [6]

Análisis

Este proyecto pretende desarrollar un sistema de tratamiento de información enfocado al conjunto de datos de referencia o maestros que estandariza y unifica para así garantizar la correcta integración al sistema de medición de EPSA. [6]

9.4. Proyecto Transporte Eléctrico - Viabilidad de Tecnologías Innovadoras para la Operación, Modernización y Crecimiento de las Red Eléctrica de EPSA E.S.P.

Esquema de comunicación con los vehículos o contadores

Para acceder a la información del vehículo se usa una computadora personal que está conectada con la unidad que actúa como terminal de control del sistema, lo cual permite tomar variables eléctricas, térmicas y mecánicas del desempeño del vehículo y de facturación prepago. [6]

Estandarización de los protocolos

Hoy en día no se tiene una estandarización de protocolos en las estaciones de carga rápida. Sin embargo, se encontró que en el mercado existen dos estándares dominantes como el protocolo CHADEMO y el COMBO, pero muchos de los fabricantes tienen un protocolo propio como son BYD, Renault, entre otras. [6]

Finalmente, Colombia está estudiando y definiendo los estándares para carga rápida y carga lenta. Para carga rápida predomina el CHADEMO y COMBO, mientras que para el proceso de carga lenta los tipos 1/USA como SAE j1772 / IEC62196-2. [6]

Análisis

Este proyecto ya posee resultados de las pruebas realizadas en más de 800 recorridos, por lo cual se deduce que las estructuras de comunicación implementadas ya tienen pruebas de funcionamiento. [6]

9.5. Automatización de la operación de redes de distribución subterráneas

Descripción

La empresa operadora de red CHEC, filial de EPM ejecuta un proyecto para lograr una mayor efectividad operativa en la automatización de redes de distribución subterráneas, que considera la complejidad y al gran número de nodos con derivaciones. En este proyecto, se instalaron diez equipos de telecontrol asociados a las celdas de corte que permite la supervisión y operación remota desde el centro de control, para disminuir los tiempos de respuesta en la interconexión de circuitos ante eventos inesperados en el sistema. Este esquema implementado en la ciudad de Manizales, permite realizar 29 interconexiones entre diferentes circuitos de manera remota. [6]

Canales de comunicación utilizados para tele operar las celdas de corte

Este proyecto utiliza el MICROSCADA de ABB. El protocolo utilizado primordialmente es el SPA, pero el sistema soporta también protocolos IEC60870---5---10X según el tipo de terminal remota. Los canales de comunicaciones son punto a punto que utilizan infraestructura de fibra óptica o medios de comunicación por radio frecuencia con velocidades de 9.6 bps aproximadamente. [6]

Análisis

Este proyecto está en operación y sirve para brindar un mejor servicio a los usuarios de la red en la ciudad de Manizales. Seguramente tienen mucha experiencia sobre problemas de comunicaciones presentados durante el tiempo de operación. [6]

9.6. Proyecto Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) sobre plataforma TWACS

Descripción

Este proyecto realizado por la empresa EMCALI está orientado a implementar nuevas tecnologías que permitan solucionar los problemas de recaudo y los problemas técnicos como reducción de pérdidas de energía, con criterios de eficiencia en recursos, bajos costos de sostenimiento en el mediano y largo plazo y rentabilidad para el negocio de comercialización y distribución de energía. [6]

Estructura de comunicaciones

EMCALI seleccionó la tecnología PLC denominada TWACS (Two---Way Automated Communications System), de la firma ACLARA Power Line Systems Inc., que permite una comunicación bidireccional sobre las líneas de energía para comunicar, analizar, y manejar información sobre el consumo de electricidad, agua y gas y controlar algunos dispositivos. El sistema TWACS está compuesto por el sistema de información y la plataforma informática, que debe interactuar con los sistemas de información corporativos (sistema de información comercial, sistema de información técnico, sistema SCADA, sistema de información geográfica) que comprende el servidor, el equipo de comunicación con la red WAN y los equipos de Comunicaciones en Subestación, que a su vez tiene los siguientes componentes [6]:

- Unidad de Control de Recepción (Control Receiving Unit (CRU))
- Transformador de Modulación (Modulation Transformes Unit – MTU)

- Unidad de Modulación de Salida (Outbound Modulation Unit - OMU)
- Unidad de Captura de Entrada (Inbound Pickup Unit-IPU)

Los equipos de comunicación remota que comprenden todos los dispositivos que pueden comunicarse e interactuar a través del sistema TWACS, que comprende [6]:

- Medidores Residenciales y Comerciales
- Dispositivo de Control de Energía
- Desconexión Remota
- Medidores en Poste (Pole Mounted)

Análisis

Este proyecto está en operación en la ciudad de Cali y se desarrolló en colaboración con la Agencia de los Estados Unidos para el Comercio y el Desarrollo (USTDA). La operación de este sistema ha resultado en grandes restricciones a la hora de leer remotamente los contadores en modo bajo demanda. El sistema funciona bien cuando la medición ha sido previamente planificada. En la actualidad EMCali dispone de un sistema alternativo, en avanzado estado de desarrollo, basado en contadores multiprotocolo, capaces de proporcionar mayor ancho de banda de comunicaciones y permitir lecturas bajo demanda. Adicionalmente, EMCali ha realizado otros proyectos de REI, como un proyecto piloto de respuesta de la demanda que actualmente se encuentra operativo en uno de los centros comerciales de Cali. [6]

9.7. Aplicaciones TICS de tele medición en Electricaribe

El centro de control de la empresa de Electricaribe se encuentra en Barranquilla y cada zona tiene una gerencia que se encarga de la gestión operativa regional. Los proyectos que tienen actualmente y en los cuales involucran TIC's, están asociados con el tema de pérdidas no técnicas y el recaudo. En estos proyectos utilizan herramientas para la comunicación como GPRS, 3G, redes de radiofrecuencia y conexiones satelitales, para un grupo de usuarios importantes localizados al sur del departamento de Bolívar. Los siguientes son los proyectos [6]:

- Caso 1: Tele medida de 12 clientes que representan el 0.5 % del consumo. Esta tele medida, además de las medidas de potencia, incluye alarmas de apertura de las cajas donde se encuentran los equipos de medida, entre otros. Para este caso se utiliza Modem, conexión GPRS y 3G. En este caso, 15 clientes utilizan comunicación satelital. [6]
- Caso 2: Tele medida de inicialmente 3 clientes urbanos, que se espera que sean 10 clientes, de consumo superior a 3 kW/h/mes. El equipamiento utiliza redes de RF, conexiones de medidores y PLC. Caja maestra primaria y GPRS para conexión con el centro de gestión. La aplicación adicionalmente a medición y alarmas del caso 1, también tiene la posibilidad de corte y reconexión. [6]
- Caso 3: Medición centralizada de 70 clientes de bajo consumo en el cual se realiza balance energético con micro medidores y con los equipos de los clientes de estratos medio y bajo. En este caso existe una red de radiofrecuencia para comunicación entre los medidores del cliente y la Gateway en la caja maestra. [6]

Luego, a partir de ahí se envían las señales de comunicación vía GPRS hasta el centro de control. [6]

Por último, en las subestaciones existen alrededor de muchos puntos de medida, de los cuales se utiliza fibra óptica y otros utilizan comunicación mediante 3G y los restantes utilizan comunicación mediante GPRS. Según el texto citado entre los problemas más importantes encontrados en estas aplicaciones se encuentran los siguientes [6]:

- Alta atenuación de las señales de comunicaciones de radio y en la transmisión de las redes de radiofrecuencia. Los radios reales de alcance son de aproximadamente 150 metros, lo cual hace que se requieran muchas antenas y un gran mantenimiento. [6]
- Falta de cobertura de los operadores de telefonía celular, especialmente en la zona rural. [6]
- Problemas en la continuidad del suministro de comunicación de datos. Los operadores de telecomunicaciones no informan sobre el cambio de cubrimiento de las zonas y redirigen sus antenas a zonas de mayor tráfico de datos, algo que casi nunca coincide con las aplicaciones de los operadores de la red eléctrica. [6]
- Mantenimientos o re direccionamiento de antenas de comunicaciones no informados a los operadores de las redes eléctricas. [6]
- Problemas en los equipos del operador de red, los cuales se bloquean cuando no encuentran el servicio de comunicaciones. [6]
- Tasas de transmisión de datos reales en redes de radio frecuencia de 30 kB por segundo. [6]
- Daños y oxidación de todo tipo de cables, debido a la alta contaminación salina y a altas temperaturas. [6]

10. Panorama y desarrollo internacional de las REI

10.1. Contexto internacional de Redes

Para el presente documento se tienen en cuenta y se analizan iniciativas y proyectos relacionados con el desarrollo de redes eléctricas inteligentes. Esto permitirá extraer conclusiones acerca de las soluciones más apropiadas y los problemas a afrontar en el desarrollo de este tipo de infraestructuras, así como las similitudes y diferencias que existen entre las redes inteligentes instaladas alrededor del mundo. [6]

Los principales desarrollos en redes inteligentes están en Australia, Canadá, Europa, Brasil, Estados Unidos, China, Japón y Corea del Sur. Estos países tienen en común objetivos políticos a nivel nacional, basados en la seguridad del suministro eléctrico y el crecimiento económico mediante tecnologías bajas en carbono, para lo cual las redes inteligentes se sitúan como una parte vital. Todos los países tienen diferentes necesidades, pero, en cualquier caso, los principales motivadores para el desarrollo de las redes eléctricas inteligentes son las mejoras de la eficiencia del sistema, estándares u objetivos de energía renovable, mejora de la fiabilidad, permitir nuevos productos o servicios, permitir la participación del consumidor y optimizar el uso de los activos en la red. Por otro lado, las prioridades tecnológicas a nivel mundial son la implementación de la tecnología (AMI) y la integración de fuentes de energía distribuidas, seguidas por la integración de renovables, el desarrollo de TICs y el control de la red inteligente. [6]

10.2. Proyectos más relevantes de REI a nivel mundial

10.2.1. PRICE: Proyecto de REI en el Corredor del Henares

El proyecto PRICE, se ha llevado a cabo en el Corredor del Henares en Madrid-España. Se trata del mayor proyecto conjunto de demostración de redes inteligentes de España y uno de los más ambiciosos de la Unión Europea. Su elección fue debida a que permite disponer de diferentes tipologías de red, grandes clientes industriales, generación distribuida y, en definitiva, una alta concentración de puntos de suministro. En ella se conectan 71 MW de generación a la red de Media Tensión por medio de tecnologías eólica, fotovoltaica y de cogeneración y 1,9 MW a la red de Baja Tensión por medio de

	Ubicación	Corredor del Henares, Madrid – España	 
	Entidad financiadora	Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España	
	Fecha de inicio	2011	
	Estado actual	Fase de despliegue terminada en 2014	
	Usuarios	200.000	
	Entidades participantes	Consorcio formado por 22 entidades liderado por Iberdrola Distribución y Unión Fenosa Distribución	

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✗	✓	✓	✓	✗

tecnología fotovoltaica. [7]

Figura 18. Características Proyecto PRICE Fuente: CIRCE [7]

“El proyecto ha beneficiado a más de medio millón de usuarios. Durante su ejecución se instalaron alrededor de 200 contadores inteligentes y se modificaron 1.6 centros de transformación para adaptarlos al nuevo modelo de distribución de electricidad propuesto. PRICE está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y liderado por Iberdrola Distribución y Unión Fenosa Distribución en un consorcio de 22 entidades con el objetivo de dar respuesta a los retos tecnológicos que presentan a nivel mundial los sistemas eléctricos.” [7]

PRICE cubre las necesidades identificadas para el desarrollo de una red inteligente dentro de un marco de eficiencia, seguridad y sostenibilidad. El proyecto global se articula en base a los siguientes proyectos [7]:

- **PRICE-RED: Supervisión y Automatización.** *“Se ha diseñado y desarrollado una nueva plataforma que permite la supervisión y automatización de los centros de transformación que ha requerido el desarrollo de nuevos sistemas de adquisición, integración de equipos inteligentes, así como nuevos algoritmos de procesamiento de información en tiempo real”. [7]*
- **PRICE-GEN: Gestión Energética.** *“Se han desarrollado nuevos equipos de medida inteligente que proporcionan información puntual de los consumos y de la generación tanto de los clientes como los propios del estado de la red eléctrica. La principal aportación del proyecto se basa en la arquitectura de comunicación con la red general, así como la capacidad de tele gestión de los puntos de lectura”. [7]*
- **PRICE-GDE: Gestión de la Demanda.** *“Ha consistido en el desarrollo de un sistema de monitorización de consumo de los clientes estableciendo nuevos canales de información hacia ellos. Este sistema, basado en protocolos abiertos e interoperables, pretende optimizar el consumo eléctrico en su conjunto mediante la implementación de la Gestión Inteligente de la Demanda”. [7]*

En el caso PRICE-RED, su objetivo es la automatización y monitorización de los centros de transformación, se han empleado varias tecnologías de comunicaciones. Para la conexión de los CT's con los contadores inteligentes se emplean comunicaciones PLC de banda estrecha. Esta tecnología permite la lectura remota de contadores, pero no puede soportar la lectura bajo demanda a gran escala, por lo que se complica a la hora del despliegue de redes inteligentes que integren al usuario como elemento activo. [7]

10.2.2. Smartcity Málaga

El proyecto se desarrolla en por ENDESA en Málaga-España, se trata de un proyecto desarrollado en dos fases y basado en la modernización y la optimización de la red de distribución eléctrica actual. [7]

La zona donde se desarrolla el proyecto tiene una población de alrededor de 5000 habitantes, cuenta con 15 clientes domésticos, 900 industriales y 300 de servicios. La estructura de la red implicada en el proyecto consta de dos Subestaciones Eléctricas AT y MT de 66 kV y 20 kV respectivamente. *“Por una parte, en la primera de ellas se encuentra conectado un grupo de cogeneración, el principal nodo generador de energía eléctrica de la zona. Por otra parte, de la segunda de ellas parten más de una decena de líneas de MT que distribuyen la energía eléctrica en la mayor parte de la zona del Proyecto. Sobre cinco de estas líneas se centran los trabajos de automatización y comunicación de la red, sumando un total de 72 Centros de Distribución MT BT (20 kV 400/230 V) y 40 km de líneas de MT.” [7]*

	Ubicación	Málaga, España	 
	Entidad financiadora	Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, y la entidades participantes. Segunda fase: Endesa ENEL.	
	Usuarios	16.000	
	Fecha de inicio	2009	
	Estado actual	Terminada fase 2 en Diciembre 2014	
	Entidades participantes	Consortio formado por 11 entidades liderado por Endesa-ENEL Distribución	

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✓	✓	✓	✓	✗

Figura 19. Características proyecto Smartcity Málaga Fuente: CIRCE [7]

La zona de Smartcity Málaga cuenta con algo más de 13 MW de potencia instalada [7]:

- Una central de cogeneración de gas natural, de 10 MW de potencia.
- Una unidad de tres generadores, de 2,74 MW.
- Diversas instalaciones solares fotovoltaicas, repartidas por diferentes edificios con una potencia que asciende a entorno 300 kW.

El proyecto se ha realizado en dos fases, la primera de ellas se ha dedicado al diseño e implementación de tecnologías de redes inteligentes y ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y el consorcio de empresas participantes. La segunda fase ha sido financiada por ENEL y se ha dedicado a demostrar las bondades de las funcionalidades de las redes inteligentes. [7]

“Una de las soluciones probadas es la lectura automatizada de los contadores. El nuevo telecontador de Endesa permite acabar con los problemas de estimación gracias a una facturación transparente y a la medición en tiempo real. Mejora el servicio al cliente, que podrá gestionar sus consumos, visualizar los datos por internet y recibir avisos en caso de desconexión de la red, además ayudará a cambiar los hábitos de los consumidores, proporcionándoles datos online de su consumo e información sobre las tarifas. Estas medidas se espera que consigan un aplanamiento de la curva de carga. Se han investigado las tecnologías para la conexión del vehículo eléctrico y distintos tipos de sistemas de carga.

Desde el punto de vista de la eficiencia energética se ha trabajado en edificios públicos y privados y en la gestión del alumbrado público. Y desde el lado de red, se ha trabajado en la automatización de maniobras para disminuir los tiempos de desconexión y para la reconfiguración automática de la red buscando mejorar la eficiencia de la red y disminuir los tiempos de desconexión.” [7]

10.2.3. DISCERN: Distributed Intelligence for Cost-Effective and Reliable solutions

El Proyecto DISCERN tiene como principal objetivo tener una monitorización y un control más eficiente de las redes de distribución. El punto de partida es la información entregada por los contadores inteligentes y se analiza qué información se puede concluir de esa gran cantidad de información con el objetivo final de monitorizar y controlar la red de distribución. [7]

El proyecto pretende obtener recomendaciones basadas en el análisis costo - beneficio que se hace a través de los KPI's, para obtener los mejores niveles de inteligencia de la red. Se trata de la implementación de soluciones rentables, tecnológicas y organizativas, conseguidas a través de la demostración de su replicabilidad. [7]

	Ubicación	5 ubicaciones repartidas en toda Europa		
	Entidad financiadora	Comisión Europea		
	Usuarios	240.000		
	Fecha de inicio	2013		
	Estado actual	En proceso de finalización actualmente		
	Entidades participantes	<u>Empresas Distribuidoras Europeas:</u> Unión Fenosa Distribución, S.A., Iberdrola Distribución (España), RWE (Alemania), SSE (Reino Unido) y Vattenfall (Suecia). <u>Empresas:</u> ABB (fabricante equipos, Suecia), ZIV Communications (fabricante equipos, España), KEMA (consultoría, Alemania), Offis (consultoría, Alemania). <u>Entidades Investigadoras:</u> CIRCE (España), KTH (Universidad Estocolmo, Suecia).		

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✓	✓	✓	✓	✗

Figura 20. Características proyecto DISCERN Fuente: CIRCE [7]

Según el texto citado las principales funcionalidades consideradas son [7]:

- Optimización de la toma de datos utilizando concentradores virtuales como físicos, se requiere analizar las soluciones para casos donde el número de clientes aguas abajo del CT es muy bajo. [7]
- Monitorización en tiempo real de la red de BT que desea la mejora del control y de la forma de observar los equipos en BT, utilizando la infraestructura de medición inteligente. [7]

- Cálculo y separación de pérdidas no técnicas para el desarrollo de procedimientos de identificación de pérdidas técnicas y no técnicas. [7]
- Desarrollo de un sistema de automatización y monitorización para la red de MT para la mejora del control y de la monitorización de los flujos de carga y tensiones. [7]
- Agregación de carga flexible para control del flujo de carga y utilización de almacenamiento flexible para control de flujo de carga y servicios auxiliares. [7]

10.2.4. Smart Grid en Corea: Isla de Jeju

El proyecto KSIG (Korea Smart Grid Institute) fue iniciado en agosto de 2009 como proyecto pionero en Korea y cuyo objetivo principal es la modernización de los sistemas eléctricos de potencia. [7]

	Ubicación	Isla de Jeju, Corea del Sur	
	Entidad financiadora	No determinado. Se sabe que el presupuesto son 64,5 B€.	
	Usuarios	No determinado	
	Fecha de inicio	2009	
	Estado actual	En proceso, finalización programada para 2030.	
	Entidades participantes	168 compañías en 5 áreas forman un conjunto de más de 10 consorcios. Cabe destacar Icepco, Hyundai, KPX, SK energy, LG Electronics, Olleh Kt, GS Caltex.	

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✓	✓	✓	✓	✗

Figura 21. Características proyecto Smart Grid en Corea Fuente: CIRCE [7]

Este proyecto desarrolla las siguientes áreas de trabajo [7]:

- Refuerzo e incentivación de la planificación e investigación en los sistemas eléctricos de redes inteligentes.
- Gestión del proyecto como modelo para futuras implementaciones de REI.
- Integrar la operación de la red inteligente por medio de redes piloto poco a poco.
- Comienzo de proyectos en domótica.
- Mostrar el modelo y cooperar con otros proyectos de redes inteligentes.

Los objetivos de este proyecto son:

Crear un consumidor inteligente: Se tiene por objetivo la gestión de la demanda en las casas inteligentes. El objetivo es reemplazar a todos los medidores por otros inteligentes. [7]

Ofrecer un servicio eléctrico inteligente: El objetivo para el 2020 es que los usuarios puedan seleccionar su propio plan tarifario y para el 2030 que el 3% de los usuarios participen en el mercado. [7]

Smart Power Grids: Se trata del desarrollo de un sistema de monitorización, control de la red de potencia, sistema de auto curación y predicción de alguna falla en la red. Se incluye el monitoreo en tiempo real, operación del sistema de distribución y la automatización de la red de transporte. [7]

Transporte Inteligente: En esta ubicación se pueden probar los sistemas de carga de vehículos eléctricos (VE) y operar con los mismos a modo de proyecto piloto. Se tiene como meta para el 2030 llegar a 2,5 millones de vehículos eléctricos con 27 estaciones de carga. [7]

Implementar recursos renovables: Mediante este proyecto se pretende que la operación de micro redes aisladas o interconectadas incorporen generación distribuida, sistemas de almacenamiento de energía y vehículos eléctricos. Se desea aumentar la inclusión de energías renovables donde se afiance la energía eólica con sistemas de almacenamiento de la energía. [7]

10.2.5. Proyecto Baltimore Gas and Electric

La compañía de gas y electricidad de Baltimore (BGE) comenzó su proyecto de redes inteligentes en 2010. El proyecto incluye la mejora de la infraestructura de comunicaciones, así como la instalación de 575 contadores inteligentes, 202.906 dispositivos de control y 150 termostatos inteligentes que actúan durante los picos de consumo como parte de un plan de gestión de cargas. También se desarrolla un nuevo sistema de facturación basado en la medida inteligente, el Meter Data Management System. El MDMS utiliza a las nuevas tecnologías de medida instaladas, permitiendo a BGE implementar un programa de reembolso en horas pico para los clientes reduzcan su consumo durante esos tiempos. [7]

	Ubicación	Baltimore, Maryland	 
	Entidad financiadora	Estado federal de Maryland	
	Usuarios	575.000	
	Fecha de inicio	2010	
	Estado actual	Finalizado en 2014	
	Entidades participantes	BGE	

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✓	✓	✓	✗	✗

Figura 22. Características proyecto Baltimore Gas and Electric Fuente: CIRCE [7]

La compañía creó una página web para los clientes y los informes de gestión de la energía, la cual proporciona al usuario información sobre las mejoras en el comportamiento energético, así incentivan a la eficiencia del consumo a nivel doméstico. También se ofrecen incentivos a los clientes que instalen equipos de aire acondicionado y calentadores de agua centralizados. Los objetivos propuestos son [7]:

- Reducción de los costos de operación y mantenimiento.
- Mejora de la confiabilidad del servicio eléctrico.
- Mejora de la atención al cliente ante problemas de falta de suministro.
- Permitir a los clientes la disminución de los costos derivados del consumo energético
- Aplazar la inversión de expansión de la capacidad de los sistemas de transmisión y distribución.
- Reducción de los costos del fraude energético.
- Reducción de los gases de efecto invernadero.

10.2.6. Proyecto Austin Energy Smart Grid

La empresa Austin Energy desde el 2003 implementa 86 termostatos inteligentes, 410 contadores inteligentes, 2.5 sensores, 3 ordenadores y otros elementos de red. La primera etapa del proyecto fue completada en octubre de 2009 y fue el primer despliegue de Smart Grid completamente operacional en Estados Unidos. El proyecto incluye la monitorización de toda la empresa en tiempo real. La segunda fase del proyecto, se inició en diciembre de 2008. [7]

Esta fase se centra en la implementación de la REI sobre casas y los negocios a los que se les permita la posibilidad de instalar fuentes de generación distribuida, como paneles solares, conectadas a alguna forma de almacenamiento, combinadas con la integración del vehículo eléctrico. También se ha estudiado y se han planteado soluciones para preservar el estado de la red cuando los clientes quieran conectarse. [7]

	Ubicación	Austin, Tejas	 
	Entidad financiadora	Estado federal de Maryland	
	Usuarios	500.000	
	Fecha de inicio	2003	
	Estado actual	Completado en 2009.	
	Entidades participantes	Austin Energy, La ciudad de Austin, La camara de comercio de Austin, University of Texas, Applied Materials, Cisco, Dell, Freescale Semiconductor, GE, GridPoint, IBM, Intel, Microsoft, Oracle, SEMATECH consortium , Environmental Defense Fundation	

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✓	✓	✓	✓	✗

Figura 23. Características proyecto Austin Energy Smart Grid Fuente: CIRCE [7]

A lo largo del proyecto de Austin Energy, se ven estas soluciones de redes inteligentes [7]:

- Sistemas de medida avanzada.
- Mejora en la atención y servicio al cliente
- Monitorización de sistemas energéticos
- Fiabilidad y seguridad del suministro eléctrico
- Integración de fuentes de generación distribuida
- Carga para vehículos híbridos y eléctricos
- Mejora de la operación de la red
- Reducción de costos
- Disminución del fraude energético
- Mejor planificación y gestión de la demanda

- Reducción de necesidad de generar más y mejorar capacidad de red de transmisión

10.2.7. Proyecto China Southern Power Grid

Dentro de los proyectos de REI realizados en China, se destaca un sistema medición avanzada para recoger información del uso de la electricidad de todos los contadores instalados. Es el primer proyecto de red de distribución automatizada basado en la tecnología de comunicaciones inalámbrica LTE. Con este sistema se permite monitorizar en tiempo real el uso final de la electricidad, así se tendrá una facturación más precisa y la estimación de la demanda eléctrica. Adicional, el sistema puede detectar fallas en el medidor, controlarlos de forma remota y supervisar toda la red eléctrica como desde subestaciones, líneas de potencia y nodos primarios. [7]

	Ubicación	Provincia de Guangdong	
	Entidad financiadora	China Southern Power Grid	
	Usuarios	No determinado	
	Fecha de inicio	2011	
	Estado actual	En fase de desarrollo.	
	Entidades participantes	- Huawei - Hongdian - China Mobile	

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
✓	✓	✓	✓	✗	✗

Figura 24. Características proyecto China Southern Power Grid Fuente: CIRCE [7]

El proyecto implementado por CSG está muy relacionado con la red de comunicaciones, muy importante a la hora de configurar una red inteligente, se tienen como objetivos los siguientes [7]:

- La interconexión de áreas a las que no se puede llegar por conductor, como áreas urbanas muy antiguas. [7]
- Aumentar y mejorar la cobertura de red de las conexiones públicas inalámbricas en la lectura de los contadores. [7]

- Quitar las limitaciones de corta distancia de las redes de comunicación inalámbricas. [7]

10.2.8. iGreen Grid

El Proyecto iGreen Grid se crea en el 2013 con el objetivo de poder incrementar la capacidad de alojar generación renovable distribuida en las redes, sin comprometer a la confiabilidad y calidad del servicio, evaluando los obstáculos técnicos, económicos y regulatorios. Este proyecto se basa en los resultados obtenidos de 6 proyectos europeos de integración de renovables. [7]

	Ubicación	6 ubicaciones repartidas en toda Europa		
	Entidad financiadora	Comisión Europea		
	Usuarios	200.000		
	Fecha de inicio	2013		
	Estado actual	En fase de finalización, programada para 2015.		
	Entidades participantes	<u>Empresas Distribuidoras Europeas:</u> Unión Fenosa Distribución, S.A., Iberdrola Distribución (España), ERDF (Francia), ENEL (Italia), RWE (Alemania), Energie AG Netz (Austria), Salzburg AG (Austria), HEDMO (Grecia). <u>Entidades Investigadoras:</u> AIT (Austrian Institute of Technology), Tecnalia (España), RSE (Ricerca sul Sistema Energetico, Italia), ICCS-NTUA (Universidad de Atenas, Grecia).		

Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
X	✓	✓	✓	✓	X

Figura 25. Características proyecto iGreen Grid Fuente: CIRCE [7]

Para este proyecto se establecen los siguientes objetivos [7]:

- Compartir el conocimiento adquirido
- Evaluación de otras iniciativas a nivel europeo, como por ejemplo las necesidades de la red y las tecnologías necesarias para ello.
- Diseño de un ambiente de simulación y evaluación que permita establecer nuevos conceptos de control y modelos de negocio.
- Análisis de soluciones con base a indicadores de rendimiento

10.3. Conclusiones de las Experiencias Internacionales

Después del análisis de las experiencias internacionales más importantes en proyectos relacionados con REI, se concluye lo siguiente [7]:

Primero, se debe mencionar la relativa iniciación de proyectos de REI, ya que todos ellos han sido ejecutados hace menos de 10 años. Los primeros proyectos pilotos nacen en 2001 y muchos de ellos todavía están en fase de desarrollo. [7]

La base de los proyectos estudiados es la monitorización de la red, ya sea mediante la instalación de contadores inteligentes acompañados de su pertinente infraestructura de gestión o a través de la implantación de diferentes niveles de monitorización en MT y BT. [7]

Las funciones más importantes de las experiencias internacionales con REI son la gestión activa de la demanda para obtener el aplanamiento de la curva de demanda, el alza de los indicadores de calidad de suministros para mejorar el nivel de vida de las personas, el aumento de la eficiencia de la red para disminuir las pérdidas y las emisiones de CO₂ y la integración de generación distribuida en la red. [7]

A continuación, se presenta la Tabla 18 que resume estas experiencias internacionales con base a sus principales funcionalidades.

	Gestión de la demanda y participación del usuario	Fiabilidad y calidad de la red	Eficiencia de la red	Innovación del mercado	Generación distribuida a partir de ERNC	Desarrollo eléctrico para aumento de cobertura en las ZNI
PRICE	SI	NO	SI	SI	SI	NO
Smartcity Málaga	SI	SI	SI	SI	SI	NO
DISCERN	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Smart Grid Corea	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Smart Grid Santiago de Chile	SI	SI	SI	SI	SI	NO
Tele gestión ENEL en España	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Baltimore Gas and Electric	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Austin Energy	SI	SI	SI	SI	SI	NO
China Southern Power Grid	SI	SI	SI	SI	NO	NO
iGreenGrid	NO	SI	SI	SI	SI	NO

Tabla 18. Evaluación de las experiencias internacionales con base a sus principales funcionalidades Fuente: CIRCE [7]

Como podemos ver la mejora de la eficiencia de la red, la gestión de la demanda y la innovación del mercado, son los objetivos marcados en la totalidad de los proyectos de REI analizados. Por otro lado, la integración de la generación distribuida es una actividad menos común por dificultad que representa y a la necesidad de adaptar la red eléctrica para después integrar fuentes de generación distribuida a nivel del usuario sin poner en riesgo la estabilidad del sistema. [7]

Por último, la falta de actividades enfocadas al incremento de la cobertura de las zonas con menores infraestructuras y usuarios se debe a que los proyectos se concentran en la mejora de las infraestructuras en zonas de carácter urbano o semi urbano. [7]

11. Visión de las REI en Colombia

A partir de las metas planteadas para el escenario Visión 2030, se define el grado y el ritmo de penetración en el SIN de las tecnologías de REI. Esta labor se realiza mediante un análisis de viabilidad técnico-económica que permite valorar la contribución de dicho escenario de las tecnologías REI a la consecución de los objetivos de Colombia en materia energética. Para definir la prioridad, el grado y el ritmo de implementación, se deben tener en cuenta 4 factores, que son: Madurez tecnológica, Costo de implementación, Barreras regulatorias y Barreras sociales. [7]

Con la implementación de las REI se busca, coordinar y suministrar información de gran valor para la operación de sistemas que operan en red mediante herramientas de supervisión en tiempo real, simulación y optimización. [7]

En la Tabla 19 se puede apreciar la penetración y funcionalidades en cada fase establecida por cada tecnología de las REI.

AMI	FASE I	FASE II	FASE III
Penetración	58,0 – 70,9 % respecto a la energía total consumida	65,2 – 88,3 % respecto a la energía total consumida	73,0 – 100,0 % respecto a la energía total consumida
Funcionalidades	Lectura Remota, Detección manipulación, Información usuario, limitación potencia, Gestión de la demanda	Tarificación horaria Medida Generación Distribuida	Aplanamiento de curva de demanda Gestión de la demanda
ADA	FASE I	FASE II	FASE III
Penetración	2,7 – 3,3 interruptores por circuito	4,2 – 5,7 interruptores por circuito	Self Healing en los interruptores de Fase II
Funcionalidades	Equipos control campo Telemando desde CC	Localización de fallas Controladores de red	Self Healing Reconfiguración automática
DER	FASE I	FASE II	FASE III
Penetración	0,1 – 0,2% de la potencia total 20 — 60 MW	0,4 – 0,5 % de la potencia total 90 — 120 MW	1 – 2,5% de la potencia total 240 — 600 MW
Funcionalidades	Generación distribuida FV en BT	Generación distribuida FV en BT	Almacenamiento
VE	FASE I	FASE II	FASE III
Penetración	1,0 – 1,2% del número total de vehículos	2,9 – 3,9% del número total de vehículos	9,3 – 14,0% del número total de vehículos
Funcionalidades	Vehículo Eléctrico (carga)	Vehículo Eléctrico Centros de recarga y gestión de la	V2G

Tabla 19. Penetración de funcionalidades de AMI, ADA, DER y VE según fase Fuente: CIRCE [5]

11.1. Lineamientos para las REI en Colombia

En el año 2014, se creó la Ley 1715 de 2014, en la cual se regula la integración a la canasta energética de Colombia, las fuentes renovables no convencionales. Actualmente está en un proceso de reglamentación involucrando entidades como el Ministerio de Medio ambiente, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, DIAN, entre otras. Esta ley trata de siete aspectos específicos sobre los cuales el estado debe trabajar y hacer cumplir, los cuales son:

Entrega de excedentes de los auto generadores: El estado clasifica a los auto generadores en dos grupos, los auto generadores de pequeña escala y gran escala, para estos auto generadores que utilicen las fuentes no convencionales de energía, podrán entregar los excedentes al sistema y obtener créditos de energía, con la posibilidad de poder vender los créditos.

Respuesta a la demanda: El estado delegó a la CREG la construcción de los mecanismos regulatorios para desplazar los picos de consumos y aplanar la curva de consumo o demanda, sin perder los requerimientos de confiabilidad establecidos por Ley.

Mecanismos en las Zonas No Interconectadas (ZNI): En las zonas no interconectadas la generación de energía es usualmente con diésel, el estado pretende incentivar las fuentes no convencionales para reducir los costos en la prestación del servicio y asimismo disminuir la emisión de CO2 o gases contaminantes.

Creación de incentivos para las empresas interesadas en generación con fuentes no convencionales de energía: El estado ha definido algunos incentivos como son:

- No gravar con el impuesto del IVA para la producción de energía a partir de dichas fuentes. También las personas interesadas en la implementación de este tipo de proyectos podrán obtener descuento del 50% hasta los 5 años siguientes a partir del año en que hayan realizado la inversión.
- Para los equipos, maquinaria, materiales e insumos importados, utilizados en la etapa de pre inversión e inversión, existirá la excepción de aranceles. Así mismo se podrá aplicar una depreciación acelerada sobre los activos que sean adquiridos y/o contruidos en la etapa de pre inversión, inversión y producción.

Generación distribuida y microrredes: Construcción de redes pequeñas cerca de la concentración de la población, donde existan fuentes de generación pequeñas capaces de suministrar y satisfacer la demanda de dicha concentración de población.

Creación de un Fondo para las Energías No Convencionales (FENOGE): Este fondo tiene como objetivo poder financiar programas o iniciativas que estén relacionadas con el tema y la gestión eficiente de la energía. Podrá financiar proyectos o planes que impacten en la población de estratos 1, 2 y 3 en cualquiera de los temas relacionados.

Eficiencia energética: Desarrollar soluciones híbridas para la respuesta a la demanda a un costo razonable.

11.2. Futuro de las REI

Cuando uno piensa en el futuro de las REI debe pensar en la posibilidad de decidir a quién comprarle la electricidad y cómo consumirla, incluso en producirla. De acuerdo con los avances tecnológicos, esta es una realidad que se ha implementado en ciudades alrededor del mundo.

De acuerdo a los avances y a las implementaciones de las REI podríamos ver:

- La Red eléctrica inteligente hará que tengamos una operación flexible, confiable, eficiente, sustentable, de calidad y segura. Dentro del SIN y las redes de distribución, así como suficiencia y competitividad al mercado eléctrico mayorista. Esto será posible con infraestructura que permita a los participantes interactuar de forma coordinada y oportuna.
- Con el aporte de la tecnología, la red eléctrica se puede transformar en una red de alta interconectividad. En la que convergen las tecnologías de la información, redes de comunicación, sistemas de medición inteligentes, fuentes de energía limpia y la generación distribuida.
- La eficiencia sobre la generación, transmisión, distribución y consumo permite realizar un análisis de todo. Por lo tanto, se tendrán opciones de gestión, que posibilitan la reducción del consumo, pronóstico de la demanda incluso almacenaje de la energía sin dejar de lado la optimización en la infraestructura de la red.
- Del mismo modo, ofrecer un mejor servicio a los usuarios a través de ventajas comerciales, tarifas flexibles, control y administración del uso de la energía, reducir las interrupciones en el servicio, facturación exacta entre otros.
- Cada uno de estos avances y logros en la modernización del SIN nos demuestra que no estamos muy lejos de poder tener una mejor gestión, control y medición de la energía. También es posible mejorar el ahorro energético, trayendo consigo grandes resultados.
- Se pasará de un sistema centralizado a un sistema descentralizado poco a poco, donde todos sean actores de la red eléctrica y no importe si se presentan fallas ya que se deberá contar con generación propia y recursos distribuidos.

12. Diagnóstico del marco político y regulatorio en Colombia

Se realizó un análisis de la normatividad y la regulación colombiana para diagnosticar su estado actual e identificar las principales barreras y oportunidades que existen para el desarrollo de las REI en Colombia, análisis que nos deja el resumen de la normatividad y regulación más relevante presentado en las siguientes tablas. La Tabla 20 presenta los aspectos normativos y regulatorios que afectan tanto positiva como negativamente el desarrollo de las tecnologías analizadas a lo largo de este documento, la Tabla 21 muestra los aspectos que afectan de forma particular el desarrollo de la tecnología AMI, Tabla 22 los que afectan la tecnología ADA y la Tabla 23 los que afectan la tecnología DER. [2]

Ver Anexo 1.

13. Micro Smart Grids

13.1. Aspectos generales

“Una micro red es una componente de la red inteligente la cual forma parte de la red de distribución pudiendo a su vez autoabastecerse y funcionar de forma independiente. La micro red está compuesta por un conjunto de cargas y generadores operando como un sistema único capaz de proporcionar potencia y calor. El funcionamiento y control de muchas de las fuentes que la integran están basados en electrónica de potencia, con lo que poseen la flexibilidad necesaria para garantizar la operación de todo el sistema como uno único. Este control flexible permite a la micro red presentarse al sistema eléctrico como una unidad controlable que abastece las necesidades locales con fiabilidad y seguridad”. [61]

Actualmente las redes existentes están bajo presión para entregar la demanda de energía, así como proporcionar un suministro de electricidad estable y sostenible. Estos desafíos están impulsando la evolución de las tecnologías de las micro Smart grids. Según [12], las características más importantes son:

- Fomentar la gestión del lado de la demanda y la respuesta del lado de la demanda. [12]
- Reducir los cortes de energía aumentando la confiabilidad, eficiencia y seguridad de la red. [12]
- Reducir la huella de carbono y minimizar el uso de combustibles fósiles. [12]
- Proporcionar una mayor autonomía a los clientes para gestionar sus necesidades de energía. [12]

Se tratan por tanto de sistemas híbridos formados por la integración de varios sistemas de generación, tanto convencionales como de origen renovable, con objeto de garantizar una base de continuidad en el suministro eléctrico. [12]

Las micro redes representan actualmente una solución viable para las exigencias de energía eléctrica en las ZNI. En el pasado se utilizaban los generadores diésel que, en la modalidad operativa de baja carga, muestran una eficiencia reducida en el funcionamiento, altos costes de mantenimiento y un breve tiempo de vida útil. Las micro

redes inteligentes permiten reducir esos problemas y aprovechar los recursos renovables existentes en el país y así constituir una opción viable y favorable tanto ambiental como social. [67]

13.2. Aplicaciones

Según [65] las aplicaciones de las micro redes inteligentes son:

- Sistemas para usuarios o comunidades aisladas: Son sistemas de hasta un máximo de 100 kW de potencia. [65]
- Sistemas tipo retrofit: Son sistemas renovables instalados en redes locales en MT, hasta potencias MW, con el fin de reducir las horas de funcionamiento de los generadores diésel existentes, ahorrando combustible y reduciendo las emisiones de CO₂. [65]
- Sistemas combinados que utilizan fuentes de energías renovables y que unen las tecnologías como la fotovoltaica, eólica e hidráulica. Debido al carácter intermitente de este tipo de generación son utilizadas en aplicaciones como grid-connected. [65]
- En algunas ocasiones se usan sistemas híbridos completamente renovables pero que permiten la autosuficiencia respecto a la red eléctrica. Estos sistemas combinan una fuente continua para cubrir la necesidad energética de base (biomasa y/o energía geotérmica), y una o más fuentes intermitentes, para cubrir los picos de potencia solicitada (hidroeléctrica, eólica, solar). [65]
- Sistemas híbridos que combinan las fuentes de energía renovable con fuentes convencionales, y que permiten operar tanto de manera aislada como conectada a la red de distribución. [65]

13.3. Proyectos

El estudio de las micro redes inteligentes está teniendo un importante avance a nivel internacional. Actualmente se están realizando estudios en varios países que ya cuentan con instalaciones piloto, como los siguientes [71]:

- Canada: Micro red BC Hydro Boston Bar, (British Columbia Hydro).
- Japón: En Hachinohe y Kyotango varias empresas han implantado sendas micro redes que funcionan desde 2005.
- Portugal: La compañía eléctrica EDP ha introducido una micro red para modernizar el extremo de una pequeña sección de red radial y comercial
- Alemania: En Manheim la empresa MW Energie está construyendo una micro red
- En Europa se han creado los consorcios de Micro redes y que trabajan en distintos proyectos en el ámbito de las micro redes y en los que participan 22 empresas y centros de investigación de 11 países de la Unión Europea.

14. Smart Cities

14.1. Aspectos generales

Las Smart cities o ciudades inteligentes, son el resultado de la necesidad cada vez más imperativa de llevar nuestra vida hacia la sostenibilidad. Asimismo, estas ciudades sirven de infraestructuras, innovación y tecnología para disminuir el consumo energético y

reducir las emisiones de CO₂ utilizando variedad de recursos tales como paneles fotovoltaicos en medios de transporte, vehículos eléctricos, molinos eólicos, paneles solares para semáforos o señales, promoción y desarrollo del uso de bicicletas, todos estos actos llevan a una ciudad a convertirse en más justa, eficiente y sostenible. [68]

Una Smart City es la combinación de personas, tecnología, diversidad y creatividad para hacer más sostenible y eficiente a cualquier ciudad del mundo. De alguna manera, las Smart cities les dan herramientas a los ciudadanos para que aporten mayor valor a la ciudad. [68]

Se prevé que en el 2050 un 85% de la población mundial viva en ciudades. Este hecho hace que en las siguientes décadas los centros urbanos y de gran acopio tengan que afrontar un número creciente de problemas ligados a este hecho como [68]:

- El abastecimiento energético.
- Las emisiones de CO₂.
- La planificación del tráfico automovilístico.
- La provisión de bienes y materias primas.
- La prestación de servicios sanitarios y de seguridad a todos quienes residan en estos enormes y masificados centros de población.

Los objetivos de las Smart cities son [68]:

- Un desarrollo sostenible.
- Un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos.
- Una mayor eficacia de los recursos disponibles.
- Una participación ciudadana activa

El resultado de la implementación de estas mismas es el posicionamiento de la ciudad a nivel internacional atrayendo capital y especialistas en el sector. Consiste, en desarrollar aquello que haga única a la ciudad en aspectos tales como [68]:

- Generar riqueza: Es la necesidad de definir un modelo de negocio que permita generar nuevos puestos de trabajo sin que suponga un aumento de impuestos. [68]
- Economía digital. [68]
- Industria cultural: Emprendimiento y conocimiento compartido. [68]
- Tecnología asequible: Acceso a internet en todo el territorio, sensores, reconocimiento facial, Smart Grids, entre otras. [68]
- Movilidad inteligente con transporte eficiente. [68]
- Adaptación al medio ambiente y a lo impredecible de la naturaleza. [68]

14.2. Modelo ideal

Las ciudades sostenibles, conectadas y optimizadas gracias al uso de la tecnología no son solo un fenómeno mundial imparable, también suponen la única solución para contener y reducir las alarmantes repercusiones ambientales y socioeconómicas que la urbanización está provocando en el planeta. [68]



Figura 26. Claves para tener una ciudad inteligente Fuente: IBERDROLA [8]

El modelo ideal de una ciudad inteligente se basa, principalmente, en los siguientes subsistemas [8]:

- Generación distribuida: Consiste en que las ciudades inteligentes cuenten con generación eléctrica a lo largo de todo el territorio, a través de un abastecimiento individualizado o micro generación, no centralizado. [8]
- Smart Grids: Son las redes inteligentes interconectadas, las cuales poseen una circulación bidireccional de datos entre el centro de control y el usuario. [8]
- Smart Metering: Se trata de la medición inteligente de los datos de consumo energético de cada usuario, a través de tele contadores donde se realizan las lecturas a distancia y en tiempo real. [8]
- Smart Buildings: Los edificios de la Smart City se convierten en inteligentes como modelo de eficiencia. Edificios con domótica que respetan el medioambiente y que poseen sistemas de producción de energía integrados. [8]
- Smart Sensors: Los sensores inteligentes tienen la función de recopilar todos los datos necesarios para hacer de la ciudad una Smart City. Son parte fundamental para mantener la ciudad conectada e informada para hacer que cada subsistema cumpla su función. [8]
- Implantación del vehículo eléctrico y los respectivos puestos de recarga públicos y privados. [8]
- TICS: Son las tecnologías de la información que ayudan a la hora de controlar los diferentes subsistemas que componen la Smart City. Mediante estos, las personas y las entidades administrativas pueden participar activamente en el control de la ciudad. [8]

- **Smart Citizen:** Los ciudadanos son sin duda la parte fundamental de una Smart City, ya que sin su participación activa no es posible poder llevar a cabo estas iniciativas. [8]

14.3. Las ciudades más inteligentes

El concepto de Smart City no solo se centra en los nuevos proyectos de crecimiento urbano, sino que también va dirigido a la adecuación de las actuales ciudades en ciudades inteligentes. [68]

Actualmente, los proyectos de remodelación y adecuación a las nuevas tecnologías se están llevando a cabo tanto en grandes urbes como en pequeñas ciudades, municipios, pueblos entre otros, haciendo que las Smart Cities se conviertan en una realidad. [68]

Existen diferentes parámetros por los que se valora a una ciudad más inteligente que otra. Para esto se consideran 10 dimensiones que son clave: Gobernabilidad, planificación urbana, gestión pública, tecnología, medioambiente, proyección internacional, cohesión social, movilidad y transporte, capital humano y economía. [68]

Acá podemos ver las ciudades con más implementaciones:

- **Singapur:** Esta isla cuenta con gran aporte de estas tecnologías, con algunas soluciones inteligentes de control de tráfico con un sistema que permite ahorrar hasta 60 horas al año a los conductores, también cuenta con taxis autónomos (sin conductor), video vigilancia inteligente para detectar actividad delictiva, un programa gracias al cual todos los habitantes de la tercera edad cuentan con dispositivos especiales para realizar consultas médicas en cualquier momento. [68]
- **Santiago de Chile:** Se está desplegando el proyecto en el distrito Ciudad Empresarial de Santiago. Su objetivo es integrar tecnologías como el Smart metering, automatización de la red, vehículos eléctricos, iluminación pública y generación distribuida, evaluando sus aspectos económicos, técnicos y sociales. [68]
- **Búzios (Brasil):** Se está realizando la conversión de la red de distribución en una red más inteligente, con medidores digitales y una automatización capaz de integrar toda la generación existente, las nuevas energías renovables y los vehículos eléctricos. Entre los beneficios se encuentran tarifas diferenciadas de acuerdo con el horario de consumo, lámparas LED en alumbrado público, incentivo a la eficiencia energética de las instalaciones de edificios públicos y una red de distribución más eficiente con sistemas de control automáticos para reducir la duración de la interrupción del suministro. [68]
- **New York:** En el centro de la economía mundial se han instalado sensores en semáforos y autobuses para descongestionar la circulación. [68]
- **San Francisco:** Para reducir el tráfico y la polución han apostado fuertemente por el transporte eléctrico autónomo y por una flota de vehículos públicos. [68]
- **Chigago:** Más de 500 sensores han convertido a esta ciudad en una región inteligente, instalados en sus semáforos, alumbrado público y contenedores de basura que todos conectados a internet. [68]

- **Ciudad de México:** Se trata de una de las ciudades que más promueve la creación de edificios verdes e inteligentes. También se destaca por ser una de las primeras ciudades en implementar el sistema de bicicletas compartidas en la ciudad para poder agilizar y descongestionar el tráfico. Actualmente el sistema cuenta con casi 4.000 bicicletas, y espera llegar a 6.000 próximamente. Otro de los campos en los que es pionera en América Latina es en la introducción de sistema de compartidos, con más de 40 vehículos disponibles, de los cuales algunos son eléctricos. [68]
- **Medellín:** Esta ciudad es considerada como una de las ciudades que más transformaciones ha tenido en el continente. La infraestructura del metro y el metro cable es una de las más grandes apuestas para la integración de las comunidades más pobres con el resto de la ciudad, lo que convierte a Medellín en un ícono mundial para la inclusión y el tránsito inteligente. [68]
- **Buenos Aires:** Con el objetivo de mejorar el tráfico se desarrolló un sistema propio de transporte masivo llamado Metrobús y una red de bicicletas. Se trata, además, de la única ciudad que cuenta con un Ministerio dedicado exclusivamente a que la ciudad se convierta en inteligente que se llama Ministerio de la Modernización. [68]

Todas estas ciudades son un ejemplo de reinención, pero en paralelo a estas han ido surgiendo nuevas metrópolis totalmente inteligentes. Como el caso de Másdar en Dubái, una eco ciudad totalmente sostenible y sin coches. También se encuentra Dongtan ubicada en las afueras de Shanghái y donde solo se usarán energías renovables y se reciclarán casi la totalidad de los residuos generados. También está Apenn a 14 km de Viena que incluirá sistemas de movilidad y edificios sostenibles, utilización eficiente de recursos energéticos renovables y agricultura urbana. [68]

14.4. Edificios inteligentes

La edificación o construcción sostenible es la cual que asegura la calidad ambiental y la eficiencia energética de un edificio durante toda su vida útil, desde su fase de diseño, su construcción y hasta su fase de mantenimiento y derribo. Para ello, se deben seguir una serie de criterios, algunos de ellos aplicables a cualquier otro ámbito de una Smart City, los cuales son [63]:

- Integración de energías renovables.
- Integración de servicios eficientes como limitadores de caudal, sistemas de alumbrado con sensores de presencia, etc.
- Adecuación a las condiciones del entorno como las condiciones climáticas como sistemas de aislamiento, ventilación, etc.
- Selección de materiales y métodos constructivos sostenibles.
- Mantenimiento del edificio.
- Derribo y valorización de residuos.

Objetivos

Los objetivos de la implementación de un edificio inteligente están creados en diferentes niveles los cuales son:

- **Nivel arquitectónico:** A nivel constructivo, se deben cumplir las necesidades funcionales de sus usuarios en cuanto a confort, seguridad, operatividad y durabilidad actual y futura, además de aportar un diseño estético, práctico y flexible que permita remodelaciones rápidas y económicas gracias a su desarrollo tanto en instalaciones como en estructura y genere una estimulación positiva que aumente el rendimiento productivo en las actividades realizadas dentro de éste. [63]
- **Nivel tecnológico:** A nivel de tecnología debe de contar con un gran número de servicios integrados mediante la automatización de sus instalaciones y controlados a través de un gran sistema de telecomunicación. [63]
- **Nivel ambiental:** A nivel de medio ambiente se deben cumplir una serie de compromisos respetuosos con el medio ambiente como materiales utilizados en su construcción, optimización de los elementos de iluminación y ventilación natural, eficiencia energética y previsión de una máxima reducción de residuos y vertidos contaminantes en su funcionamiento. [63]
- **Nivel económico:** A nivel económico se debe conseguir reducir todos sus costos de funcionamiento y mantenimiento consiguiendo alargar su vida útil, además de generar un mayor interés de adquisición u ocupación, con la consiguiente repercusión en los precios de venta y de arrendamiento que aumentan a la misma vez que la valoración de los inmuebles. Los edificios inteligentes aportan un plus en la imagen de las compañías que se instalan en ellos y a cualquier otro nivel aportan información sobre el estatus de sus propietarios y usuarios. [63]

Características

El concepto de edificio inteligente algunas veces no es tan claro y dependerá de muchos factores, desde el uso al que está destinado el edificio hasta las necesidades concretas de sus habitantes o usuarios, las características más relevantes son [63]:

- **Eficiencia energética:** Un edificio inteligente deberá tener sistemas de ahorro energético y de agua, además monitorizando uso y el gasto diario para adaptarse a las necesidades de las personas. [63]
- **Control centralizado e integrado en el edificio:** A pesar de que cada planta podría tener su propio sistema de control todo debe estar interconectado para garantizar la optimización del edificio. [63]
- **Edificios seguros:** Desde los controles de acceso hasta los sistemas de extinción de incendios o los sistemas de ventilación automatizados, este tipo de edificios cuenta con los últimos en seguridad. [63]
- **Soluciones escalables:** Son edificios flexibles capaces de incorporar nuevas tecnologías a medida que surgen. [63]

- **Ergonomía para sus inquilinos:** Ya sea en edificios de oficinas o de viviendas, estos disponen de soluciones orientadas a mejorar el uso y el confort de las personas. Desde los sistemas de iluminación inteligentes, pasando por puertas inteligentes o accesos para discapacitados. [63]

Funcionamiento

Los edificios inteligentes utilizan las TICS durante la operación para conectar una variedad de subsistemas, que generalmente funcionan de manera independiente, de modo que pueden compartir información para optimizar el rendimiento total del edificio. [68]

Estos mismos están conectados y responden a la red eléctrica inteligente, por eso consiguen interactuar con los operadores y ocupantes de los edificios para capacitarlos con nuevos niveles de visibilidad e información procesable. Habilitados por la tecnología, esta generación de edificios contiene dispositivos mecánicos complejos, sofisticados sistemas de control y un conjunto de características para mejorar la seguridad, el confort y la productividad de las personas que los habitan. [68]

Varios de estos sistemas involucran la comunicación máquina-máquina, pero como los datos son de naturaleza general y los protocolos de comunicación han sido patentados la información solo fluye a través de ciertas rutas. [68]

El edificio inteligente necesita conectividad entre todos los equipos y sistemas en un edificio. Un ejemplo es el uso de datos del sistema de seguridad del edificio para apagar las luces y reducir el uso de calefacción cuando los ocupantes no están presentes. Cuando se logra la interoperabilidad de todos los sistemas, independientemente del proveedor, el resultado es un edificio donde la iluminación, el aire acondicionado, la seguridad y otros sistemas comparten datos libremente y en tiempo real, lo que lleva a una mayor eficiencia, más seguridad y comodidad, y un menor coste de operación de la instalación. [68]

Certificados de Sostenibilidad

En materia de edificación sostenible, diversos organismos han elaborado Certificados de Sostenibilidad. Los más reconocidos son [62]:

- Certificado LEED: Recomendado por el Consejo de la Construcción Verde de España. [62]
- BREEAM España: Resultado de adaptar esta certificación británica a la realidad española. [62]
- Certificación Energética de Edificios de la UE (Directiva Europea): Restringido a la medición del consumo energético. [62]

El enfoque de los dos primeros consiste en puntuar distintos criterios de sostenibilidad y otorgar categorías de sostenibilidad. Estos criterios se podrían resumir en [62]:

- Sostenibilidad de la parcela y el entorno
- Uso del agua o Sostenibilidad energética
- Materiales y recursos o Calidad ambiental y confort interior

Estas certificaciones para el diseño de remodelaciones de edificios sostenibles como para usos comerciales, domésticos, oficinas, etc. [62]

Conclusiones

Los resultados del presente estudio muestran que las aplicaciones de las diferentes tecnologías de REI estudiadas aportan suficientes beneficios para el país como para justificar su impulso global. En concreto, el despliegue de estas ayudaría a la consecución de los objetivos estratégicos de Colombia en materia de Energía. Incluso vemos que la implantación de estas mismas representa aportes a otras iniciativas del gobierno como la reducción emisiones, la diversificación de la matriz energética, así como la mejora de la eficiencia energética.

Desde el punto de vista de pérdidas de energía podemos ver que se han disminuido bastante entre los años 1998 a 2005 con una disminución del 50% gracias a la renovación de la infraestructura eléctrica y la inclusión de las tecnologías. A pesar de esto, el nivel de pérdidas en la red de distribución colombiana es al doble o hasta el triple de las que tienen la mayoría de países desarrollados.

En este estudio se analiza las tecnologías de las REI como AMI, ADA, DER, y el VE, para de acuerdo a la necesidad saber cuál es la más convenientes para su instalación e implementación.

Este trabajo quiere fomentar e impulsar la participación activa de todos los usuarios en el sistema eléctrico, ayudando a generar conciencia de ahorro energético y reducir sus emisiones. Así mismo, saber que todos podemos ser agentes energéticos, participando desde la generación hasta su uso final.

De acuerdo a los proyectos de REI mostrados en este trabajo se observa que las empresas del sector están apostando claramente por la implementación de aplicaciones que permitan mejorar la eficiencia, la medición, la calidad, la reducción de emisiones y la continuidad de suministro, así como reducir las pérdidas técnicas y no técnicas.

El concepto de REI ha evolucionado poco a poco a medida que la tecnología también evoluciona, algunos de los dispositivos y sistemas son capaces de soportar la implementación de una red más inteligente, así mismo existen otros los cuales quedan obsoletos y dan cabida a nuevos equipos con nuevas tecnologías.

Este estudio muestra que la conversión de las redes eléctricas en redes permitiría tener en todo momento conocimiento de cómo se está transmitiendo la energía y de cómo se está distribuyendo. No sólo gracias a contadores inteligentes, las personas no solo podrán saber el consumo de cada hogar y lo que corresponde a la factura de cada cual, sino que además se podrán establecer medidas de ahorro efectivas, basadas en los patrones de cada cual, aumentar la capacidad de respuesta en caso de cortes, ya que se sabrá de forma muy rápida que se ha producido una falla o detectar anomalías de modo eficiente.

El principal ahorro será el energético. El sector energético supone reducir de las emisiones de CO₂, por lo que volver inteligente la red permitiría hacerlo. Este ahorro energético no sólo tendría un impacto medioambiental, sino también económico. La economía crecería dado por estos ahorros energéticos.

Además, la conversión permitiría crear muchos nuevos empleos asociados tanto a la lectura y gestión de esas redes inteligentes como a los nuevos negocios que podrían surgir asociados a las mismas.

Las micro redes inteligentes se presentan como una alternativa prometedora frente a algunos de los desafíos energéticos actuales, pudiendo ser una gran solución para las ZNI, donde pueden garantizar la flexibilidad y confiabilidad necesaria para garantizar la operación de todo el sistema como uno único. En el presente artículo se han expuesto las principales características de estas micro redes para lidiar con algunos de los problemas energéticos actuales.

Al hacer un análisis de su implementación en un contexto urbano, el concepto de REI puede ser enmarcado dentro de un concepto mucho más amplio como Smart Cities, la cual incluye, al margen de una red eléctrica inteligente, la aplicación de tecnologías digitales para la gestión de otros servicios públicos adicionales a la electricidad, como el agua, el gas, el aire acondicionado, el tratamiento de residuos, transporte público sostenible, domótica entre otros.

Una red de transmisión inteligente que no posea fuertes medidas de seguridad eficientes puede provocar la pérdida de recursos importantes. Es necesario que el reemplazo y adaptación de las nuevas tecnologías se haga de manera paralela a la implementación de la red. Por lo anterior, es muy importante desarrollar modelos y estrategias que permitan entender la interacción dinámica entre los nuevos elementos como sensores, controles, medidores, etc y los sistemas eléctricos.

Se presentarán transformaciones profundas en la matriz energética de la economía, la electricidad y el gas natural serán los energéticos con mayor participación en el incremento de la oferta, representando un 72% de su crecimiento.

▣ Los energéticos de mayor consumo serán la electricidad y el gas natural con un 46% de participación en la matriz energética del país, en contraste con los energéticos predominantes en la actualidad, las mezclas de diésel y gasolina con el 45%.

▣ La electricidad, y con ello las energías renovables, será el energético de mayor crecimiento en los próximos treinta años.

▣ Las mezclas de diésel y gasolina alcanzarán un pico de consumo en 2040, y continuarán participando en más de la tercera parte de la oferta de energía del país.

El sector transporte será el gran móvil de cambio en la transformación energética desde el punto de vista de la demanda.

El sector transporte será el gran móvil de cambio en la transformación energética desde el punto de vista de la demanda.

▣ Los grandes móviles de cambio a nivel de la oferta serán la electricidad, el gas natural y el jet fuel.

▣ La demanda de energía crecerá más de un 60% en los próximos treinta años, a tasas del 1.5% anual.

▣ A pesar de reducirse el nivel de emisiones en un 22.5% y cumplirse con lo acordado en París, las emisiones seguirán creciendo a tasas del 1,4%. El reto de consumir más y emitir menos sigue vigente.

▣ La intensidad energética de la economía colombiana disminuirá en un 48%, necesitaremos menos energía por unidad de PIB.

▣ La eficiencia energética y la reducción del consumo de leña serán factores importantes para la transformación energética en los sectores industriales, terciario y residencial.

▣ Los cambios demográficos, los patrones de comportamiento de los hogares y la participación de los entes territoriales jugarán un papel preponderante en el consumo energético futuro.

Todos los proyectos de redes inteligentes en el mundo están vinculadas a iniciativas de ciudades inteligentes, donde se puedan aprovechar todos recursos; y Estado / Comunidad se beneficien de dichos logros. Reducir el impacto ambiental disminuyendo el uso de combustibles fósiles, es una de las metas de ciudades inteligentes; esta meta es viable alcanzarla incluyendo en la canasta energética fuentes de generación de energía renovables; pero no se está totalmente preparados para incluir fuentes asíncronas a las ya establecidas; se debe cambiar el modelo de operación, las políticas del sector, normatividad, incluso los usuarios deben realizar cambios culturales o de consumo.

Además del impacto ambiental que tienen estos proyectos; como país se debería estar preparados para el incremento proyectado de consumidores en el corto plazo; así como las nuevas invenciones que tienen relación directa con el consumo de energía, tal es el caso de los vehículos eléctricos.

Se identificaron los retos TIC del consumidor desde la perspectiva de los demás actores del sector los cuales fueron desarrollados en el capítulo 7.6 del presente documento; entre los cuales se encuentra la correcta utilización de los elementos activos de la red para la construcción del perfil de usuario y sus riesgos asociados. La información del perfil de usuario será el nuevo activo crítico del sector eléctrico el cual debe tener unas políticas y planes de conservación y protección.

La UPME, como entidad de planeación del sector, definió que el modelo que mas conviene al país sería el modelo SGAM, y escogió desarrollarlo con los usuarios del sistema interconectado nacional (SIN), por su nivel de impacto y por los recursos existentes; asimismo, seleccionó la tecnología AMI para avanzar en la primera fase con funcionalidades tales como lectura remota, detección de manipulación, información a usuarios, limitación en potencia (Gestión de la demanda).

En el roadmap que despliega las redes inteligentes en Colombia, revisó las barreras actuales desde lo político, técnico, normativo, social y ambiental; así como el esfuerzo que debe hacer cada agente del sector para lograr esta implementación.

Con la implementación de las redes inteligentes, el consumidor cambia de rol; tiene la opción de utilizar las fuentes no convencionales de generación de energía y aportar sus excedentes al sistema; esto lo convierte en un “prosumidor”, y sumado a los beneficios de contar con medidores inteligentes, donde revisará el comportamiento de consumo, hacer gestión de su demanda y determinar a quien le compra la energía; esto le otorga un poder en la toma de decisión de su consumo.

El consumidor debe prepararse para los cambios que la implementación de las redes inteligentes traerá; modificando sus hábitos de consumo a partir de conocer la información tarifaria, convirtiéndose en un consumidor activo generando su propia energía. Este nuevo rol implica mayor flujo de información confidencial y privada desde el usuario hasta el generador y viceversa que debe cumplir con protocolos y normas de ciberseguridad. Estar conscientes de los riesgos e implicaciones y como afrontarlos será un reto en la expansión de las redes inteligentes en Colombia.

La sensibilización a los consumidores y usuarios finales en general será un ejercicio importante, y la forma en que se envíe el mensaje dependerá el éxito en la implementación de redes inteligentes. Enfocarse en dos puntos esenciales importantes para el usuario: disminuir el gasto en la facturación mensual y protección y seguridad en la información que consumos, hábitos, composición familiar, entre otros.

Cada agente del sector tiene unos retos definidos en la implementación de redes inteligentes; a nivel de TIC se identificaron retos en comunicaciones, el protocolo IP en su versión 6, permitirá mejorar las comunicaciones entre todos los agentes, dado que es un protocolo abierto. La interoperabilidad, mejorar la latencia y las condiciones en el procesamiento de información también son elementos claves a nivel TIC para cada agente del sector. La utilización de la fibra del proyecto de interconexión nacional con fibra óptica apalancará el despliegue de la red inteligente en Colombia.

Todos los agentes tienen un reto común y es la protección de la información que se genere en cada punto y en cada elemento de la red. Utilizar buenas prácticas y recomendaciones internacionales, será clave en el desarrollo de este reto. Los algoritmos y su aplicación para encriptar la información desde el usuario hasta el generador serán fundamentales para cumplir con las exigencias normativas nacionales e internacionales respecto al tema de seguridad de la información.

Se priorizaron los retos TIC del consumidor utilizando la técnica de multicriterio AHP Priority el cual identificó el reto de ciberseguridad como el mas importante para el desarrollo de la estrategia y que desde el punto de vista del consumidor y/o usuario final tenga el mayor impacto.

Se estableció un plan de acción para la elaboración de la estrategia planteada en el tema de ciberseguridad el cual establece tres dimensiones o temas que tendrán que ser abordados para la implementación de redes inteligentes en Colombia.

Será importante Implementar y administrar un sistema integrado de la información que cubra los procesos involucrados en la gestión de mediciones y reportes de fronteras siguiendo las buenas prácticas contempladas en la norma ISO 27001

15. Recomendaciones

Teniendo en cuenta que la ciudad perfecta no existe, hay que caminar hacia esa perfección con todos los medios al alcance. Por ejemplo, Tokio o Nueva York, deberían mejorar su aspecto de cohesión social. Se han de aprovechar las tecnologías de la información y las comunicaciones para mejorar, a la vez que se mantiene un compromiso con el entorno medioambiental

Definir la estrategia como Smart City: Las ciudades sostenibles son los mejores lugares para vivir y resultan menos caras de gestionar. Ciudades de todo el mundo compiten por atraer inversiones, habitantes que incrementen su PIB, y turistas. Cada una de ellas ha de cuidar su desarrollo sostenible de cara al futuro, y evaluar claramente los aspectos más relevantes sobre los que trabajar.

Construir la Smart City: Una vez clarificada y validada la estrategia, hay que transformar los objetivos en un plan de implementación cuidadosamente diseñado que se adecúe a la estrategia y con puntos de valoración mensurables. El plan de acción requerirá colaboración de actores públicos y privados.

Innovar en servicios inteligentes: todos los servicios, públicos y privados, deben ser reevaluados y cuestionados para poder transformarse en servicios innovadores, eficientes y rentables para los ciudadanos. Como ya se ha indicado, existen nuevas fórmulas de contratación que promueven las inversiones para reducir los costes hasta en un 20-25 %

Gestión y operaciones inteligentes: La gestión profesional de la ciudad es necesaria para mejorar en eficiencia, medir los rendimientos y tomar decisiones basadas en una visión realista de la ciudad, los servicios y su impacto en la sociedad. Una gestión inteligente también implica una mejora de los procesos y una mejor organización ciudadana. Un cambio que requiere un compromiso a largo plazo.

Medición inteligente y mejora continua: La transformación en ciudad inteligente es un camino largo, cuyos réditos económicos más patentes suelen llegar a medio y largo plazo. Por ello es importante mediar y comunicar los logros intermedios. Además, es recomendable revisar, analizar y replanificar la estrategia de la ciudad de forma continua

El potencial de mejora de las pérdidas técnicas se encuentra por un lado en las zonas rurales donde el abastecimiento llega a través de largas redes radiales como en entornos urbanos donde un aplanamiento de la curva de demanda podría dar beneficios importantes. La mejora de las pérdidas técnicas pasa por la instalación de contadores inteligentes que faciliten el aplanamiento de la curva de carga, la inclusión de generación distribuida renovable más cercana al consumo o la automatización avanzada de la red que permite su reconfiguración en tiempo real.

Las pérdidas no técnicas se dan mayoritariamente en el entorno rural o urbano en las denominadas zonas subnormales. La mejora de este parámetro pasa por la instalación

de contadores inteligentes que permitan trabajar en pre-pago y que permitan localizar con precisión los puntos en los que se está produciendo el consumo no facturado.

Se necesitan sistemas robustos que faciliten la mejora en la confiabilidad del suministro, la calidad de la potencia eléctrica y la eficiencia energética.

Se debe hacer un estudio más riguroso para estudiar los problemas y desafíos identificados como el uso de baterías en V2G, la protección de datos, la seguridad física y cibernética, las limitaciones de los simuladores y la automatización del sistema de distribución pueden ser buenos puntos de partida para futuras investigaciones.

Alcanzar los objetivos en materia de eficiencia energética y energías renovables fijados por la Comisión Europea no será posible sin una mayor innovación e inteligencia en las redes, tanto en cuanto a transporte como a distribución. Para ello, será necesario recurrir a nuevas formas de transporte y distribución (como la corriente continua), al uso de elementos de control basados en la electrónica de potencia (cada vez más eficiente y accesible) y a la mejora de los inversores de los generadores distribuidos para incorporar funciones de control de tensión o potencia que permita hacer más eficiente el funcionamiento de la red y favorezca la integración de renovables.

Infraestructura de islas de cargas para VE

Red vial

MICRO Smart Grids para ZNI

Sistema descentralizado

Si las redes no están construidas y capacitadas para transportar la energía eléctrica generada mediante grandes instalaciones de fuentes renovables, no se tendrá la posibilidad de generar energía eléctrica renovable que sea exportada a países centroeuropeos con gran demanda energética, por lo que se perdería la posibilidad de convertirse en exportador neto de electricidad de origen renovable.

Implementar la estrategia de movilidad sostenible

☑ Aprovechar de las potencialidades de la eficiencia energética en todos los sectores de consumo.

☑ Reducir el consumo de leña y la universalización del servicio eléctrico.

☑ Desarrollar las energías renovables y del mercado eléctrico en general.

☑ Asegurar el suministro de gas natural y de los refinados en las condiciones de calidad confiabilidad y oportunidad requeridos.

☑ Identificar tecnologías y acciones adicionales para reducir aún más los niveles de emisiones

☑ Acelerar la transformación de las redes de los energéticos hacia redes inteligentes, comenzando por las redes eléctricas.

☑ Profundizar el conocimiento de las tendencias energéticas y como el país debe adaptarse, adoptarlas y asimilarlas de manera acelerada.

Micro-redes para Zonas No Interconectadas (ZNI): implementar sistemas micro-red para controlar y monitorear las diferentes soluciones de electrificación de zonas remotas y no interconectadas. 3.

Micro-redes para usuarios residenciales: a través de esquemas tipo micro-red se podrían ofrecer al usuario final residencial paquetes de servicios gestionados centralmente desde la misma vivienda que contemplen: el aprovechamiento de tarifas horarias de la energía (desplazamiento del consumo), una respuesta de la demanda eficaz (beneficio operativo para el OR) y la inyección de excedentes a la red (beneficios económicos), entre otros aspectos. 4.

5. Micro-redes orientadas a las utilities: ofrecer servicios técnicos especializados para las empresas prestadoras de servicios (utilities) orientados a la planeación y conformación de micro-redes en sus áreas de influencia, la coordinación operativa de las mismas y la generación de servicios de valor agregado que van desde la instalación de la micro-generación, el desarrollo de modelos de pronóstico, la ciberseguridad, alertas de consumo, etc.

Micro-redes para grandes consumidores urbanos: desarrollar sistemas micro-red para mejorar la confiabilidad y la gestión energética del segmento de grandes consumidores urbanos (zonas francas, centros comerciales, conjuntos residenciales, universidades). El valor agregado sería la propuesta de soluciones a la medida, respondiendo a las necesidades de cada uno.

Micro-redes móviles: desarrollar soluciones micro-red móviles para atención de zonas de desastre, áreas aisladas temporalmente (ej. por orden público), campamentos de obra provisionales, batallones itinerantes, entre otros. Dichas micro-redes incluirían en espacios «tipo contenedor» las soluciones de micro-generación, almacenamiento y desde luego, el control centralizado.

Micro-redes para edificaciones: implementar soluciones micro-red orientadas a la integración de recursos de auto y cogeneración (ej. CHP, solar térmica y fotovoltaica, regeneración de energía en ascensores, o frenado de trenes de tracción eléctrica, etc.) en edificaciones en diseño y construidas, incluyendo la gestión de la eficiencia energética, amparadas en las normas ISO 50001 y en la obtención de certificaciones internacionales como LEED.

Micro-redes para grandes consumidores rurales: desarrollar sistemas micro-red para mejorar la confiabilidad y la gestión energética del segmento de grandes consumidores rurales (instalaciones mineras, gasíferas, petroleras). El valor agregado sería la propuesta de soluciones a la medida, respondiendo a las necesidades de cada uno.

Anexo 1

Res. CREG 097/2008	Tema	Oportunidades	Barreras
	Incentivos por eficiencia en inversiones		• Riesgos de remuneración cuando aumenta incertidumbre sobre patrones de uso de la red. • El mecanismo de definición del BRA contiene una estructura de incentivos menos fuertes al despliegue eficiente de tecnologías de RI, en comparación con lo indicado en la Resolución CREG 179/2014. • La determinación del costo anual de activos no eléctricos por medio de la aplicación de un porcentaje fijo (4.1%) sobre el costo anual de activos eléctricos puede representar una barrera para el despliegue de tecnologías de RI, pues los activos no eléctricos incluyen equipos de cómputo y de comunicaciones. • Una de las consecuencias posibles en cuanto al despliegue de tecnologías de RI es que el OR puede percibir incentivos para el desarrollo de soluciones más capital intensivas y basadas en activos eléctricos tradicionales (por ejemplo, transformadores y líneas de transmisión tradicionales) en detrimento de tecnologías de RI (por ejemplo, ADA) que brinden al sistema flexibilidad operativa y garanticen un desempeño técnico igualmente adecuado, pero representen inversiones inferiores.
	Vida útil regulada de Activo	• Posibilidad de considerar UC especiales por la CREG y de vidas útiles específicas para dichas unidades. • Flexibilidad para remunerar adecuadamente inversiones en tecnologías con vidas útiles típicamente inferiores a aquellas de equipos convencionales, como ADA y activos de telecomunicación.	• El establecer valores regulatorios para la vida útil de algunas clases de activos que podrán constituir las redes eléctricas bajo un contexto de desarrollo de RI puede requerir tratamiento regulatorio más granular y con mayor grado de particularización.
	Remuneración gastos AOM	Incentivos a la mejora continua de la calidad del servicio, establecidos como una relación entre los gastos reconocidos y métricas de confiabilidad de suministro.	• El ajuste anual de los gastos de AOM reconocidos de acuerdo con el desempeño del OR con respecto a la calidad del servicio se realiza en función de la comparación de los valores históricos. No existe una meta de largo plazo para el aumento de la calidad del servicio. • Desacoplamiento débil entre gastos reales y reconocidos: El uso de una metodología que se basa en el reconocimiento de “los costos reales en los que incurre la empresa para la prestación del servicio” ofrece incentivos débiles a la mejora del desempeño de la empresa con respecto a gastos en AOM y, por extensión, al despliegue de tecnologías de RI. • El desempeño del OR es medido solamente con base en una métrica de confiabilidad que indica la razón entre las cantidades de Energía No Suministrada y de Energía Suministrada. El uso de métricas cuya definición tiene en cuenta la duración y la frecuencia de interrupciones al usuario final pueden traer beneficios.

	Estructura de incentivos por calidad del servicio	• Mecanismos de incentivos relacionados a la calidad agrupada de servicio y orientados a la mejora de la calidad de servicio para los usuarios en la cola de la distribución de probabilidad, relacionados con compensaciones directas a través de deducciones en las facturas de estos usuarios. • Los mecanismos de incentivos incluyen la comparación de índices medidos con metas establecidas por el regulador, y no sólo con el desempeño histórico del OR. Una definición agresiva puede ofrecer incentivos importantes al despliegue de tecnologías de RI.	• No se hace la inclusión de métricas de frecuencia de interrupciones para medir el desempeño de los OR en cuanto a la calidad del servicio. (Son Incluidas en la Resolución CREG 179/2014).
	Contratos de calidad extra	• Establece que los OR y los usuarios conectados a los niveles de tensión 2 y 3 pueden pactar libremente Contratos de Calidad Extra, involucrando mayores pagos a cambio de mejores niveles de calidad de servicio. Esto representa oportunidades interesantes a las distribuidoras en un contexto de despliegue de tecnologías de RI.	
	Incentivos por pérdidas de energía	• El mecanismo de determinación de las pérdidas No- Técnicas reconocidas se basa en la evaluación de un Plan de Reducción o Mantenimiento de Pérdidas de Energía Eléctrica por el OR al regulador. Esto representa un mecanismo que ofrece flexibilidad al OR en definir una estrategia de reducción de pérdidas, lo que puede representar un mecanismo que fomente la inversión en tecnologías de RI orientadas a la reducción de pérdidas comerciales (ADA, AMI).	• Sólo se identificó una mención a las pérdidas comerciales (no técnicas) que trata del nivel de tensión 1 del SDL. Los otros niveles no son mencionados
	Estructura de cargos		• Los cargos por uso son estrictamente monomios y volumétricos, sin cualquier opción de migración (opcional obligatoria) a cargos con otros determinantes de pago y facturación (por ejemplo, un pago con base en la demanda de potencia). Esta no es la opción más adaptada al despliegue de tecnologías de RI. • Oscilaciones en el volumen de ventas pueden introducir riesgos de remuneración relevantes para los agentes regulados.

Res. CREG 1797 /2014	Base Regulatoria de Activos - BRA Planes de Inversiones	• Los OR deberán someter a la aprobación de la CREG un plan de inversiones que incluya: Expansión, Reposición de activos, Calidad, Pérdidas y renovación tecnológica. Estos planes tendrán horizontes de largo plazo (diez años) y mediano plazo (cinco años). • Se introduce el requisito de que los planes sean flexibles y adaptables a la evolución del mercado de comercialización. • Con respecto a la renovación tecnológica: los proyectos de inversión en tecnología deben considerar el criterio de adaptabilidad establecido en la Ley 143 de 1994, por lo que estas inversiones deben aportar una mayor calidad y eficiencia en la prestación del servicio al menor costo económico. • Los planes pueden contar con unidades constructivas especiales sometidas a consideración de la CREG, esto brindaría a los OR la libertad para definir la tecnología de las soluciones que incorporarán al plan.	• La imposición de un límite para el valor del plan de inversiones en renovación tecnológica con respecto al valor total del plan de inversiones en teoría representa una restricción a la flexibilidad de la definición de las alternativas de inversión y a la innovación tecnológica. • Otro límite que conceptualmente restringe las alternativas de decisión de distribuidoras (con posibles impactos sobre el despliegue de tecnologías de RI), pero que en la práctica presumiblemente no deben representar problemas, es el de que el valor total del plan de inversión anual no podrá superar 8% sobre la BRA inicial.
--	--	---	--

	Vida útil y recuperación de capital		• El establecimiento de valores regulatorios para la vida útil de algunas clases de activos para el desarrollo de RI puede requerir tratamiento regulatorio más granular y con mayor grado de particularización, para garantizar la captura satisfactoria de la vida útil de nuevas tecnologías.
	Ingresos por Incentivos	Uno de los componentes de los ingresos anuales totales reconocidos para el OR consiste de la suma de: • Ingreso por incentivos asociados con eficiencia en las inversiones; • Ingreso por incentivos asociados con la eficiencia en AOM; • Ingreso por incentivos asociados con la calidad del servicio.	
	Remuneración de otras actividades	• Especifica un tratamiento uniforme de los otros ingresos relacionados a todas las otras actividades no estrictamente relacionadas a la distribución de energía eléctrica, con un factor único de 50% para definición de la porción de otros ingresos compartidos con consumidores.	
Res. CREG 191/2014 180/2014 119/2007	Remuneración de la comercialización		• Una estructura de remuneración para comercializadores que atiendan al consumidor regulado en la cual el margen de la actividad se calcule exclusivamente en función del volumen de ventas puede teóricamente representar un obstáculo relevante a la innovación y despliegue de soluciones de RI. • Barreras estructurales relacionadas a la integración vertical • Barreras relacionadas a economías de escala en la actividad de lectura de contadores tradicionales.
Política Sectorial sector TIC	Interoperabilidad	• Existe un principio de neutralidad tecnológica aplicable al sector TIC, que le garantiza a las empresas la libre adopción de tecnologías, teniendo en cuenta recomendaciones, conceptos y normativas de los organismos internacionales competentes e idóneos en la materia.	• Se establecen regulaciones técnicas sobre las redes únicamente para garantizar la interconexión y acceso entre redes distintas, o asegurar la calidad del servicio y la seguridad de las redes

Tabla 20. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología de Redes Eléctricas Inteligentes en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2]

	Tema	Oportunidades	Barreras
Código de Medida	Propiedad del Contador	Indica que la propiedad del sistema de medición, incluyendo los contadores inteligentes, y la responsabilidad de costos por su implantación es acordada libremente entre las partes involucradas. Esto puede llevar conceptualmente a algunos resultados eficientes con respecto a la implantación de tecnologías y soluciones de RI.	- No se tienen en cuenta las externalidades positivas consecuentes de la mejoría en el desarrollo de tecnologías y soluciones de RI que dependen de contadores inteligentes para su despliegue, además de los impactos positivos del despliegue de generación distribuida renovable sobre el ambiente y la salud. - Limitación de la competencia de la actividad de comercialización, principalmente para consumidores de pequeña escala del segmento regulado
	Funcionalidades		No hay una regulación que especifique las funcionalidades mínimas para contadores inteligentes, preferencialmente con atención a funcionalidades requeridas para distintas aplicaciones
Propuesta Res. CREG 179 / 2014	Cargos horarios	La implementación de AMI es un requisito para la implementación de tarifas horarias o de otras modalidades tarifarias que eviten fenómenos indeseables como subsidios cruzados entre determinadas clases de usuarios.	Actualmente no se ha establecido la normatividad que regule la implementación de tarifas horarias o de otras modalidades tarifarias.
Política Sectorial sector TIC	Seguridad de la información	La protección de la privacidad de la información en Colombia tiene un origen constitucional, expresado como un derecho fundamental respecto del cual existen leyes estatutarias y decretos reglamentarios que son aplicables y de obligatorio cumplimiento en todos los sectores de la economía y de manera independiente de la tecnología que sea utilizada. Es suficiente hacer cumplir disposiciones ya existentes de la legislación.	- El sector eléctrico no cuenta con un CSIRT de carácter sectorial. - No hay evidencia de coordinación efectiva entre el sector eléctrico y las entidades creadas por el CONPES 3701, en particular el ColCERT y el CCOC. - Existen distintos niveles de alistamiento frente al tema de Ciberseguridad entre las empresas del sector.

	Interoperabilidad	• En el caso de los datos de consumo eléctrico de las personas naturales, estos corresponden a datos personales y se requiere de la autorización de su titular para recolectarlos y procesarlos • Las empresas del sector eléctrico, tienen que cumplir tanto la Ley Estatutaria 1581 de 2012 como el Decreto Reglamentario 1377 de 2013, en la medida en que sean Encargados o Responsables del Tratamiento de Datos Personales • La CREG estableció que el ASIC debe implementar y mantener un sistema de gestión de la seguridad de la información para los procesos involucrados en la gestión de las mediciones reportadas por los representantes de las fronteras con base en la norma ISO/IEC 27 • Desde el año 2009 cuenta con tipificaciones penales relacionadas con ciber criminalidad y Desde el 2011 se tiene una política nacional de Ciberseguridad • A nivel del sector eléctrico el CNO viene liderando iniciativas que han culminado con la expedición de acuerdos para definir una Guía de Ciberseguridad de Activos Críticos • Se definió una Norma Técnica Colombiana que establece los requisitos para Sistemas AMI en redes de distribución de Energía Eléctrica	• No existe un marco de interoperabilidad de RI formalmente adoptado para Colombia.
--	-------------------	--	---

Tabla 21. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología AMI en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2]

	Tema	Oportunidades	Barreras
Ley 1715 de 2014	Incentivos	• Reglamentación de Fondo de Energías Renovables y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGÉ), cuyos recursos estarían destinados para la implementación de FFNCER, promoción de buenas prácticas para el uso de energía, cambio de equipos de uso final de energía (incluyendo proyectos de respuesta de la demanda).	
	Desarrollo y promoción	• Atribución a la CREG la responsabilidad de establecer mecanismos regulatorios para incentivar la respuesta de demanda (y mejorar eficiencia energética del SIN) con el objeto de desplazar los consumos en períodos punta y procurar el aplanamiento de la curva de demanda; así como también para responder a requerimientos de confiabilidad establecidos por el MME o la misma CREG.	

Decreto 2492/2014 MME	Desarrollo y promoción	• La CREG deberá incluir en el diseño de los cargos que remuneran las actividades de transmisión y distribución tarifas horarias y/o canasta de tarifas de forma tal que permitan incentivar económicamente el uso más eficiente de la infraestructura y la reducción de costos de prestación de servicio. • La CREG diseñará los mecanismos necesarios para que los usuarios, voluntariamente, puedan ofertar reducciones o desconexiones de demanda en el mercado mayorista. • La UPME deberá considerar criterios de respuesta de la demanda en la elaboración del Plan Energético Nacional, el Plan de Expansión de Referencia y el Plan Indicativo de Expansión de Cobertura Energética.	
Propuesta Res. CREG 179 / 2014	Cargos horarios	• Se incluye la metodología de cálculo de cargos horarios que discriminan entre diferentes períodos temporales según el nivel de carga del sistema.	• La implementación de AMI es un requisito para la implementación de tarifas horarias. • Actualmente no se ha establecido la normatividad que regule la implementación de tarifas horarias o de otras modalidades tarifarias.
	Base Regulatoria de Activos - BRA	• El plan de renovación tecnológica debe ser viable ambientalmente y considerar el impacto por la aplicación de la Ley 1715 de 2014, la cual regula la integración de las energías renovables no convencionales al SIN y la gestión eficiente de la energía (incluyendo la respuesta de la demanda).	

Res. CREG 063/2010	Respuesta a la demanda	• Introducción del Esquema de demanda desconectable voluntaria (DDV), el cual se caracteriza como uno de los anillos de seguridad del Cargo por Confiabilidad.	• Se aplican requisitos específicos al sistema de medición de los consumidores participantes, así como requisitos de factibilidad de interrogación remota de la información y de los parámetros del medidor. • Los mecanismos solo aplican a periodos de escasez
Res. CREG 011/2015	Respuesta a la demanda	• Introducción del Programa de RD para el mercado diario en condición crítica, el cual involucra una reducción de demanda directamente en respuesta a señales de precio del mercado mayorista.	• Se aplican requisitos específicos al sistema de medición de los consumidores participantes, así como requisitos de factibilidad de interrogación remota de la información y de los parámetros del medidor. • Los mecanismos solo aplican a periodos de escasez

Tabla 22. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología ADA en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2]

Tema		Oportunidades	Barreras
Ley 1715 de 2014	Integración de FNCER	Formulación de directivas para integración de FNCER. La CREG debe: • Definir los términos generales para entrega a la red de excedentes de energía eléctrica a partir de autogeneración (incluyendo generación distribuida). • Establecer los procedimientos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía de la autogeneración distribuida. • Definir los términos del código de conexión para generación distribuida	• La regulación para auto generadores de pequeña escala y para generación distribuida no ha sido aún emitida en Colombia, lo que en el momento representa una barrera para el despliegue de generación distribuida en redes de distribución. • Ausencia de directivas sobre requisitos técnicos y procedimientos administrativos para de conexión de generación distribuid (principalmente autogeneración a pequeña escala).
	Responsabilidad MME	Define competencias institucionales atribuidas MME el cual debe: • Expedir los lineamientos de política energética para conexión y operación de la generación distribuida • Establecer reglamentos técnicos que rigen la generación distribuida y la entrega de los excedentes de la autogeneración a pequeña escala en la red de distribución • Realizar programas de divulgación masiva y focalizada sobre la autogeneración de pequeña escala	
	Incentivos	Establece una estructura de incentivos para las FNCE, FNCER y la autogeneración que incluye: • Entrega de excedentes y créditos de energía. • Sistemas de medición bidireccional y mecanismos simplificados de conexión y	• Señala que la entrega de excedentes a la red de distribución por auto generadores de pequeña escala está condicionada a la implantación de contadores bidireccionales.

		entrega de excedentes a los auto generadores a pequeña escala. • Venta de energía por parte de generadores distribuidos. • Creación del Fondo de Energías Renovables y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), cuyos recursos estarían destinados para la implementación de FNCER, promoción de buenas prácticas para el uso de energía, cambio de equipos de uso final de energía.	
Decreto 2469/2014 MME	Entrega de excedentes de autogeneración.	• Simetría en condiciones de participación en el mercado mayorista entre los generadores y auto generadores a gran escala. Los auto generadores a gran escala deben suscribir un contrato de respaldo con operador de red o transportador al cual se conecten	• No ha sido definido aún en Colombia el marco de reglamentación y regulación para la generación de pequeña escala.
Propuesta Res. CREG 179/2014.	Cargo por respaldo de red	• Los cargos por respaldo de la red son producto de acuerdo entre las partes y su costo es directamente proporcional a la capacidad que se requiere de respaldo y al cargo por uso del nivel de tensión donde se encuentre la conexión a ser respaldada	• No está enteramente claro cómo se determina la “curva de carga representativa” para la determinación del valor numérico del cargo.
	Base Regulatoria de Activos - BRA	• El plan de renovación tecnológica debe ser viable ambientalmente y considerar el impacto por la aplicación de la Ley 1715 de 2014, la cual regula la integración de las energías renovables no convencionales al SIN (incluyendo soluciones de generación distribuida y autogeneración de pequeña escala) y la gestión eficiente de la energía.	
	Estructura de cargos	• Aunque se especifique estrictamente cargos monomios y volumétricos para	• La existencia solo de cargos monomios, sin alguna opción de migración a cargos con otros determinantes de pago y facturación no es estrictamente la opción más

		todos los niveles de tensión, se percibe una disposición de la CREG de cambiar las modalidades de cargos para incluir otras posibilidades – otras variables para reflejar los costos de distribución (determinantes de pago y facturación).	adaptada al despliegue de tecnologías de RI. • No es completamente claro cuál es la metodología de determinación de los cargos de uso a ser pagados por usuarios que representan generadores conectados a la red de distribución.
	Contratos de calidad extra	• Involucra mayores pagos a cambio de mejores niveles de calidad de servicio. Estos nuevos servicios y modelos de negocio pueden ser importantes para garantizar que las empresas desempeñen un rol relevante para los usuarios cuando tecnologías de autogeneración y almacenamiento distribuido cambien los perfiles de uso del sistema.	

Tabla 23. Aspectos normativos y regulatorios que afectan el desarrollo de la tecnología DER en el sector energético y TICS Fuente: UPME [2]

16. Referencias

- [1] Universidad ULEAM, "Las redes eléctricas inteligentes y su importancia para mitigar los alcances de los desastres naturales," 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320475196_Las_redes_electricas_inteligentes_y_su_importancia_para_mitigar_los_alcances_de_los_desastres_naturales.
- [2] Banco Interamericano de Desarrollo - BID y Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, *Parte I Antecedentes y Marco Conceptual del Análisis, Evaluación y Recomendaciones para la Implementación de Redes Inteligentes en Colombia*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [3] ACOGEN, "Capacidad instalada en Colombia," 2019. [Online]. Available: <https://www.acolgen.org.co/>.
- [4] Universidad Distrital Francisco José de Caldas, "Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema," 2017, 2017. [Online]. Available: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/12396>.
- [5] Ministerio de minas y Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Unidad de Planeación Minero-Energética, and Iniciativa Colombia Inteligente, *Parte II Mapa de Ruta: Construcción y Resultados (COMPONENTE I)*, Abril 2016., vol. 2, no. Componente I. Bogotá D.C.: UPME Desarrollo, Banco Interamericano de Energía, Ministerio de Minas y Inteligente, Iniciativa Colombia Comunicaciones, Ministerio de Tecnologías de la Información y, 2016.
- [6] UPME, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Minas y Energía, and Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones, *Estudio: Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia*, Abril 2016., vol. 7. Bogotá D.C., 2016.
- [7] Smart Grids Colombia VISIÓN 2030, *Parte IV. Anexo 3. Contexto Internacional de Redes Inteligentes*, Abril 2016., vol. 3. Bogotá D.C., 2016.
- [8] IBERDROLA, "'Smart cities': la revolución tecnológica llega a las ciudades," 2017. [Online]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/smart-cities>.
- [9] S. M. Téllez Gutiérrez, J. Rosero García, and R. Céspedes Gandarillas, *Advanced metering infrastructure in Colombia: benefits, challenges and opportunities*, 2018th ed., vol. 36, no. 2. Bogotá D.C., 2018.
- [10] Smart Grids Colombia VISIÓN 2030, *Parte IV. Anexo 1. Características del entorno eléctrico*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [11] UPME, *Parte IV. Anexo 4. Definición de KPIs-Smart Grids Colombia VISIÓN 2030*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [12] P. H. Corredor Avella, "Visión de las redes inteligentes en Colombia," *Expertos en mercados XM*. Bogotá D.C., pp. 14–18, 2012.

- [13] M. de minas y Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Unidad de Planeación Minero-Energética, and Iniciativa Colombia Inteligente, *Parte IV Anexo 6. Estimación de Beneficios detallados por Tecnología*, Abirl 2016., vol. 6. Bogotá D.C., 2016.
- [14] J. Sánchez, *Estimación del impacto de las Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en el precio de la electricidad en Colombia*, 2016th ed. Medellín: 2016, 2016.
- [15] U. del V. UPME, BID, EMCALI, EPSA, "Smart Grids Colombia Visión 2030. Parte IV Anexo 9. Metodología para la evaluación de proyectos pilotos 'Smart Grid' en Colombia," p. 273, 2016.
- [16] J. Gómez *et al.*, *Smart Grids Colombia Visión 2030. Parte IV. Anexo 5. Recomendaciones de Ciberseguridad e Interoperabilidad.*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [17] M. de minas y Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Unidad de Planeación Minero-Energética, and Iniciativa Colombia Inteligente, *Parte IV Anexo 2. C A medida que la convergencia se convierte en el principal paradigma para el desarrollo y avance de las telecomunicaciones en el las redes convergentes y mundiales y los servicios prestados deben depender de la disminución de los costos*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [18] Banco Interamericano de Desarrollo - BID y Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, "Estudio: Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia," 2016, 2016. [Online]. Available: <https://www1.upme.gov.co/Paginas/Smart-Grids-Colombia-Visión-2030.aspx>.
- [19] IEEE, "Smart Grids," 2018. [Online]. Available: <https://smartgrid.ieee.org/>.
- [20] Grupo Técnico Proyecto BID Marco de Cooperación Técnica CO-T1337, *Smart Grids Colombia Visión Parte III Política y Regulación I*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [21] Banco Interamericano de Desarrollo and Ministerio de Minas y Energía, *Smart Grids Colombia Visión 2030*, Abril 2016. Bogotá D.C., 2016.
- [22] Smart Grids Colombia VISIÓN 2030, *Parte IV. Anexo 8. Análisis de las TIC para las funcionalidades de las RI en Colombia*, Abril 2016., vol. IV. Bogotá D.C., 2016.
- [23] UPME, "Sistema de Información Eléctrico Colombiano," 2016. [Online]. Available: [http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%252fSIEL+UPME%252fGeneración%252fCapacidad+Efectiva+de+Generación+\(SIN\)](http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%252fSIEL+UPME%252fGeneración%252fCapacidad+Efectiva+de+Generación+(SIN)).
- [24] Colombia Inteligente, "Encuesta Recolección de Información Proyectos Redes Inteligentes en Colombia," 2015. [Online]. Available: <http://www.colombiainteligente.org/Pages/default.aspx>.
- [25] ICONTEC, "Requirimientos para sistemas de infraestructura de medición avanzada (AMI) en redes de distribución de energía eléctrica." 2016.
- [26] ENDESA, "Smart Grids," 2019. [Online]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-grid.html>.
- [27] I. Al and S. Interconectado, *Comisión de Regulación de Energía y Gas LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA y SU POSIBLE*. 2009.

- [28] P. H. Corredor and G. General, *Regulación g Eléctrica Actual vs Futuro de Integración con Nuevas Tecnologías Índice*.
- [29] D. Miranda Perez, *Estado y desarrollo de la tecnología smart grid en colombia*. diego miranda perez. 2011.
- [30] ANSI, "Smart Grid Interoperability Standards," 2016. [Online]. Available: <https://blog.ansi.org/2009/06/smart-grid-interoperability-standards/>.
- [31] ANSI, "Smart Grid," 2017. [Online]. Available: <https://blog.ansi.org/2011/11/smart-grid/>.
- [32] Ministerio de Minas y Energía; UPME, *Revisión Noviembre de 2014 Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia*. 2014.
- [33] UPME, "Plan Energético Nacional - Colombia: Ideario Energético 2050." 2015.
- [34] UPME, "Plan de expansión de referencia 2010-2024." 2010.
- [35] XM, "Informe de Operación del SIN y Administración del," 2014.
- [36] CREG, "Resolución CREG 148 de 2011." 2011.
- [37] GREG, "Resolución CREG 119 de 2007." .
- [38] CREG, "Resolución CREG 97." 2008.
- [39] CREG, "Resolución CREG 11 de 2010." 2010.
- [40] CREG, "Resolución CREG 39 de 2001." 2010.
- [41] Ministerio de Medio Ambiente, "Contribución Determinada y Prevista a Nivel Nacional," 2015. [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1913:colombiase-compromete-a-reducir-el-20-de-sus-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-para-el-ano-2030>.
- [42] Congreso de Colombia, *Integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. Bogotá D.C., 2017.
- [43] I. de I. Eléctricas, *Red Eléctrica Inteligente*, vol. 34. 2017.
- [44] V. A. Gómez, C. Hernández, and E. Rivas, *Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid)*, vol. 29, no. 2. Bogotá D.C., 2018.
- [45] F. Javier and S. Alzate, *Normatividad sobre Redes Inteligentes*. 2012.
- [46] B. I. de Desarrollo, "Beneficios para la sociedad de la adopción de fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe," 2017. [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13751/beneficios-para-la-sociedad-de-la-adopcion-de-fuentes-renovables-de-energia-en>.
- [47] Iniciativa Colombia Inteligente, "Sostenibilidad - Sociedad - Prácticas." [Online]. Available: <http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/sostenibilidad/4-2-2-8-Iniciativa-Colombia-Inteligente.aspx>.
- [48] Colombia Inteligente, "Colombia inteligente." [Online]. Available:

<https://www.colombiainteligente.org/index.php/nosotros/quienes-somos>.

- [49] Sistema de información eléctrico colombiano, "Sistema de información eléctrico colombiano." [Online]. Available: <http://www.siel.gov.co/>.
- [50] IEEE, *Smart Grid: Reinventing the Electric Power System*, vol. 4, no. 3c. 2010.
- [51] M. Stratford, "Welcome to Mendeley: Quick Start Guide," 2018.
- [52] ANSI, "NEW TECH IN CITIES," 2016. [Online]. Available: <https://blog.ansi.org/category/new-technology/new-tech-in-cities/>.
- [53] D. Wollman and Gaithersburg, *Standards for Smart Grids*. 2010.
- [54] C. DOMO, "Oportunidades de negocio e inversión en Viviendas y Edificios Inteligentes," 2017. [Online]. Available: <https://www.casadomo.com/2017/06/02/oportunidades-negocio-inversion-viviendas-edificios-inteligentes>.
- [55] TECNELEC, "Las características de un edificio inteligente," 2018. [Online]. Available: <https://tecnelec.com.co/caracteristicas-edificio-inteligente/>.
- [56] ACH, "SMART CITIES O CIUDADES INTELIGENTES," 2018. [Online]. Available: <https://www.panelesach.com/blog/smart-cities-o-ciudades-inteligentes-que-son/>.
- [57] D. Integrada, "¿Qué son los edificios inteligentes y qué características los diferencian?" [Online]. Available: <https://domoticaintegrada.com/edificios-inteligentes/>.
- [58] Universidad Nacional de Valencia, "Edificios inteligentes: definición y funcionamiento," 2019.
- [59] ENDESA, "Smart Cities," 2019. [Online]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-city.html>.
- [60] ACCIONA, "¿QUÉ ES UNA SMART CITY? TOP 5 CIUDADES INTELIGENTES." [Online]. Available: <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/que-es-una-smart-city-top-5-ciudades-inteligentes/>.
- [61] E4E, "¿Qué son las Smart Grids?," 2017. [Online]. Available: <https://www.e4e-soluciones.com/servicios-energeticos/microsmartgrids>.
- [62] J. Fossati, *Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes*, vol. 9, no. 9. 2011.
- [63] M. Network, Enerlis, and F. Servicios, *Libro Blanco Smart Cities*, 1st ed. Madrid, 2012.
- [64] R. Tatro, S. Vadhva, P. Kaur, N. Shahpatel, J. Dixon, and K. Alzanoon, "Building to Grid (B2G) at the California smart grid center," *2010 IEEE Int. Conf. Inf. Reuse Integr. IRI 2010*, pp. 382–387, 2010.
- [65] T. Ilamparithi, S. Abourdia, and T. Kirk, "On the use of real time simulators for the test and validation of protection and control systems of micro grids and smart grids," *2016 Saudi Arab. Smart Grid Conf. SASG 2016*, pp. 1–5, 2017.
- [66] A. Founoun and A. Hayar, "Evaluation of the concept of the smart city through local regulation and the importance of local initiative," *2018 IEEE Int. Smart Cities Conf. ISC2 2018*, pp. 1–6, 2019.

- [67] W. Q. Tao and X. X. Yuan, "Investigation on the application of IEC61850 in smart distribution grid with micro-grid," *Proc. - 2012 Int. Conf. Control Eng. Commun. Technol. ICCECT 2012*, pp. 847–850, 2012.
- [68] K. Shi, Y. Bi, and L. Jiang, "Middleware-based implementation of smart micro-grid monitoring using data distribution service over IP networks," *Proc. Univ. Power Eng. Conf.*, pp. 1–5, 2014.
- [69]
- [70] S. Chren, B. Rossi, and T. Pitner, "Smart grids deployments within EU projects: The role of smart meters," *2016 Smart Cities Symp. Prague, SCSP 2016*, 2016.
- [71] D. Novosel, "Experiences with deployment of smart grid projects," *2012 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. ISGT 2012*, pp. 1–3, 2012.
- [72] M. Gujar, A. Datta, and P. Mohanty, "Smart Mini Grid: An innovative distributed generation based energy system," *2013 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia, ISGT Asia 2013*, pp. 1–5, 2013.
- [73] E. Mardacany, "SMART CITIES CHARACTERISTICS: Importance of built environment components," *IET Semin. Dig.*, vol. 2014, no. 15564, 2014.
- [74] O. B. Mora, R. Rivera, V. M. Larios, J. R. Beltran-Ramirez, R. Maciel, and A. Ochoa, "A Use Case in Cybersecurity based in Blockchain to deal with the security and privacy of citizens and Smart Cities Cyberinfrastructures," *2018 IEEE Int. Smart Cities Conf. ISC2 2018*, pp. 0–3, 2019.

https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf

<https://www.minenergia.gov.co/historico-de-noticias?idNoticia=24165937>

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15569/2019freimanacosta.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

<https://tec-eos.com/2019/06/18/redes-electricas-inteligentes-bienvenido-al-futuro/>

file:///C:/Users/Jsalinas/Downloads/TECNALIA_INN_DICIEMBRE2017_CAST.pdf

actores <http://www.rcgsas.com/papers/iColombia.pdf>

Tabla de Bibliografía

Numeración en Bibliografía	Referencia	Descripción	Relevancia en el Documento
[2]	Antecedentes y Marco Conceptual del Análisis, Evaluación y Recomendaciones para la Implementación de Redes Inteligentes en Colombia	Se muestra el estado actual de las REI en Colombia	Se obtuvieron los objetivos energéticos de Colombia, tipos y tecnologías de las REI, desarrollo de las REI en Colombia
[5]	Parte II Mapa de Ruta: Construcción y Resultados (COMPONENTE I)	Funcionalidades de las REI	Se obtuvieron las características de cada tecnología de las REI y los aportes de cada una
[1]	Las redes eléctricas inteligentes y su importancia para mitigar los alcances de los desastres naturales	Importancia de las REI en el futuro	Se obtuvo la definición de REI y sus aspectos claves
[7]	Smart Grids Colombia VISIÓN 2030, Parte IV. Anexo 3. Contexto Internacional de Redes Inteligentes	Se muestra el estado actual de proyectos de REI en el mundo	Se obtuvieron los proyectos ejecutados de REI alrededor del mundo con sus características
[3]	Capacidad instalada en Colombia	Matriz de capacidad energética	Se obtuvo la Capacidad instalada por tipo de planta generadora
[6]	Estudio: Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia	Se muestra el estado actual de proyectos de REI en Colombia	Se obtuvieron los proyectos ejecutados de REI alrededor en Colombia con sus características
[15]	Smart Grids Colombia Visión 2030. Parte IV Anexo 9. Metodología para la evaluación de proyectos pilotos 'Smart Grid' en Colombia	Se analizan proyectos pilotos de REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[63]	Libro Blanco Smart Cities	Se muestra un visión general de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[69]	Variability Modeling for Smart City Reference Architectures,	Muestra el modelo ideal de una Smart City	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información

[29]	Estado y desarrollo de la tecnología smart grid en Colombia.	Se muestra un visión general de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[10]	Parte IV. Anexo 1. Características del entorno eléctrico	Se muestran las condiciones actuales del entorno eléctrico	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[4]	Redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano: Revisión de tema	Se analizan las redes actuales y las REI	Se obtuvo la comparación entre una red eléctrica actual y una REI
[28]	Regulación Eléctrica Actual vs Futuro de Integración con Nuevas Tecnologías Índice	Se analizan la regulación a tener en cuenta por la implementación de las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[34]	Plan de expansión de referencia 2010-2024.	Se analiza el plan de expansión para el año 2024	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[62]	Revisión bibliográfica sobre micro redes inteligentes,	Se muestra un visión general de las Micro Smart Grids	Se obtuvieron recomendaciones para la implementación de las REI
[32]	Proyección de Demanda de Energía Eléctrica en Colombia	Se analiza la futura demanda de energía	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[70]	Smart grids deployments within EU projects: The role of smart meters	Se analiza la importancia de la medición inteligente en Estados Unidos	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[9]	Advanced metering infrastructure in Colombia: benefits, challenges and opportunities	Se analizan las oportunidades con la implementación de las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[71]	Experiences with deployment of smart grid projects	Se analizan proyectos de Smart Grids implementados	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[61]	¿Qué son las Smart Grids?	Se presenta teoría de los edificios inteligentes	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[33]	Plan Energético Nacional - Colombia: Ideario Energético 2050	Se analiza el plan de energético para el año 2050	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información

[20]	Smart Grids Colombia Visión Parte III Política y Regulación I	Se muestran las políticas y regulación para la implementación de las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[22]	Análisis de las TIC para las funcionalidades de las RI en Colombia	Se analizan el impacto de las TIC en las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[30]	Smart Grid Interoperability Standards	Se analiza todo un capítulo de ANSI para REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[54]	Oportunidades de negocio e inversión en Viviendas y Edificios Inteligentes	Se presenta teoría de los edificios inteligentes	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[53]	Standards for Smart Grids.	Se muestra un visión general de las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[16]	Recomendaciones de Ciberseguridad e Interoperabilidad.	Se muestran las condiciones de seguridad para las REI	Se obtuvieron recomendaciones para la implementación de las REI
[72]	Smart Mini Grid: An innovative distributed generation based energy system,	Se muestra un marco teórico de las Micro Smart Grids	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[52]	https://blog.ansi.org/category/new-technology/new-tech-in-cities/	Se analizan las ciudades inteligentes	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[26]	https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-smart-grid.html	Se muestra un visión general de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[19]	https://smartgrid.ieee.org	Se analiza todo un capítulo de la IEEE para REI y los proyectos en todo el mundo	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[18]	Smart Grids Colombia Visión 2030	Se muestra un visión general de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[23]	Standards for Smart Grids	Se analizan los requerimientos para REI en el mundo	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación

			de información
[73]	SMART CITIES CHARACTERISTICS: Importance of built environment components	Se muestran la características mas importantes de una Smart City	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[13]	Estimación de Beneficios detallados por Tecnología	Se muestran los beneficios por cada tipo de tecnología de REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[18]	Estudio: Smart Grids Colombia Visión 2030 - Mapa de ruta para la implementación de redes inteligentes en Colombia	Se analiza el procedimiento para la implementación de REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[60]	¿QUÉ ES UNA SMART CITY?	Se presenta teoría de Smart Cities	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[31]	https://blog.ansi.org/2011/11/smart-grid	Se realiza por ANSI un análisis de los proyectos en todo el mundo de REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[59]	Smart Cities	Se presenta teoría de Smart Cities	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[12]	Modelo de Gestión Energética para micro redes en Colombia	Se muestra un visión general de las REI y también las micro en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[64]	Building to Grid (B2G) at the California smart grid center	Muestra un avance de las REI en California	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[74]	A Use Case in Cybersecurity based in Blockchain to deal with the security and privacy of citizens and Smart Cities Cyberinfrastructures	Se muestra la seguridad e infraestructura de las Smart Cities	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[66]	Evaluation of the concept of the smart city through local regulation and the importance of local initiative	Se muestra un visión de las Smart Cities y sus iniciativas	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[68]	Middleware-based implementation of smart micro-grid monitoring using data distribution service over IP networks	Se muestra el uso de las Micro Smart Grids	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información

[65]	On the use of real time simulators for the test and validation of protection and control systems of micro grids and smart grids	Se muestra un visión general de las Micro y Smart Grids	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[48]	https://www.colombiainteligente.org/index.php/nosotros/quienes-somos	Se muestra un visión general de las REI en Colombia por parte de Colombia Inteligente	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[67]	Investigation on the application of IEC61850 in smart distribution grid with micro-grid	Se muestra un visión general de las Micro y Smart Grids	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[17]	M. de minas y Energía, Banco Interamericano de Desarrollo, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Unidad de Planeación Minero-Energética, and Iniciativa Colombia Inteligente, <i>Parte IV Anexo 2</i>	Se analiza el avance de las telecomunicaciones en las REI y sus costos	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[14]	Estimación del impacto de las Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) en el precio de la electricidad en Colombia	Se analiza el cambio del precio de la electricidad usando REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[35]	Informe de Operación del SIN y Administración	Se analiza la operación del SIN	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[25]	Encuesta Recolección de Información Proyectos Redes Inteligentes en Colombia.	Se analizan los proyectos de REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[51]	Smart Grid: Reinventing the Electric Power System	Se muestra un visión general de las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[28]	Comisión de Regulación de Energía y Gas LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA y SU POSIBLE.	La UPME analiza las REI en el futuro	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[26]	Requerimientos para sistemas de infraestructura de medición avanzada (AMI) en redes de distribución de energía eléctrica	Se analizan los requerimientos para la tecnología AMI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[50]	http://www.siel.gov.co	Se analizan las REI por parte del SIEL	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información

			de información
[55]	Las características de un edificio inteligente	Se presenta teoría de los edificios inteligentes	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[58]	Edificios inteligentes: definición y funcionamiento	Se presenta teoría de los edificios inteligentes	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[57]	¿Qué son los edificios inteligentes y qué características los diferencian?	Se presenta teoría de los edificios inteligentes	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[44]	Red Eléctrica Inteligente	Se muestra un visión general de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[24]	www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%252fSIEL+U+PME%252fGeneración%252fCapacidad+Efectiva+de+Generación+(SIN).	Se analiza la generación que tiene Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[45]	Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid)	Se muestra un visión general de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[47]	https://publications.iadb.org/es/publicacion/13751/beneficios-para-la-sociedad-de-la-adopcion-de-fuentes-renovables-de-energia	Se analizan la integración de energías renovables para el avance de las REI	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[46]	Normatividad sobre Redes Inteligentes.	Se muestra la normatividad de las REI en Colombia	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[42]	https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1913:colombiase-compromete-a-reducir-el-20-de-sus-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-para-el-ano-2030.	Se analizan los compromisos para generar menos gases de efecto invernadero para el 2030	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[48]	http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/sostenibilidad/4-2-2-8-Iniciativa-Colombia-Inteligente.aspx.	Se analizan los medios para hacer un país sostenible	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[43]	Integración de las energías renovables no convencionales al	Se analizan la integración de	Se realizó un análisis de su contenido para

	Sistema Energético Nacional.	energías renovables para el avance de las REI	realizar la recopilación de información
[11]	Definición de KPI's-Smart Grids Colombia VISIÓN 2030	Se analizan los KPI's	Se realizó un análisis de su contenido para realizar la recopilación de información
[37]	Resolución CREG 148 de 2011	Se analiza la ley para los pro y contras respecto a las REI	Se obtuvo la ley de regulación para las REI
[38]	Resolución CREG 119 de 2007.	Se analiza la ley para los pro y contras respecto a las REI	Se obtuvo la ley de regulación para las REI
[39]	Resolución CREG 97.	Se analiza la ley para los pro y contras respecto a las REI	Se obtuvo la ley de regulación para las REI
[40]	Resolución CREG 11 de 2010	Se analiza la ley para los pro y contras respecto a las REI	Se obtuvo la ley de regulación para las REI
[41]	Resolución CREG 39 de 2001	Se analiza la ley para los pro y contras respecto a las REI	Se obtuvo la ley de regulación para las REI

Tabla de Acrónimos

Acrónimo	Significado	Acrónimo	Significado
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética	EPRI	Electronic Power Research Institute
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas	BID	Banco Interamericano de Desarrollo
REI	Red Eléctrica Inteligente	MME	Ministerio de Minas y Energía
RE	Red Eléctrica	CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
KPI	Key Performance Indicator	SG	Smart Grid
OR	Operador de Red	CT	Cooperación Técnica
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación	RAPE	Región Administrativa y de Planificación Especial
SGAM	The Smart Grid Architecture Model	IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
AMI	Infraestructura Avanzada de Medición	ANSI	American National Standards Institute
ADA	Automatización de la Red de Distribución	SIAE	Sistemas Inteligentes de Almacenamiento de Energía
DER	Recursos Energéticos Distribuidos	ISA	Industry Standard Architecture
VE	Vehículo Eléctrico	DISCERN	Distributed Intelligence for Cost-Effective and Reliable solutions
EPM	Empresas Públicas de Medellín	TWACS	Two Way Automated Communications System
ZNI	Zonas No Interconectadas	CIRCE	Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos
V2G	Vehicle to Grid	BEV	Battery Electric Vehicle
PHEV	Plug in Hybrid Electric Vehicle	NIST	National Institute of Standards and Technology
CAPEX	Gastos de Capital	OPEX	Gasto Operativo
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios	CON	Consejo Nacional de Operación
CND	Centro Nacional de Despacho	ASIC	Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales
SAIFI	Frecuencia Media de Interrupción por usuario	SAIDI	Tiempo Total Promedio de Interrupción por usuario
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía	MDMS	Meter Data Management System
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable	CEN	Comité Europeo de Normalización
CI's	Número de contadores inteligentes	M.T.	Media Tensión
GD	Generación Distribuida	EPSA	Empresa de Energía del Pacífico
EEB	Empresa de Energía de Bogotá	GPRS	General Packet Radio Service
SOE	Sequence Operation Event	CRU	Unidad de Control de Recepción
MTU	Transformador de Modulación	OMU	Unidad de Modulación de Salida
IPU	Unidad de Captura de Entrada	RCE	Equipos de Comunicación Remota
USTDA	Agencia de los Estados Unidos para el Comercio y el Desarrollo	PRICE	Proyecto de Redes Inteligentes en el Corredor del Henares
CT	Centros de Transformación	PLC	Controlador Lógico Programable
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones	IHD	In-Home Display

Tabla de Actores y Entidades

Entidad	Siglas	Página Web	Naturaleza	Área de influencia	Sector	Descripción
Unidad de Planeación Minero Energética	UPME	https://www1.upme.gov.co	Pública	Nacional	Energético	La UPME se encarga de planear el desarrollo minero-energético, apoyar la formulación e implementación de la política pública y generar conocimiento e información para un futuro sostenible. También se encarga de planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero energético, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos, producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones.
Comisión de Regulación de Energía y Gas	CREG	https://www.creg.gov.co	Pública	Nacional	Minero-energético	La CREG regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica, gas combustible y servicios públicos de combustibles líquidos, de manera técnica, independiente y transparente. Promueve el desarrollo sostenido de estos sectores, regula los monopolios, incentiva la competencia donde sea posible y atiende oportunamente las necesidades de los usuarios y las empresas de acuerdo con los criterios establecidos en la Ley. Su objetivo es prestar los servicios al mayor número posible de personas, al menor costo posible para los usuarios y con una remuneración adecuada para las empresas que permita garantizar calidad, cobertura y expansión

Empresa de Energía de Bogotá	EEB	https://www.grupoenergiabogota.com	Mixta	Regional	Energía Eléctrica	La EEB es la segunda empresa en transmisión de electricidad en Colombia para las regiones de Bogotá y Cundinamarca, cuenta con una participación en el mercado del 12,5 %.
Empresas Públicas de Medellín	EPM	https://www.epm.com.co	Pública	Regional	Energía Eléctrica	EPM es una empresa industrial y comercial del estado, se encarga de comercializar la energía eléctrica donde llega a 123 municipios de Antioquia. En Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá atiende a 3.6 millones de habitantes.
ENEL	N/A	https://www.enel.com.co	Privada	Regional	Energía Eléctrica	ENEL es una compañía multinacional del sector de la energía y un operador integrado líder en los mercados mundiales de electricidad y gas, enfocado particularmente en los mercados de Europa y Latinoamérica. Empresa dedicada a la distribución y comercialización de energía eléctrica, líder en el mercado nacional con el 24% de la participación total. Fue creada en 1997 como resultado del proceso de capitalización de la Empresa de Energía de Bogotá.
Banco Interamericano de Desarrollo	BID	https://www.iadb.org	Privada	Internacional	Gestión de administración	El BID trabaja para mejorar la calidad de vida en América Latina y el Caribe. Ayuda a mejorar la salud, la educación y la infraestructura a través del apoyo financiero y técnico a los países que trabajan para reducir la pobreza y la desigualdad. El objetivo es alcanzar el desarrollo de una manera sostenible y respetuosa con el clima. Hoy en día somos la principal fuente de financiamiento para el desarrollo de América Latina y el Caribe. Ofrecen préstamos, donaciones, asistencia técnica y realizan amplias investigaciones.

Ministerio de Minas y Energía	MME	https://www.minenergia.gov.co	Pública	Nacional	Energético	El MME se encarga de la formulación de políticas que garanticen el desarrollo y aprovechamiento eficiente de los recursos mineros y energéticos en Colombia, su explotación, abastecimiento y exportación de sus excedentes, trabajando con eficiencia, innovación, calidad en su gestión y promoción de la responsabilidad social y ambiental.
Región Administrativa y de Planificación Especial	RAPE	https://regioncentralrape.gov.co	Pública	Nacional	Gestión de administración	La Región Central es la primera entidad pública regional creada en el país, septiembre de 2014, conocida también como RAPE, que significa Región Administrativa y de Planeación Especial. Fue constituida mediante convenio suscrito por los departamentos Cundinamarca, Boyacá, Meta, Tolima y por Bogotá D. C. con el propósito de impulsar y articular planes regionales de desarrollo económico y ambiental en sus territorios.
Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos	IEEE	https://www.ieee.org.co	Privada	Internacional	Energético	La IEEE es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización del campo de la energía eléctrica y promover la innovación y la excelencia tecnológica en beneficio de la humanidad, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional, sin ánimo de lucro, formada en Nueva York por profesionales de las nuevas tecnologías.

