



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

Nataly Andrea Zapata Ruiz

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de minas, Escuela de Sistemas
Medellín, Colombia

2013

Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

Nataly Andrea Zapata Ruiz

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Ingeniería de Sistemas

Director:

PhD Carlos Jaime Franco Cardona

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de minas, Escuela de Sistemas
Medellín, Colombia

2013

Agradecimientos

Inicialmente deseo agradecer a Dios por darme la oportunidad de complementar mi formación profesional, por brindarme la tranquilidad en cada momento de esta etapa, y bendecirme al poner en mi camino las personas indicadas para hacer realidad este sueño anhelado.

A mi familia por motivarme a diario a culminar esta fase, por estar para mí cuando más los necesito, por apoyarme, comprenderme y brindarme la fortaleza necesaria, estímulo para la elaboración de mi trabajo de grado.

A la Universidad Nacional de Colombia Sede - Medellín por darme la oportunidad de estudiar y complementar mi perfil a la luz de las necesidades de la industria.

A mi director de trabajo de grado, el Dr. Carlos Jaime Franco por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha permitido que pueda terminar mis estudios con éxito.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que agradezco sus consejos, apoyo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras me acompañan desde los recuerdos, sin importar donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

Resumen

Las Redes Eléctricas Inteligentes adicionan a los sistemas eléctricos actuales nuevas componentes inteligentes que incluyen el control y la supervisión de las señales de la demanda. El sistema eléctrico colombiano no está preparado para soportar el dinamismo que las nuevas componentes de redes inteligentes aportan a la oferta de generación y la interacción de esta con los precios; los sistemas utilizados no cuentan con mecanismos que permitan interactuar con los consumidores y los recursos del sistema de una forma más eficiente para ajustar el consumo de energía y reducir sus costes energéticos. Es por esta razón que se debe caracterizar un conjunto de tecnologías que se ajusten a las necesidades de implementación de una Red Eléctrica Inteligente en Colombia y permitan tener una visión clara de las plataformas transaccionales inteligentes que se puedan implementar en los mercados eléctricos. Dado lo anterior se desea elaborar una evaluación de los diferentes sistemas de información que podrían emplearse para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

Palabras clave: Redes Eléctricas Inteligentes, Operador del Sistema Eléctrico, adopción de tecnologías, sistemas de información, plataformas transaccionales, Benchmark.

Characterization and evaluation of Smart transactional platforms for the implementation of electrical Smart grids in Colombia

Abstract

The electrical smart grids improve the existing electrical systems with new smart components that include control and supervision of demand signals. The Colombian electrical system is not prepared to support the dynamics that new smart grids components provide to the generation bid and its integration with prices. Systems used do not have mechanisms which allow the interaction with consumers and system resources in an efficient way in order to adjust the energy consumption and reduce energetic cost. For this reason is necessary to characterize a group of technologies that must be adjusted to the implementation necessities of an electric smart grid in Colombia and allow have a clear vision of the smart transactional platforms implemented in electrical markets. In this way is desired elaborate an evaluation of the information systems that can be used to implement the electrical smart grids in Colombia.

Keywords: Electrical smart grids, Electrical system operator, technology adoption, information systems, transactional platforms, Benchmark.

Contenido

	Pág.
Introducción	1
1. Justificación	5
2. Mercado eléctrico.....	9
3. Plataformas Transaccionales	13
4. Estado del arte.....	21
4.1 Implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia	22
4.2 Motivaciones para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes	22
4.3 Casos de aplicación de implementación de REI	24
4.4 Tecnologías implementadas en Redes Eléctricas Inteligentes	27
4.5 Objetivos	28
4.5.1 Objetivo General.....	28
4.5.2 Objetivos Específicos.....	29
5. Metodología	31
6. Evaluación de plataformas transaccionales	37
7. Conclusiones.....	61
A. Anexo 1: Acrónimos.....	65
Referencias.....	67

Lista de figuras

Figura 6-1 Cuadrante Mágico para Sistemas de Información de clientes de utilidades. ...	56
Figura 6-2 Ámbito del Mercado de Sistemas de Gestión de Distribución Avanzada.....	58

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1. Sistemas de Información	14
Tabla 6-1. Escenarios de calidad	39
Tabla 6-2. Árbol de utilidad de los atributos de calidad.....	41
Tabla 6-3. Restricciones Técnicas.....	43
Tabla 6-4. Restricciones de negocio.....	43
Tabla 6-5. Plataformas Transaccionales y Características.	44
Tabla 6-6. Pesos de los atributos de calidad	53
Tabla 6-7. Pesos Finales para cada Plataforma Transaccional	53

Introducción

Las tecnologías que se incorporan con las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) permiten generar y distribuir electricidad de una forma más eficiente, económica, segura y sostenible, a partir del alistamiento de productos y servicios, generación, transmisión, distribución y equipos del consumidor, que utilizan sensores con tecnología avanzada, comunicaciones y tecnologías de control. Las redes inteligentes están caracterizadas por flujos bidireccionales, participación activa del consumidor con sistemas avanzados de tecnologías de información (Pratt et al., 2010).

El cambio de comportamiento de los consumidores mediante la medición y aplicaciones inteligentes, y el nuevo enfoque para el control, supervisión y operación de la infraestructura de la red existente, sugieren el uso de sistemas inteligentes y técnicas para realizar o mejorar muchas de las actividades que son realizadas actualmente por Ingenieros, ya que para el análisis de los grandes volúmenes de datos y la gestión de los activos, se requiere del uso de sistemas que proporcionen esta funcionalidad inteligente (Catterson, Davidson & McArthur, 2011).

Uno de los problemas que se analizan con la implementación de las redes inteligentes es la definición de un conjunto de plataformas transaccionales o sistemas de información que reduzcan o eliminen las barreras relacionadas con tecnologías, prácticas y servicios de estas redes, sistemas de información empresariales, modelos de datos, servicios web, servicios al consumidor, automatización de las subestaciones, automatización de la distribución, modelado de recursos dinámicos, optimización del despacho, seguimiento en tiempo real de los recursos, respuesta a la demanda, entre otros.

En los últimos años se han especificado, diseñado y desarrollado sistemas de información para los mercados de energía que potencian soluciones de redes inteligentes, estos sistemas son soluciones de gestión de análisis, con integración de

diferentes estándares y protocolos a la vanguardia de la normalización del mercado de servicios públicos y la convergencia de los sistemas de gestión energética. Para la adopción de estos sistemas de información por parte del operador y administrador del Sistema Interconectado Nacional SIN en Colombia, inicialmente se debe proporcionar información de contexto sobre su uso, analizar la inclusión de nuevos componentes y las especificaciones arquitectónicas de buen rendimiento, seguridad, interoperabilidad, portabilidad y usabilidad, que deben garantizar estos sistemas más complejos para desarrollar una infraestructura elástica, escalable y disponible, todo esto con el fin de garantizar la interoperabilidad de la red inteligente (NIST, 2012a).

El nuevo enfoque de las Redes Eléctricas Inteligentes presenta retos relacionados con el manejo de grandes volúmenes de datos, gestión de la información e integración, elementos claves en el diseño de sistemas y arquitecturas al día con las necesidades empresariales. La cuantificación, el acceso y control de calidad en la información, serán competencias básicas de las empresas para buscar patrones que sustenten las decisiones de negocio basadas en la estrategia. Para esto varios autores han estudiado como los sistemas actuales pueden tornarse obsoletos y presentan una convergencia de los sistemas de información a partir de las adopciones tecnológicas en sistemas de tecnologías operativas y sistemas de tecnologías de información, el avance y la confluencia en varias clases de tecnología impulsan la transformación de la red eléctrica. (Zarko Sumic, 2012)

Entre las propuestas se tiene la maduración y la adopción de estas tecnologías algunas directamente controladas por las empresas de servicios públicos, mientras que la adopción de las demás es el resultado de factores mundiales y catalizadores de adopción de tecnología o de las tendencias más importantes, como el consumo masivo tecnológico, y las fuerzas mayores, como el nexo con la nube, móviles, sociales y big data (Mark A. Beyer., Zarko Sumic, 2011).

El foco de esta investigación es analizar el portafolio de sistemas de información en Redes Eléctricas Inteligentes que permitan el análisis y seguimiento de las señales del mercado, además de monitorear, controlar y optimizar el rendimiento de los sistemas de energía, gestionar el cumplimiento de las necesidades de los clientes que demandan el

servicio de energía con alta calidad, mantener precios, generar equilibrio entre la demanda y el suministro, combinando la gestión de energía y el autoservicio del cliente.

Es por esta razón que se debe caracterizar un conjunto de plataformas transaccionales que se ajusten a las necesidades de implementación de las de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia, con el objetivo de evaluar que los sistemas soporten el contexto empresarial, a partir del reconocimiento de las necesidades que deben ser cubiertas y las cuales deben ser compatibles con las dimensiones o perspectivas de análisis de variables sugeridas para la gestión de información en las redes eléctricas inteligentes, el interés es evaluar nuevos desarrollos, plataformas y estándares que permitan al operador de red operar y distribuir los recursos de una forma confiable, sostenible y económica.

En el Capítulo 1 se plantea la justificación de la investigación seguido en el Capítulo 2 se encuentra la descripción del mercado eléctrico Colombiano y los objetivos de los sistemas de información usados actualmente. En el Capítulo 3 se describen las plataformas transaccionales inteligentes utilizadas en REI. En el Capítulo 4 se presenta la revisión del estado del arte, a partir de la búsqueda de literatura sobre la implementación de las REI en Colombia, motivaciones para su implementación, casos de aplicación y las tecnologías implementadas. En el Capítulo 5 se presenta la descripción de la metodología implementada para la evaluación de los sistemas de información, seguido se encuentra la evaluación de las plataformas transaccionales inteligentes en el Capítulo 6, luego se presentan las conclusiones en el Capítulo 7, en el Anexo 1 se describen los acrónimos utilizados en el documento y finalmente se listan las referencias que soportan la investigación.

1. Justificación

La apuesta por una economía basada en la eficiencia energética y el paso a energías renovables materializa grandes proyectos que se han desarrollado en los últimos 9 años en escenarios de redes eléctricas inteligentes. El Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI), se ha encargado de crear una base técnica para una red eléctrica inteligente, que enlace la electricidad con las comunicaciones y el control por computadoras para aumentar la confiabilidad y capacidad (EPRI, 2011), otras iniciativas como la de GavinElectricity establecida en el 2005, busca crear un sistema eléctrico orientado al medio ambiente y eficaz en el consumo de combustible que pueda resistir desastres naturales y mitigar el daño posible que pudiese ser causado por ataques terroristas (Galvin Electricity Initiative Response, 2010).

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) es el encargado de coordinar el desarrollo de un marco que incluye los protocolos y normas o estándares para la gestión de la información y para lograr la interoperabilidad de los dispositivos incorporados en las redes inteligentes (NIST, 2012b). La iniciativa de North American SynchroPhasor (NASPI) está basada en mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico a través del área amplia de la medición, seguimiento y control, sincronizar la infraestructura de medición de datos, asociando herramientas de análisis y monitoreo para una mejor planeación, operación y una mayor fiabilidad (NASPI, 2012).

La Federal Energy Regulation Commission (FERC) a través de la Ley de Independencia Energética de 2007 y la Ley de Seguridad (EISA), ha trabajado de la mano de NIST en estándares de interoperabilidad para redes eléctricas inteligentes, validando si hay consenso suficiente, para examinar el procedimiento de elaboración de normas; dirigida en la sección 1305 (d) de dicha Ley, para asegurar funcionalidad e interoperabilidad de las REI y los mercados regionales de electricidad (FERC, 2011).

El Departamento de Recursos Energéticos de Estados Unidos (DOE) continuamente identifica con apoyo de diversos actores del sistema de electricidad, un conjunto de métricas para medir el progreso hacia la implementación de tecnologías de redes inteligentes, prácticas y servicios (Energy, 2012).

La European Commission afirma que aunque la red de Europa ha servido bien en la actualidad, no es adecuada para las exigencias del futuro; el envejecimiento de las redes Europeas está imponiendo un desafío importante para la seguridad, la fiabilidad y la calidad de un sistema y adopción de nuevas tecnologías (European Commission, 2006; Hammons, 2006). En la Unión Europea se han definido directivas por medio de las cuales se ha visto la necesidad de trabajar en proyectos de generación distribuida (DG) y administración por parte de la demanda (DSM) (Lopes Ferreira, Costescu, L'Abbate, Minnebo & Fulli, 2011).

El sector eléctrico Europeo está teniendo grandes cambios en respuesta a los tres objetivos claves dados por la Unión Europea (Lopes Ferreira, Fulli, Kling & Pecas Lopes, 2011):

- Sostenibilidad ambiental
- Seguridad del suministro
- Competitividad

La búsqueda de tecnologías de generación bajas en carbono y el mejoramiento de la eficiencia desde el lado de la demanda están provocando que se busquen mejoras al sistema y que se permita que los usuarios comiencen a interactuar con la red (European Commission, 2006).

La unión Europea definió los siguientes objetivos para el año 2020 (Lopes Ferreira, Fulli, Kling, & Pecas Lopes, 2011):

- Reducción de las emisiones de gases invernaderos de un 20% sobre los niveles de 1990
- Participación de un 20% de energía renovable
- Reducción del 20% en el consumo de energía primaria en comparación con los niveles previstos

Una manera de lograr lo anterior es introduciendo nuevas tecnologías y nuevas estrategias de control, es decir, incorporando la red actual con las REI (Malik & Havel, 2011).

Generalmente, la preocupación de los países por la adopción de las redes inteligentes está basada en los altos costos, la dificultad de integrar nuevas tecnologías, otros sistemas de TI y determinar los estándares que permitan lograr la interoperabilidad de los sistemas. A medida que la industria de la electricidad madura y avanza la tecnología, se comienza a articular una visión más amplia para la transformación de la red actual de electricidad en una red que sea más confiable y eficiente, facilitando formas alternativas de generación, incluyendo la energía renovable, y ofreciendo a los consumidores información en tiempo real sobre los costos de fluctuaciones eléctricas.

Esta visión comúnmente conocida como redes eléctricas inteligentes busca aumentar el uso de redes y sistemas informáticos de dos vías de comunicación para automatizar las acciones que los operadores del sistema antes tenían que hacer manualmente.

Estos esfuerzos están diseñados para, entre otras cosas, mejorar la transmisión de electricidad de las centrales eléctricas a los consumidores, proporcionar a los operadores de red más información sobre las condiciones en el sistema de electricidad, integrar las nuevas tecnologías y las mejoras en la red, y permitir a los consumidores recibir más información acerca de precios de la electricidad y la disponibilidad de la red eléctrica.

La modernización de redes inteligentes es un proceso continuo y las iniciativas por lo general han implicado la instalación de infraestructura avanzada de medición (medidores inteligentes) en hogares y edificios comerciales que permiten la comunicación bidireccional entre la empresa y el cliente. Por ejemplo, la FERC estimó el uso de medición avanzada en los Estados Unidos en 4,7 por ciento en 2008, frente al 0,7 por ciento en 2006. Las inversiones que se hacen en las redes inteligentes pueden elegir configuraciones alternativas utilizando diferentes tecnologías y medios de comunicación en función de factores como el costo, las necesidades del cliente y las condiciones locales.

En Colombia el suministro principal de energía se obtiene a partir de energías renovables (que incluyen la biomasa y la energía hidroeléctrica) y en su mayoría los picos se cubren

con plantas que usan combustibles fósiles, las cuales aumentan el costo del sistema, la relación entre la demanda base y la de pico hace por tanto que el sistema sea menos eficiente.

La eficiencia total estimada en Colombia es del orden de 65%, este es un valor más bien bajo a pesar de la contribución hidroeléctrica grande con un proceso de transformación eficiente, parece imperativo que la eficiencia global del sistema de potencia se aumente sustancialmente en el futuro para hacer una "más inteligente" utilización de la energía para mitigar el impacto sobre el medio ambiente. (Cespedes, 2010).

Considerando que Colombia está comprometida con un programa de energía sostenible, en concordancia con políticas, estrategias, planes, acciones y servicios que integren diferentes fuentes de energías, redes eléctricas y tecnologías de información y comunicaciones con una participación activa de la demanda, se propone realizar un benchmark o referenciamiento sobre plataformas transaccionales inteligentes (en adelante en este documento se utilizará la palabra benchmark) para la implementación de redes eléctricas inteligentes en Colombia, lo cual permitirá realizar análisis comparativos a partir de un conjunto de criterios para la inversión y adopción de tecnología de REI en Colombia.

En este capítulo se analizaron las iniciativas en redes inteligentes adelantadas en otros países, con el fin de justificar la realización de un referenciamiento sobre plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de REI en Colombia, en el capítulo siguiente se describe el mercado eléctrico colombiano y luego se definen las plataformas transaccionales que se implementan en las Redes Eléctricas Inteligentes.

2. Mercado eléctrico

El mercado eléctrico colombiano tuvo sus inicios en 1995 al instaurarse las leyes 142 y 143 de 1994, con estas leyes se estableció el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización, denominadas actividades del sector, a partir de la creación de estas actividades, se buscó promover la competencia leal impidiendo el abuso de posiciones dominantes en el mercado, además de regular situaciones que por razones de monopolio natural, la libre competencia no garantice su prestación eficiente en términos económicos.

En el 20 de julio de 1995 entró en funcionamiento la bolsa de energía en Colombia este sistema de negociación permitió a los generadores hacer sus ofertas de precio y de cantidades de energía, las cuales al cruzarlas con la demanda representada por los comercializadores, se determina, el precio y la cantidad que se va a entregar a la Bolsa. Desde la creación del mercado se ha tenido un crecimiento de la demanda y se ha podido garantizar el suministro de energía gracias a los grandes proyectos que aumentan la capacidad instalada.

La capacidad efectiva neta instalada en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) al finalizar el año 2012 fue de 14,361 MW distribuida el 64% en recursos hidráulicos y el 30.8% en recursos térmicos, el 5.2% restante corresponde a recursos menores y cogeneradores. La demanda de energía eléctrica en Colombia alcanzó los 59,370.1 GWh con un crecimiento de 3.8% más que en 2011, este 3.8% es el resultado del incremento de 6.8% de la demanda no regulada (industria y comercio) y del 2.3% de la demanda regulada (consumo residencial y pequeños negocios). (XM, 2013)

Los resultados de las simulaciones energéticas permitieron en 2012 dar señales al sector eléctrico sobre las cantidades de generación térmica y necesidades de combustibles (carbón, gas y líquidos) para afrontar la situación energética por calentamiento y

condición de aportes deficitarios que se presentó durante el año. En los últimos tres años se han presentado fenómenos intensos de sequía o lluvias. (XM, 2013)

El nuevo escenario de negocios en el sector energético así como la globalización de la economía, exigen a los agentes del mercado y a las empresas usuarias del servicio de electricidad, contar con información competitiva para el soporte y respaldo a la toma de decisiones. Las plataformas transaccionales inteligentes permiten a los usuarios acceder a datos actualizados e informar las tendencias y patrones estudiando a partir de ellas el cambio y descubriendo la causa y el efecto, estas herramientas son ideales para supervisar el rendimiento de los indicadores claves, objetivos y realizar informes normativos eficientes para la gestión de activos y la toma de decisiones.

El operador y administrador del Sistema Interconectado Nacional SIN en Colombia, como parte de su portafolio, cuenta con servicios de información a nivel operativo y estratégico que permiten el análisis dinámico de la información y la toma de decisiones, a partir de una labor de consulta sencilla.

En los próximos años la capacidad de gestionar información en tiempo real será una competencia básica de las empresas eléctricas en la toma de decisiones de negocio. Los sistemas inteligentes de información capaces de responder en tiempo real permitirán la conciencia situacional sobre la información relevante de negocio. Para lo anterior, se deben desarrollar las competencias adecuadas y especializadas en el operador y administrador del SIN que permitan evaluar el uso de la información y su evolución, además del diseño de las arquitecturas e infraestructura que se mantengan al día con las necesidades empresariales y la implementación de patrones o modelos que sustenten las decisiones de negocio.

Después de describir brevemente el mercado eléctrico colombiano y la necesidad de gestionar información en tiempo real, se hace preciso buscar nuevas soluciones que permitan evaluar el uso de la información, su evolución y a su vez la actualización del sistema eléctrico. Dado lo anterior en el siguiente capítulo se estudian las plataformas transaccionales inteligentes o sistemas de información que permiten la adquisición, almacenamiento y análisis de datos en la adopción de Redes Eléctricas Inteligentes a

partir de la integración de la información, las comunicaciones, las tecnologías de consumo y el procesamiento analítico. (Mark A. Beyer., Zarko Sumic, 2012)

3. Plataformas Transaccionales

Los mercados de energía eléctrica en el mundo continúan evolucionando cada vez más gracias a la incorporación de nuevas tecnologías en información y comunicaciones. En la actualidad se presentan diferentes tendencias que permiten mayor desarrollo de estos mercados, integración entre mercados de diferentes países, mercados más liberalizados, respuesta a la demanda, presencia de derivados y una gran convergencia con otros sectores como las telecomunicaciones, transporte, financiero, entre otros. (Barroso, 2011)

Las plataformas transaccionales o los sistemas de información inteligentes son sistemas diseñados para soportar los complejos análisis requeridos para descubrir tendencias a nivel de negocio, con mecanismos interactivos que proveen información, herramientas o modelos para ayudar a los usuarios a tomar decisiones, además permiten seleccionar la información relevante para cada usuario (Fornés, 2004).

Con los nuevos sistemas de información inteligente se comienzan a perfilar una serie de tendencias, que han sido evaluadas y han mostrado una satisfacción general por parte de los usuarios:

- Personalización de la solución
- Diseño de perfiles y roles
- Respuesta ante las necesidades de información de los usuarios
- Facilidad de acceso y de trabajo con el sistema
- Presentación o diseño de calidad
- La interactividad se convierte en un factor de competitividad

En Redes Eléctricas Inteligentes se espera la implementación de sistemas de información como: portales de clientes interactivos con la demanda de electricidad y precios, sistemas intensivos en entrada y salida de información con cálculos y procesos

simples, sistemas de apoyo a la toma de decisiones con generación y evaluación de diferentes alternativas o escenarios de decisión, sistemas de supervisión y control de parámetros medibles, estándares de integración, entre otros (Harrison, 2011).

En la Tabla 3-1 se muestran algunas empresas que proveen servicios para soluciones de mercados de energía y se describe a grandes rasgos cómo funcionan estos sistemas. En el Anexo 1 se encuentran los acrónimos utilizados.

Tabla 3-1. Sistemas de Información

#	Fabricante	Software	Servicio
1	etap® Thinking Power	Energy Management System Software - EMS™	* EMS Completo * MMS Parcial
2	ALSTOM	e-terramarket Market Management System (MMS)	* MMS Completo
3	ALSTOM UISOL Utility Integration Solutions	DRBizNet Demand Response Management System	* DRMS Completo
4	ABB	Network Manager MMS, SCADA, EMS, GMS and DMS	* EMS / GIS/ DRMS Completo * MMS Parcial
5	LUXOFT	Luxoft Energy Management Systems (EMS) DMMessenger DMFusion Smart Grid	* GIS DMS/OMS and MDM Completo * AMS Parcial * Metering Data in Cloud Completo * BI (dashboards, KPI's) Completo
6	General Electry GE	XA/21* SCADA (EMS)	* EMS Completo * MMS Parcial
7	General Electry GE	Grid IQ Solution (Asset Management)	* GIS Completo * MMS Parcial * AMS Completo * Móvil Completo
8	General Electry GE	Smallworld Territorial Intelligence (Business Intelligence)	* GIS Completo
9	General Electry GE	PowerOn™ Precision Demand Response Management System	* Sistemas de utilidad de operación (EMS, ADMS, DMS, GIS) Completo * Sistemas de facturación y clientes (Facturación, CIS,

			MDMS) Completo
10	General Electry GE	GE Smallworld™ gestión de infraestructura geoespacial	* GIS. Completo
11	General Electry GE	Smallworld Spatial Intelligence™	* BI. Completo * AMS. Parcial
12	Infosys Utilities	Meter Data Management (MDM) Demand Side Managment (DSM) Enterprise Asset Managment (EAM BOLT-Ons)	* AMS Completo * Medición de Datos Completo * DRMS Completo
13	IBM	IBM Maximo® Asset Management configuration tools. Enterprise Asset Management for energy and utilities	* AMS Completo
14	Oracle	Oracle Utilities Work and Asset Management	* AMS. Completo
15	SIEMENS	Demand Response Management System (DRMS)	* DRMS Completo
16	ESRI	ArcGIS (Small Utility ELA)	* GIS. Completo
17	ESRI Telvent USA Corp	Telvent Smart Suite Solutions (SGS)	* EMS Completo * GIS. Completo * DRMS Completo

Las anteriores empresas ofrecen soluciones en:

Sistemas de Gestión de Energía por sus siglas en inglés *EMS (Energy Management System)*, es una suite de herramientas de software para monitorear, controlar y optimizar el rendimiento de los sistemas de generación y transmisión este software de gestión inteligente de energía está diseñado para ayudar a la reducción del consumo, mejorar la utilización del sistema, aumentar la fiabilidad y predecir el rendimiento del sistema eléctrico, así como optimizar el uso de energía para reducir costos. Los sistemas EMS usan datos en tiempo real como la frecuencia, la generación real, el estado de las plantas o unidades de generación para proporcionar cambios en el sistema (LUXOFT, 2013).

El EMS dentro de sus objetivos mantiene la frecuencia del sistema de distribución de energía y la tensión cerca de los valores programados, la generación distribuida y la respuesta a la demanda DR (Demand Response) son variantes de las redes inteligentes que hacen que estos sistemas calculen los parámetros necesarios para optimizar el funcionamiento de las unidades de generación bajo la acción de gestión de la energía.

Las principales funciones de estos sistemas se basan en el control de carga de la frecuencia (LFC), despacho económico (ED), programación de intercambio de transacciones (ITS).

Sistemas de Gestión de Mercados por sus siglas en inglés MMS (Market Management System) son reconocidos como importantes activos estratégicos en el entorno actual de los negocios de utilidad, algunos servicios de los sistemas para los mercados de energía incluyen: subastas de energía para equilibrar la oferta y la demanda, carga y presentación de los programas de oferta para su consideración y acción. Dentro de los tipos de mercados se encuentran (ABB, 2013c; ALSTOM, 2013a):

- Mercado Diario (*Day-Ahead Market*), es un mercado en el que cada hora se calculan los precios nodales LPM para el próximo día operativo basado en las ofertas de generación, las ofertas de la demanda y la programación de las transacciones bilaterales.
- Tiempo Real de los Mercados de Equilibrio (*Real-time Balancing Market*) necesarios para garantizar el acceso no discriminatorio de los mercados energéticos competitivos, da acceso a los recursos no tradicionales que funcionan de forma intermitente, su objetivo es mantener la fiabilidad a corto plazo, apoyándose principalmente en los mercados para adquirir servicios de fiabilidad y fomentar la competencia en toda la industria eléctrica.
- Redespacho (*Real-time Look Ahead Dispatch*) el modelo permite mirar hacia adelante varios intervalos (hasta una hora o más) para ver si cualquier unidad de arranque debe ser activada para satisfacer la demanda proyectada en los períodos.
- Unidad de compromiso (*Real-time Look Ahead Commitment*) es el proceso en el que se decide cuál de las unidades operaría el día siguiente, y

cuando a su vez estas unidades deben ser encendidas y apagadas, minimizando los costes globales de producción de electricidad.

- Capacidad del mercado (*Capacity market / Reliability Pricing Model -RPM*) conocido como el modelo de valoración de fiabilidad, adquiere recursos de capacidad para la demanda futura en la región, proporciona la capacidad de reenviar las señales de precios para estimular la retención de los recursos existentes y el desarrollo de nuevos recursos en el sistema. La capacidad adecuada de recursos es necesaria para apoyar la fiabilidad y estabilidad de la red eléctrica para la demanda de los consumidores.

Sistemas de Gestión de activos por sus siglas en inglés *AMS* (Asset Management Systems), en la rápida evolución y globalización de los ecosistemas, las empresas están bajo la presión de gestionar proactivamente sus activos, para reducir los costos, aumentar la productividad y responder a un entorno en constante cambio normativo. Además de tener oportunidades para optimizar el negocio, realizar seguimiento de activos, inventario de piezas de repuesto y la gestión de las adquisiciones. La gestión de activos permite a las empresas superar las metas de reducción de costos, maximizar el rendimiento de los activos de la empresa y reducir el coste total de propiedad de los activos (IBM, 2013; Infosys Utilities, 2013b).

Sistemas de Gestión de Respuesta a la Demanda por sus siglas en inglés *DRMS* (Demand Response Management System), es una de las pocas tecnologías que combina los beneficios de servicios centrales (tales como velar por la adecuación de los recursos y mejorar la utilización de activos por reducción de la carga pico) y los beneficios para el consumidor y la sociedad. Por lo tanto, recibe una gran cantidad de atención de los servicios públicos y los reguladores integrados (Chet Geschickter, 2012).

Según definición de la *Federal Energy Regulatory Commission, Staff Report September 2007*, la respuesta a la demanda son los cambios en el consumo de electricidad de los clientes de uso final de sus patrones de consumo normales en respuesta a cambios en el precio de la electricidad en el tiempo, o para el pago de incentivos diseñados para inducir a un menor uso de electricidad en momentos de altos precios del mercado mayorista o cuando la fiabilidad del sistema se pone en peligro (Kathan et al., 2007).

Sistemas de Información Geográfica por sus siglas en inglés *GIS* (Geographic Information Systems), la integración de los sistemas de infraestructura eléctrica, los sensores y los sistemas de comunicaciones, permiten brindar un enfoque geográfico a las redes inteligentes, a partir de la gestión de datos de la red, la capacidad de análisis, la automatización de la fuerza de trabajo, captura, sincronización y visualización de datos en tiempo real para el conocimiento de la situación (ESRI, 2013a).

Los sistemas GIS se encargan de recopilar y procesar las transacciones de los elementos de la red, además de proveer visualización espacial, un marco de integración para datos corporativos y para la toma de decisiones.

Estos sistemas están diseñados para servir como el repositorio principal de datos geospaciales de una organización, sea cual fuere su volumen o complejidad. Además tienen la capacidad de interrelacionarse con múltiples tecnologías digitales, son ideales para ser integrados con los diferentes sistemas de información de las empresas, para la gestión del ciclo de vida completo de la infraestructura geoespacial y tanto las personas como los sistemas tienen acceso a datos actualizados (GE Energy, 2013g).

Las soluciones de Inteligencia de negocios por sus siglas en inglés *BI* (Business Intelligence) ofrecen un conjunto de herramientas que permiten soportar las decisiones de negocio y realizar diferentes análisis en combinación con la información accesible y correcta.

Las soluciones de BI permiten informar tendencias, estudiar patrones de cambio, descubrir la causa y efecto, supervisar el rendimiento de los indicadores claves, realizar informes normativos eficientes para la gestión de activos y la toma de decisiones.

Estas soluciones pueden ayudar a la reducción de gastos operacionales con decisiones mejores y más específicas debido a la información de mayor calidad, presentada a partir de mapas e informes; a la gestión del crecimiento con la utilización óptima de inversión de activos, análisis de ventas y de rendimiento indicadores financieros respaldados por los informes que muestran los datos sobre la utilización de la red; a la creación de ventajas competitivas, soporte de decisiones rápidas y efectivas, lo que permite la pronta ejecución de la estrategia (GE Energy, 2013d).

Las soluciones de BI ayudan a los usuarios a:

- Aumentar la eficiencia operativa y el control de costes a través de la implementación efectiva de los activos de la red.
- Mejorar la fiabilidad del servicio a través del análisis de los activos y la infraestructura para predecir fallos en la red y los horarios de reparación.
- Recopilar, analizar y presentar hasta al día la información para los informes reglamentarios, fallos y estadísticas de rendimiento y las estrategias de inversión de capital.
- Encontrar y evaluar nuevas oportunidades de negocio a través de un análisis detallado de los clientes y la información demográfica.
- Analizar las ventas y mejorar la competitividad a través de la investigación de ventas e inversión de activos, penetración y retención de clientes.
- Se basa en mejorar la capacidad de visualizar y analizar los datos y la facilidad de proporcionar rápidamente a los clientes finales información importante, como los tiempos de restablecimiento, gestionando más eficientemente los activos de la red.

Pronto también se tendrán retos relacionados con grandes volúmenes de datos “big data”, la gestión de información, gestión de datos e integración serán claves en el diseño de sistemas y arquitecturas que se mantengan al día con las necesidades empresariales. La cuantificación, el acceso y control de calidad en la información, serán competencias básicas de las empresas para buscar patrones que sustenten las decisiones de negocio basadas en la estrategia. Hoy por hoy las empresas están empezando a centrarse en grandes volúmenes de información excluyendo muchas dimensiones de la gestión de la información, lo que deja grandes retos a ser abordados más adelante (Chen et al., 2011).

Es así como las empresas eléctricas deben prepararse para gestionar información valiosa y relevante, su enfoque de gobierno debe basarse en procesos de negocio y los dominios de datos que se comunican a través y entre procesos, además de desarrollar las competencias adecuadas y especializadas que permita evaluar en la organización cómo la información se utiliza y cómo evoluciona (Rhodes, 2012; Steenstrup, 2012).

Los sistemas de información podrán evolucionar a plataformas transaccionales inteligentes en la medida que consideren atributos de calidad que involucren (Findings, 2011):

- Disponibilidad para el acceso y la entrega de información
- Velocidad es decir la cantidad de datos procesados para satisfacer la demanda
- Variedad en la presentación de la información, datos jerárquicos, documentos, correo electrónico, datos de medición, video, imagen, audio, tableros de mando, indicadores de desempeño, entre otros.
- Complejidad porque las distintas normas, reglas de dominio e incluso formatos de almacenamiento pueden existir con cada tipo de información.

Se deberán tomar decisiones todos los días para equilibrar las necesidades de las empresas a largo plazo, un movimiento de cualquiera de las cuatro dimensiones hará de la gestión de datos un proceso más complicado, la interacción de estas vistas permitirá realizar los análisis de los beneficios de hacer una elección, por ejemplo; la adición de una variedad de nuevos tipos de datos puede significar tratar con tecnologías para las cuales no existen formatos estándar y por lo tanto implican más tipos de datos complejos o un aumento en la velocidad con la que cambian los datos puede llevar a un crecimiento considerable en los volúmenes de datos (Findings, 2011).

Conforme cobra auge el desarrollo de sistemas de información para la gestión de redes inteligentes aumenta la necesidad de disponer de parámetros de calidad que permitan evaluarlos y seleccionarlos de acuerdo a los requisitos de calidad enumerados por los grupos de usuarios que participan en la cadena de negocio. En la siguiente sección se presenta el estado del arte por el medio del cual se describe la importancia del tema, los aportes realizados por diferentes autores y se obtienen algunos de los requisitos de calidad.

4. Estado del arte

Para el proceso de revisión sistemática de la literatura se tomó como referencia la metodología desarrollada por Kitchenham (2004) y el procedimiento propuesto en el Software Engineering Group, K. U. (2007). El uso de la metodología tiene presente la definición de criterios de búsqueda y análisis de la información recolectada, evita sesgos generados por los puntos de vista del autor.

La revisión sistemática de lectura tiene como objetivo principal identificar las investigaciones realizadas sobre el tema de interés, por medio de esta revisión es posible evaluar e interpretar que tan relevante son las investigaciones realizadas en el área de interés y que tanto aporte genera al trabajo a realizar (Kitchenham, 2004).

El tema de Redes Eléctricas Inteligentes es un tema que ha cobrado fuerza en los últimos años y varios países han invertido recursos en su investigación y desarrollo, existiendo muchas áreas de conocimiento con intereses particulares. Las plataformas transaccionales inteligentes o los sistemas de información utilizados en las redes inteligentes son el resultado del interés que se tiene en la actualidad para que los usuarios puedan tomar decisiones en tiempo real, son sistemas de información interactivos que proveen de información, herramientas o modelos para ayudar a los usuarios a tomar decisiones.

Es por esto surge la necesidad de realizar una revisión sistemática de la literatura, por medio de la cual se pretende acotar el volumen de bibliografía disponible, para detenerse en los principales y más importantes aportes en el área.

4.1 Implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

En la literatura se encuentra una investigación realizada por Perez Miranda (2008), en la cual se presenta una introducción a las tecnologías implementadas por redes eléctricas inteligentes. El trabajo presenta un estudio de las publicaciones en relación con el desarrollo y utilización de REI y las investigaciones actuales lideradas en todo el mundo, el estudio está centrado en generación distribuida y muestra el porcentaje de participación de esta en Colombia en comparación con otros países, además presenta como conclusión que la investigación y desarrollo en este tema se centra en los Estados Unidos y Europa (Perez Miranda, 2008).

A nivel de industria, actualmente existe una iniciativa de desarrollo hacia las nuevas tecnologías y tendencias mundiales llamada *Colombia Inteligente*, está estructurada como una propuesta de proyecto con el objetivo de establecer concertadamente con las principales empresas del sector eléctrico y demás actores relacionados, un marco de lineamientos, políticas y estrategias para el desarrollo óptimo de las redes inteligentes en el sistema eléctrico colombiano pero orientado a los retos del país considerando los beneficios y costos esperados, es una propuesta liderada en el sector por XM, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET), Comité Colombiano de la Comisión de Integración Energética Regional (COCIER), Consejo Nacional de Operación (CNO), Comité Asesor de Comercialización (CAC) y por el Centro de Investigación de las Comunicaciones (CINTEL) (Colombia Inteligente, 2012).

4.2 Motivaciones para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes

Ciertos autores convienen en que las redes inteligentes son un conjunto de todas las tecnologías, conceptos y enfoques que permiten que las divisiones de negocio de generación, transmisión y distribución estén totalmente integradas en el entorno de los procesos de negocio, los objetivos y necesidades de todos los interesados y apoyan el

intercambio eficiente de los datos, servicios y transacciones. Una red inteligente es por lo tanto, definida como una red que se adapta a una amplia variedad de opciones de generación, permitiendo a los consumidores interactuar con la energía de sistema de gestión para ajustar su consumo de energía y reducir sus costes energéticos. Una red inteligente es también un sistema de auto-sanación, pronostica amenaza de fracasos y toma las medidas correctivas para evitar o mitigar los problemas del sistema. Una red inteligente de tecnologías de información es utilizada para optimizar continuamente la utilización de sus activos de capital y reducir al mínimo los costos operativos y de mantenimiento.

Las redes inteligentes, además de permitir el control y la vigilancia se convierten en la convergencia de las tecnologías de información y tecnologías de comunicación con la ingeniería de sistemas de potencia, con la incorporación de redes inteligentes y el grado de interacción e integración con los sistemas, se hace posible nuevas formas para realizar transacciones de energía en todo el sistema. Los Operadores son conscientes de las dificultades de la transición de sus infraestructuras, organizaciones, y los procesos hacia la transición a Redes Eléctricas Inteligentes (Farhangi, 2010).

Se encontraron las siguientes razones por las cuales se deben implementar Redes Eléctricas Inteligentes:

- A partir de las diferentes capacidades de la red y los requisitos de los activos y las estructuras, se espera que el sistema actúe en función de la carga, las fuentes de generación, la geografía y la economía, entre otros factores (Farhangi, 2010).
- Los principales problemas podrían surgir cuando los sistemas dispares, funciones y componentes empiecen a ser integrados como parte de un comando de distribución y del sistema de control, el esfuerzo está en la integración de tecnologías y la aplicación de estándares para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes (Farhangi, 2010).

4.3 Casos de aplicación de implementación de REI

Diversas iniciativas en todo el mundo trabajan en el desarrollo de las redes eléctricas inteligentes para sustituir a las actuales. Entre sus ventajas se encuentra una mayor eficiencia, una reducción del gasto energético y la generalización de las energías renovables, lo que favorece al medio ambiente y a la economía. Así mismo, los consumidores saldrían también beneficiados, ya que podrían generar su propia energía en casa y ser parte activa de la red.

En Europa se ha invertido en la integración de nuevas fuentes de energía renovables, la aplicación de herramientas de predicción eólica, nuevas soluciones para comunicación en los sistemas de distribución, la integración de la generación dispersa en Dinamarca, los recursos energéticos distribuidos en Francia, y las nuevas fuentes renovables en Italia, métodos de predicción en Alemania, diseño de la red de comunicación a partir del uso de estándares internacionales como el Common Information Model CIM, el poder de la regulación y el diseño de posibles arquitecturas tecnológicas con un visión de las Redes del Futuro (Hammons, 2006).

En Japón se ha estudiado la aplicación de energías renovables como una alternativa atractiva para el suministro de energía, en cuanto a su uso práctico existe un conjunto de requisitos:

- El desarrollo de un conjunto de políticas para la promoción de la energía generada a partir de energías renovables.
- Evaluar la influencia de la generación distribuida de energía renovable en la calidad y la fiabilidad de la electricidad.
- Requisitos tecnológicos para la ingeniería de interconexión, indispensable para mejorar el rendimiento de todo el sistema (Arai, J., Iba, K., Funabashi, T., Nakanishi, Y., Koyanagi, K., Yokoyama, 2008).

En el marco de la progresiva implantación de la red eléctrica del futuro y del proyecto STAR, España a través de IBERDROLA (primer grupo energético nacional) comenzó el

despliegue de su primera Red Eléctrica Inteligente a partir de la renovación de los contadores tradicionales por los nuevos equipos y también el tipo de tecnología se sus centros de transformación. Entre las principales ventajas de las Redes Eléctricas Inteligentes, IBERDROLA destaca la integración de generación distribuida, la posibilidad de implantar masivamente el vehículo eléctrico y la mejora en la eficiencia del consumo, además la prestación de servicios a distancia, como la lectura en tiempo real, la tramitación de las altas o bajas de los contratos o la modificación de la potencia contratada. El operador de red (OR) podrá supervisar lo que está ocurriendo en la red eléctrica y detectar cualquier tipo de anomalía: si la tensión es o no correcta, si la potencia está equilibrada o si hay pérdidas, mejorando la calidad del suministro. Además en España, el proyecto piloto Smartcity instala en Málaga desde el 2009 hasta 2012 un sistema inteligente energético, sus responsables, la consejería de Andalucía y la empresa Endesa, prevén invertir 30 millones de euros. (IBERDROLA, 2012)

Estados Unidos es uno de los países más interesados en las redes eléctricas inteligentes su nuevo Gobierno ha incluido entre sus medidas de estímulo para la economía un presupuesto de unos 8.500 millones de euros para desarrollarlas. En un estudio de Peterson Institute for International Economics y el World Resources Institute se estima que este tipo de iniciativas reducirían el uso de combustibles fósiles, ahorrarían a la economía de Estados Unidos una media de 350 millones de euros al año por cada 775 millones invertidos, crearían 30.000 puestos de trabajo al año y reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero en unas 592.600 toneladas entre 2012 y 2020. La principal compañía eléctrica de Colorado Xcel Energy construye en Boulder la primera red eléctrica inteligente del mundo para una ciudad entera, su objetivo es conectar a 35.000 hogares y empresas con sistemas automatizados y de comunicación bidireccional y aprovechar todo tipo de energías renovables, los dos proveedores de electricidad de Massachusetts trabajan en varios programas piloto en la altamente poblada región del este, Progress Energy y la Universidad de Florida Sur colaboran en un proyecto de unos 12 millones de euros para equipar a unos 5.000 hogares con diversos sistemas inteligentes (Fernández Muerza, 2009).

Además de Estados Unidos, otros países también desarrollan iniciativas de este tipo. En Australia, la empresa EnergyAustralia, con la colaboración de IBM, despliega desde 2006 una red inteligente con una inversión inicial de unos 130 millones de euros (Fernández

Muerza, 2009). Actualmente EnergyAustralia ofrece un portafolio de servicios para pequeñas empresas que cambian y difieren el uso regular de gas y electricidad; el plan varía según el estado donde se encuentre el cliente: Victoria, New South Wales, Queensland o South Australia. Esta empresa cuenta con la opción de adicionar energía procedente de fuentes renovables acreditadas por el gobierno (como la solar, eólica, hidráulica y biomasa) a la cuenta del cliente a partir de la opción PureEnergy y ofrece instalación de generación de energía solar en pequeños negocios que cumplan con las características ideales para ello. La fidelización de los clientes a partir de los descuentos promovidos por las opciones de planes de energía limpia ha posicionado a EnergyAustralia como uno de los mayores y más experimentadas minoristas de energía en Australia, sirviendo a más de 2,5 millones de hogares y empresas en todo el país (EnergyAustralia, 2013).

En la Unión Europea están en marcha diversos proyectos internacionales, como Der-Lab, en el que participan nueve centros tecnológicos, entre ellos el español Tecnalía. Por su parte, algunas ciudades también cuentan con proyectos de implantación de estas redes. Por ejemplo, el Ayuntamiento de Amsterdam, en colaboración con varias empresas, lleva a cabo un plan de transformación ecológica para los próximos años, en la que incluye coches eléctricos, paneles solares o una red eléctrica inteligente. En este último caso, ya están haciendo pruebas en la avenida comercial Utrecht, y se espera gastar 100 millones de euros anuales hasta 2016 para transformar toda la red urbana (Fernández Muerza, 2009).

También en los países bajos se ha intentado incorporar el concepto de medición inteligente, sin embargo una creciente conciencia sobre la privacidad y la seguridad ha impulsado un amplio debate sobre la recopilación, uso de los datos de medición detallados y la funcionalidad de conmutación remota del medidor, la crítica llevó a la retirada del proyecto de ley inicial en el Senado. Los OR en dialogo con los interesados desarrollaron un conjunto de directrices con el fin de proteger la privacidad de los consumidores y la seguridad de la infraestructura, las principales conclusiones que aplican al marco son (European Commission, 2011):

- Definir de forma explícita cómo los objetivos de medición inteligente, las tareas y necesidades de datos están vinculados.
- Incorporar consideraciones de privacidad y seguridad desde el principio. La arquitectura de seguridad y privacidad tienen que ser investigadas y desarrolladas.
- Ser conscientes que los datos que se capturan pueden vincularse a una persona y por lo tanto son personales.
- Asegurarse que las directrices son lo suficientemente flexible para ser aplicables a los sistemas actuales, los medidores existentes y futuros desarrollos.
- Asegurarse que la aplicación de la norma es flexible y además, tiene de forma clara los requisitos distintivos (qué hacer), medidas (cómo hacerlo), y dar espacio para la gestión de riesgos, por ejemplo, al permitir que cumplir o explicar.
- Hacer relevante en la legislación parte de la privacidad de los requisitos y establecer un código de conducta.
- Asegurarse que todos los datos están protegidos por todas las partes en la infraestructura (encriptación de datos a partir de protocolos)
- Prestar atención a las medidas organizativas, gestión de claves y limitación de acceso a las funcionalidades críticas.
- Involucrar a los expertos y asegurarse de que existe suficiente comunicación entre los grupos que se ocupan de los objetivos de la privacidad, seguridad, funcionalidad y de negocios.

4.4 Tecnologías implementadas en Redes Eléctricas Inteligentes

La red eléctrica es ahora el centro de una variedad de innovaciones tecnológicas, influidas por factores económicos, políticos y geográficos (Farhangi, 2010), pueden sobresalir las siguientes tecnologías:

- Sistema de información Geográfica (GIS)
- Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)
- Sistema de gestión de cortes (OMS)
- Sistema de adquisición, supervisión y control de datos (SCADA)

- Sistemas de Gestión de Demanda (DMS)
- Automatización de distribución (DA)

Las anteriores tecnologías han tenido avances y pruebas a través de empresas que se encargan de fabricar hardware y software para medidores inteligentes y otras que se encargan de realizar experimentos con el fin de medir la conservación de energía, cuantificar los ahorros de costos, probar funcionalidades de las REI, como el monitoreo y la organización del uso de energía a través de un portal en Internet, telegestores de la oferta (lectura remota del consumo), estructura multi-tarifa, desconexión remota, monitoreo de la calidad del servicio, detección defraudados, bancos de energía como almacenamiento de energía para demanda pico, centros de despacho y equipos de medición para control del intercambio de energía entre la micro-red y la red de distribución (Inga Ortega, 2011).

Además de estas tecnologías, se advierte el uso de estándares internacionales como: IEC 62351 dentro operaciones, IEC 61850 a nivel de distribución para automatizaciones y la IEC 61968 como interfaz en DMS para manejo de información, IEC 61970 y IEC 60870 para la distribución y la medición inteligente (Inga Ortega, 2011).

El tema de investigación es la evaluación de las plataformas transaccionales en la implementación de REI en el mercado eléctrico colombiano y para poder lograr esto se definieron los siguientes objetivos y para cumplir dichos objetivos en el Capítulo siguiente se presenta la metodología utilizada.

4.5 Objetivos

4.5.1 Objetivo General

Elaborar una evaluación de las diferentes tecnologías para las plataformas transaccionales inteligentes del operador y administrador del Sistema Interconectado Nacional SIN que pudieran usarse en la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia.

4.5.2 Objetivos Específicos

- Identificar las tecnologías aplicables a plataformas transaccionales inteligentes en la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes.
- Definir los criterios bajo los cuales se evaluarán las diferentes tecnologías usadas en plataformas transaccionales inteligentes y caracterizar su aplicación.
- Revisar y elegir una metodología para la realización de un benchmark sobre plataformas tecnológicas.
- Proponer un conjunto de tecnologías aplicables a la implementación de plataformas transaccionales inteligentes en Colombia.

5. Metodología

Uno de los objetivos de esta investigación es analizar si se han realizado estudios comparativos para la caracterización de un conjunto de sistemas de información aplicables a las plataformas transaccionales inteligentes en las Redes Eléctricas Inteligentes, actualmente no existe una iniciativa que permita desarrollar un benchmark de sistemas de información en REI, sin embargo si se han realizado estos análisis en otras industrias, para lo cual se propone someter a estudio para las REI algunos aspectos como:

- Tendencias tecnológicas (gestión de datos, análisis, planificación, aplicaciones móviles, visualización)
- Adaptación de las usuarios en relación a la evolución de las tecnologías
- Metodologías y arquitecturas de desarrollo
- Importancia de las Telecomunicaciones
- Flujos de trabajo
- Sistemas de información geográficos
- Calidad en la función de sistemas de información

En otras industrias se han encontrado problemas significativos en la identificación de métricas apropiadas de benchmark, lo que podría limitar notoriamente los resultados obtenidos.

En Estados Unidos la empresa ESRI (proveedor de herramientas geográficas) realizó recientemente un benchmark sobre el estado de preparación de los proveedores de servicios públicos eléctricos para la introducción a las Redes Eléctricas Inteligentes y llegó a la conclusión que antes de su aplicación, en la industria de servicios eléctricos es necesario hacer frente a algunos temas ya que la incapacidad de las empresas de

servicios públicos para proporcionar datos precisos para el seguimiento y análisis anularía el concepto de redes inteligentes (Swamy, 2010)

- Un trabajo fuerte tendrá que hacerse antes que la comunicación y la tecnología informática se puedan añadir a las redes eléctricas
- Las empresas de servicios públicos quedan atrás en la integración de los datos del cliente y la infraestructura, necesitan actualizar y corregir esta brecha.
- El estudio encontró que al menos el 71% de los participantes encuentra los sistemas de información geográficos (GIS) como estratégicos para las REI, mientras que el 29% cree que no juega un papel importante.
- El estudio informó una demora de casi 90 días antes de que los datos fueran trasladados al GIS, se sospecha de la exactitud de los datos. Las empresas tuvieron que atender esta laguna porque el GIS se considera esencial para las necesidades cruciales de las REI.
- El GIS es importante no sólo en la recopilación y actualización de los datos, también es importante en el manejo y la instalación de sensores inteligentes, y al momento de analizar el consumo de energía y la incorporación de fuentes de energía renovables.

Otros estudios han analizado las Redes Eléctricas Inteligentes desde la perspectiva de distintas industrias, por ejemplo la banca electrónica que desde el inicio representó riesgo para los bancos y llevó al desarrollo de un conjunto de principios de gestión de riesgo: autenticación de servicios, control de acceso, confidencialidad, integridad y disponibilidad, son algunos de los componentes que debieron reforzar. Los resultados claves de esta industria para Redes Eléctricas Inteligentes pueden agruparse en dos bloques (European Commission, 2011):

- La seguridad de la red es acerca de la gestión de riesgos y la aplicación de medidas de respuesta.
- La política de privacidad debe ser considerada en la fase de diseño, los consumidores revelaran sus hábitos de consumo, asumiendo esto como una posición necesaria para los beneficios potenciales de las redes inteligentes y deberá buscarse el medio para garantizar la privacidad de la información.

Las telecomunicaciones, por su parte, han experimentado esfuerzos en estandarizar su industria, además son menos vulnerables a los cambios por su diseño abierto, sin embargo, han presentado amenazas que han influido en el aspecto de seguridad: la denegación o interrupción del servicio, el monitoreo no autorizado y la divulgación de información confidencial, modificación no autorizada de los usuarios, la red y sus servicios, el fraude. Este punto refuerza la necesidad de integrar las consideraciones de privacidad, junto con las de seguridad en la fase de diseño de redes inteligentes (European Commission, 2011).

El recaudo automático para transporte público es un dominio de aplicación de las tecnologías sin contacto que se han introducido en los últimos años y donde la privacidad y la seguridad de los datos llegaron a ser prominentes, en las Redes Eléctricas Inteligentes los medidores inteligentes que se proporcionen a los usuarios finales deberán garantizar esquemas de seguridad, privacidad, servicio no interrumpido. Es posible derivar de lo anterior soluciones de negocios futuros (European Commission, 2011).

Los sistemas de tarificación vial y diseños de ITS, presentan similitudes con respecto a la necesidad de cambiar el comportamiento de los consumidores, el uso de un medidor, la transferencia de datos a un sistema de procesamiento central, seguridad y privacidad de los datos. En el diseño de Redes Eléctricas Inteligentes deben adoptarse soluciones tecnológicas innovadoras que sean aceptables tanto desde el punto de vista empresarial como del usuario final (European Commission, 2011).

Para caracterizar las diferentes plataformas transaccionales inteligentes inicialmente se identificaron las soluciones de mercados de energía disponibles para la comercialización por fabricantes que proveen soluciones para REI, se identificaron soluciones fuertes en:

- Sistemas de Gestión de Energía
- Sistemas de Gestión de Mercados
- Sistemas de Gestión de activos
- Sistemas de Gestión de Respuesta a la Demanda
- Sistemas de Información Geográfica

- Soluciones de Inteligencia de negocios

Una vez identificadas estas soluciones se comienza la definición de los atributos de calidad; entendiendo como atributo de calidad cada uno de los requerimientos que especifican criterios para juzgar en la operación de un sistema, es decir aspectos relevantes en el contexto de negocio ortogonales a la funcionalidad del sistema y para ello se sigue la metodología ATAM Architecture Tradeoff Analysis Method propuesto por el SEI Software Engineering Institute de la Universidad Carnegie Mellon el cual se describe a continuación (SEI, 2013; Bass, 2010):

1. *Identificar impulsores de negocio.* Los objetivos de negocio del Operador y Administrador del SIN están motivando el esfuerzo en el desarrollo y la implementación de sistemas, y por lo tanto estos impulsores son los conductores arquitectónicos primarios; por ejemplo, en REI se requiere que los sistemas tengan una alta disponibilidad y una alta seguridad para soportar el dinamismo de la oferta y la demanda y que a la vez sean fáciles de usar para garantizar las señales del mercado a tiempo para los participantes del mercado.
2. *Arquitectura actual.* Los sistemas actuales abordan una serie de escenarios de calidad que deben ser reforzados a partir de la adopción de nuevos sistemas, para ello estos mismos escenarios son evaluados en los nuevos sistemas con el fin de analizar si se cumplen satisfactoriamente.
3. *Generar atributos de calidad.* Para evaluar los anteriores drivers de arquitectura se plantean escenarios que permiten una mejor caracterización en cuanto a la respuesta esperada del sistema según el estímulo, el comportamiento y la priorización.
4. *Dar prioridad a los escenarios.* Un conjunto de escenarios fue identificado y debe priorizarse, para ello se categoriza el escenario como alto, medio o bajo según el impacto de dicho escenario en el negocio y si dicho atributo de calidad es considerado por los fabricantes dentro del conjunto de soluciones ofrecidas.

5. *Evaluar escenarios en los sistemas para negocios de utilidad.* Se evalúan dichos escenarios en la operación de los sistemas, gran parte de esta revisión se apoya en la documentación técnica de los sistemas.
6. *Presentar resultados.* Sobre la base de la información recogida a través del método ATAM (enfoques, hipótesis, preguntas atributos específicos, el árbol de utilidad, puntos de sensibilidad, compensaciones), se presentan los resultados de la caracterización de los sistemas de información.

Luego de detallar la metodología desarrollada para la elaboración de la presente investigación, se describe en el capítulo siguiente el método adoptado para evaluar el conjunto de plataformas transaccionales del operador y administrador del Sistema Interconectado Nacional SIN que pudieran usarse en la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia.

6. Evaluación de plataformas transaccionales

Actualmente las empresas requieren sistemas que sean modificables, con un buen rendimiento, seguros, interoperables, portátil y fiables; sistemas más complejos que permitan desarrollar una infraestructura elástica, escalable y disponible. Para ello se requiere la alineación entre los sistemas y los modelos de negocio que soportan; el SEI Software Engineering Institute de la Universidad Carnegie Mellon propone a través del método ATAM Architecture Tradeoff Analysis Method recoger los impulsores del negocio, para extraer los atributos de calidad y crear los análisis de ventajas y desventajas, puntos de sensibilidad y riesgo o no riesgo que permitirán discernir soluciones apropiadas a partir de un enfoque estructurado de las características principales del sistema (Bass, 2010; Lattanze, 2009).

El objetivo al evaluar el conjunto de plataformas transaccionales o sistemas de información en la implementación de redes inteligentes para el Operador y Administrador del Sistema Interconectado Nacional SIN, es poder tener sistemas que soporten el contexto empresarial, para ello es necesario reconocer las necesidades que deben estar cubiertas por estos sistemas y asegurarse que estas funcionalidades sean compatibles con los atributos de calidad o dimensiones sugeridas para la gestión de información en las redes eléctricas inteligentes. Estos requisitos son básicamente los criterios utilizados para evaluar las decisiones de adopción de estas plataformas.

Conocer la funcionalidad no proporciona total certeza, de si una decisión es buena o no, desde el inicio los requisitos funcionales de alto nivel, constituyen restricciones técnicas que crean limitantes. Los drivers de la arquitectura incluidos en la evaluación serán entonces: requisitos funcionales, atributos de calidad y restricciones (SEI, 2013).

Para evaluar los anteriores drivers de arquitectura se plantearan escenarios que permitan una mejor caracterización en cuanto a la respuesta esperada del sistema según el estímulo y el comportamiento (Bass, 2010; Lattanze, 2009).

En la Tabla 6-1 se presentan los escenarios de calidad a evaluar en los sistemas de información o plataformas transaccionales candidatos a adoptarse en la implementación de redes inteligentes para el Sistema Interconectado Nacional SIN.

Tabla 6-1. Escenarios de calidad (Kazman, Klein, & Clements, 2000; Bass, 2010)

Título del escenario	ID del escenario	Descripción del atributo de calidad	Fuente del estímulo	Estímulo	Condiciones del ambiente	Elementos del sistema	Respuesta del sistema	Medidas significativas
Disponibilidad	1	Preocupación porque un sistema esté listo para la utilización, tiempo promedio entre falla, qué hará el sistema en respuesta a una falla, período de tiempo que se demora en restaurarse el sistema	Externo	Sincronización	Carga	Almacenamiento, sistemas, procesadores, software, hardware	Detecta y notifica	Intervalos de tiempo críticos donde el sistema debe estar disponible
Modificabilidad	2	Preocupación por el costo del cambio y se refiere a la facilidad con que un sistema de software puede adaptarse a los cambios	Usuario final, Sistema administrador	Modificar funcionalidad o atributo de calidad	Tiempo de ejecución, tiempo de compilación	Sistema, hardware, software	Localizar sitio para ser modificado, hacer modificaciones sin efectos secundarios	Costo en términos de afectación, componentes, esfuerzo y dinero
Desempeño	3	Se preocupa por la latencia, cuántas transacciones pueden hacerse en determinado tiempo. Tiempo que tarda el sistema en responder cuando ocurre un evento	Interna, externa, software	Periódico, esporádico, tiempo de llegada	Funcionamiento, prueba, desarrollo, carga	Sistema, hardware, software	Estimulo de los procesos	Latencia, plazo, pérdida de datos.
Seguridad	4	La capacidad del sistema para resistir los intentos no autorizados para utilizar los datos o servicios, acceso de usuarios ilegítimos	Una entidad desconocida que se identifica correctamente/ incorrecta, tiene acceso a los recursos limitados	Acceso a servicios, actualización/borrado de datos	En línea / fuera de línea, conectado / desconectado	Sistemas, servicios, datos	Autenticación de usuarios, ocultar la identidad del usuario	Tiempo / esfuerzo, recursos requeridos para eludir las medidas con sucesos.

Portabilidad	6	Capacidad del sistema de poder ser reutilizado en distintos entornos o contextos	Interna, externa, software	Reutilizar servicios	Carga	Sistemas, servicios	Aislar dependencia del sistema	Tiempo / esfuerzo, recursos requeridos para reutilizar el servicio. Número de consumidores y/o servicios pares que actualmente consumen el servicio
Usabilidad	7	Facilidad de los usuarios para interactuar con el sistema	Usuario final, Sistema administrador	Capacidades, experiencia y habilidades de los usuarios del sistema	Funcionamiento	Consultas predefinidas, Filtros / Reportes / Análisis de información	Interfaces livianas	Tipos de usuarios (roles y perfiles de usuarios)
Interoperabilidad	8	Habilidad de que diversos componentes de un sistema o diferentes sistemas funcionen correctamente al intercambiar información.	Interna, externa, software	Sincronización	Carga	Sistemas, servicios, datos, protocolos	Ambientes organizados con servicios interconectados que pueden ser compuestos e interoperables.	Intercambio y uso de información interna y externamente.

Para la evaluación de la arquitectura de los sistemas es importante conocer las prioridades a las que debe responder la línea base del sistema, cada decisión tomada en beneficio de algún atributo de calidad puede simultáneamente incidir positiva o negativamente en cualquier otro, por eso establecer ciertas prioridades contribuye a la obtención de sistemas con calidad (SEI, 2013; Bass, 2010).

Acotando la definición de los atributos de calidad y siguiendo el método ATAM se generará el árbol de atributos de utilidad el cual se puede observar en la Tabla 6-2, con el fin de especificar su priorización de acuerdo a las necesidades de negocio y su dificultad de desarrollo.

Dicho trabajo se hace con base al árbol de utilidad de atributos de calidad. La priorización se llevará a cabo con los indicadores alto, medio y bajo.

Tabla 6-2. Árbol de utilidad de los atributos de calidad

Generación del árbol de utilidad de los atributos de calidad		
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Disponibilidad	Prioridad
Escenarios	1. Los sistemas deberán estar disponibles el 99.99% de tiempo al año (52.56 min fuera) para la recepción y procesamiento de datos	Alto
	2. Los sistemas deben tener mecanismos de tolerancia a fallas en términos de infraestructura y transacciones, para entrar nuevamente en funcionamiento en menos 5 minutos en caso de una falla.	Alto
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Modificabilidad	Prioridad
Escenarios	El sistema debe contar con un motor de reglas de negocio que permita realizar cambios regulatorios de forma ágil y segura. Se pueden adaptar fácilmente los cambios sin impactar la funcionalidad del sistema.	Alto
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Desempeño	Prioridad
Escenarios	1. Escalabilidad. El sistema debe poder escalar para atender 10000 transacciones concurrentes en ráfagas de 4 segundos. Esta capacidad responde a la necesidad de suplir la cantidad de dispositivos interrogados para obtener señales que permitan procesar información de la operación y administración del SIN.	Alto

	<p>2. Latencia. El sistema debe poder responder una señal de alarma en 500 milisegundos alertando a los respectivos usuarios</p> <p>Ese tiempo de conmutación se medirá desde que la señal se dispara hasta que actúa el sistema.</p>	Medio
	<p>3. Latencia. El tiempo total transcurrido desde que cambia alguna configuración en el sistema (aumenta o disminuye la carga, la generación distribuida) hasta que el sistema se adapta a dicha configuración, debe realizarse en tiempos de conmutación de nanosegundos</p>	Medio
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Seguridad	Prioridad
Escenarios	1. El sistema debe contar con un módulo de autorización el cuál permita agregar usuarios y asociarlos a un rol determinado.	Medio
	1. El sistema debe contar con un módulo de autenticación el cual permita identificar el usuario que ha ingresado y reconozca que tiene autorizado hacer en el sistema	Medio
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Portabilidad	Prioridad
Escenarios	1. El sistema expone servicios que pueden ser reutilizados en otros sistemas	Alto
	2. El sistema expone servicios B2B que permitan el intercambio de información bidireccional.	Alto
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Usabilidad	Prioridad
Escenarios	1. El sistema debe consultarse de manera ágil e intuitiva. El sistema, en particular su componente web de consultas, debe ofrecer mecanismos de ayuda tales como, video tutoriales y tips de uso.	Alto
<i>Atributo de calidad concerniente</i>	Interoperabilidad	Prioridad
Escenarios	1. El sistema debe habilitar el intercambio de información a partir de la implementación de estándares internacionales IEC.	Alto
	2. El componente web de consultas del sistema debe poder consultarse en dispositivos móviles (tablets, smartphone, etc)	Bajo

Los atributos de calidad que componen el sistema de árbol de utilidad son especificados hasta el nivel de los escenarios, obtenidos con el estímulo y la respuesta, y priorizados (Larisa, Gonzalez & Martin, Roberkys & Rivero, 2012). Con esta metodología se puede evaluar si los sistemas de información a comparar, respaldan los requisitos funcionales y no funcionales que le fueron atribuidos, además de decidir las mejores opciones entre los sistemas candidatos y cuál software, de varios posibles, respalda mejor los requisitos de un cliente (Bass, 2010).

En la Tabla 6-3 y en la Tabla 6-4 se presentan algunas restricciones técnicas y/o de negocio respectivamente, que especifican las limitaciones que deben considerarse en el sistema evaluado

Tabla 6-3. Restricciones Técnicas

ID Restricción: R-1	Nombre: Arquitectura del sistema	Tipo
Descripción	La arquitectura del sistema debe estar orientada a servicios y debe soportarse en un ESB Enterprise service bus	Tecnología (x) Negocio ()
Establecida por	Tecnología	
Alternativas	El uso de servicios B2B en determinados módulos	
Observaciones	Ninguna	

Tabla 6-4. Restricciones de negocio

ID Restricción: R-2	Nombre: Sistemas modulares	Tipo
Descripción	Los sistemas evaluados podrán cumplir con al menos la totalidad de una funcionalidad y tener parcialmente implementadas otras p.e. Energy Management System con funciones parciales de Demand Response Management System	Tecnología (x) Negocio (x)
Establecida por	Negocio y Tecnología	
Alternativas	Las tendencias en el mercado incluyen soluciones fuertes en un tema específico pero igualmente desarrollan otros	
Observaciones	Ninguna	

Una vez construidos los escenarios de los atributos de calidad e identificadas las restricciones tecnológicas y de negocio, se procede a evaluar estos escenarios en los sistemas de información estratégicos en el entorno actual de negocios de utilidad.

En la Tabla 6-5 se presenta el nombre del software y el fabricante, descripción funcional, categorías que desarrolla y los servicios que el software presta en las empresas de forma completa o parcial.

Tabla 6-5. Plataformas Transaccionales y Características.

#	Software	Fabricante	Descripción	Categoría	Servicio	Fuente
1	Energy Management System Software - EMS™	etap® Thinking Power	Es una suite de herramientas de software de gestión de energía utilizadas para monitorear, controlar y optimizar el rendimiento de los sistemas de generación y transmisión. Este sistema está diseñado para reducir el consumo de energía, mejorar la utilización del sistema, aumentar la fiabilidad y predecir el rendimiento del sistema eléctrico, así como optimizar el uso de energía para reducir costos	<ul style="list-style-type: none"> * Automatización de control de generación * Despacho Económico * Supervisión y Control * Intercambio de programación * Gestión de las reservas 	EMS Completo MMS Parcial	(ETAP Thinking Power, 2013)
2	e-terramarket Market Management System (MMS)	ALSTOM	Es una solución líder para los mercados liberalizados a nivel mundial, sirve para intercambios de energía, operadores independientes del sistema, operadores de transmisión regional, transmisores. Es una solución fiable y escalable que permite el cumplimiento de los rápidos cambios normativos en evolución y transparencia de estrictos requisitos de auditoría. Técnicas innovadoras de optimización Optimización robusta Interfaz de usuario Estándar CIM Arquitectura que soporta un producto basado módulos, reutilizables de fácil implementación para cumplir ajustados plazos reglamentarios.	<ul style="list-style-type: none"> * Facturación de los mercados de energía * Transacciones de transmisión * Derivados * Subastas * Despacho * Carga de pronósticos * Monitoreo y supervisión del mercado * Respuesta a la demanda 	MMS Completo	(ALSTOM, 2013a)
3	DRBizNet Demand Response Management System	ALSTOM UISOL Utility Integration Solutions	Es un producto totalmente integrado para la nueva red del siglo XXI. La red inteligente y su tecnología relacionada pueden ser accionadas basándose en el precio de la electricidad. DRBizNet incorpora el modelado de recursos dinámicos, despacho optimizado, seguimiento en tiempo real de los recursos. DRBizNet integra y automatiza el intercambio de la respuesta de la demanda (DR) de datos y eventos relacionados a través de su utilidad, incluida la conexión de Medición de Infraestructura Avanzada (AMI), Medidor de Gestión de Datos (MDM), el Sistema de Información al Cliente (CIS), información meteorológica, múltiples sistemas de gestión de control de carga, SCADA, los asentamientos y los sistemas de telefonía.	<ul style="list-style-type: none"> * Demand Response Management System * AMI * MDM * CIS * SCADA 	DRMS Completo	(ALSTOM, 2013b)

4	Network Manager MMS, SCADA, EMS, GMS and DMS	ABB	<p>Network Manager es la solución de centro de control de transmisión (SCADA / EMS incluyendo WAMS, Wide Area Monitoring System), generación (SCADA / GMS), distribución (SCADA / DMS y DMS stand-alone) y la administración del mercado central (MMS). Es una solución de monitoreo y control de los sistemas de energía, que permite optimizar recursos y proporcionar diagnóstico de fallos y gestión de apagones. También proporciona funciones de gestión del mercado para el comercio de energía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * SCADA * Operaciones de la red de transmisión SCADA / EMS * Operaciones de generación SCADA / GMS * Operaciones de distribución y gestión de la red falla SCADA / DMS / OMS * Gestión del Mercado MMS * Gestión del portafolio de energía * Operaciones comerciales * Adquisiciones EAM, SCM * Fuerza Móvil EWFM * Atención al cliente CIS * Finanzas y contabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> * SCADA / EMS / GMS/ DMS Completo * MMS Parcial 	(ABB, 2013a, 2013b, 2013c)
5	Luxoft Energy Management Systems (EMS)DMMessengerDMFusion Smart Grid	LUXOFT	<p>Luxoft proporciona utilidades y servicios en el diseño y desarrollo de complejos módulos de sistemas EMS. Son soluciones de gestión de análisis, integración de de diferentes estándares y protocolos a la vanguardia de la normalización del mercado de servicios públicos y la convergencia de los sistemas de gestión energética.Soluciones que proporcionan escalabilidad, informática fiable, distribuida con un ahorro de costes significativo, seguridad y disponibilidad, estrategias de recuperación y capacidad de visualización alta (usabilidad).Desarrollo e integración de módulos para la gestión de medición de datos, plataformas de gestión de la demanda, sistemas de gestión de distribución, automatización de subestaciones; son algunas de las plataformas completas, diseñadas y especificadas para el mercado de la energía y servicios públicos para potenciar las soluciones de redes inteligentes.DMMessenger: Procesa millones de lecturas de los contadores y de comunicarse con los consumidores seleccionados, con la participación en programas de ahorro de energía.DMFusion Smart Grid: Software de respuesta a la demanda orientado a servicios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * SCADA * Sistemas de Gestión de Distribución * Automatización de Subestaciones * Gestión de Medición de Datos 	<ul style="list-style-type: none"> * GIS DMS/OMS and MDM. Completo *Asset management product. Parcial * Metering Data in Cloud. Completo * BI (dashboards, KPI's). Completo 	(LUXOFT, 2013)

46 Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

6	XA/21* SCADA (EMS)	General GE	Electry	<p>XA/21* SCADA es la solución para la optimización de la operación de activos de generación y transmisión con una infraestructura de tecnologías de información fiable, adaptable, segura y de alto desempeño. Es un sistema de control distribuido que proporciona servicios de electricidad en todo el mundo con la capacidad de monitorear, controlar y optimizar la operación de los activos geográficamente dispersos en tiempo real. Adquisición y control de datos, enlace de datos, base de datos y EnterNet Suite módulos de interfaz gráfica de usuario, proporcionan el marco básico para la operación del día a día y el mantenimiento de la red de transmisión y generación</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Adquisición y control de datos SCADA Completo * Despacho y control de generación * Gestión de transmisión de seguridad * Estabilización de tensión y voltaje * Unidad de Compromiso y Evaluación de Transacción, comparación de la capacidad para determinar los impactos económicos y de seguridad incrementales asociados con multi-hora y las transacciones de energía multi-bloque. 	<ul style="list-style-type: none"> * Soporte a decisiones * Enlace de datos Completo * Interfaz gráfica de usuarios Completo * Base de datos, repositorio de datos de misión crítica Completo * Desconexión de carga y Restauración Completo * Estado de la red del procesador Completo * Control secuencial Completo * Conmutación de gestión de órdenes Completo * CRDB reproducción reconstrucción de secuencias de eventos pasados Completo <p>(GE Energy, 2013a)</p>
---	--------------------	---------------	---------	---	---	--

7	Grid IQ Solution (Asset Management)	General GE	Electry	<p>Grid IQ Solution y su paquete avanzado está diseñado para dar a los servicios públicos más visibilidad y control de los activos, la red y los procesos. Incluye la Suite GE Smallworld Asset Management, que diseña y modela de manera eficiente redes de infraestructura complejas y apoya los procesos del ciclo de vida de gestión de activos. También se incluyen capacidades móviles para proporcionar datos GIS, mapa y facilidad de datos hacia el campo de salida. Disponibilidad de la información, usabilidad de la herramienta, confiabilidad de la información y escalabilidad son beneficios que presta la herramienta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Medición y servicios prepago * Infraestructura de medición avanzada * Sistemas de información georeferenciados GIS * Detección de Interrupción y Respuesta de Voz Interactiva (IVR) * Portal web del Consumidor * Gestión de Activos 	<ul style="list-style-type: none"> * Servicios del medidor (eléctrica-Agua-Gas) Completo * Detección de Interrupciones Completo * GIS Completo * Facturación de electricidad prepago Completo * Portal web del Consumidor Completo * Asset Management Suite * Móvil. Completo <p>(GE Energy, 2013b, 2013c)</p>
8	Smallworld Intelligence Intelligence)	General GE	Territorial (Business Electry	<p>Esta solución de BI permite mejorar la fiabilidad de la red a través del análisis de los activos y la infraestructura logrando predecir fallas en la red y programas de reparación, hacer análisis detallado de clientes, información demográfica y financiera, identificar oportunidades de mercado que impulsan las ventas y aumentan los beneficios, controlar los costos a través de mayores eficiencias operativas</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Business Intelligence BI * Sistemas de información georeferenciados GIS * Gestión de Activos 	<ul style="list-style-type: none"> * Análisis espacial de los diversos datos Completo * Consultas sofisticadas y herramientas de análisis Completo * Tendencia y Visualización Completo * Acceso rápido y fácil. Completo * Informes Fácil y Presentación Completo * Personalización y extensibilidad Completo * Retorno de la Inversión maximizada Completo <p>(GE Energy, 2013d)</p>

48 Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

9	PowerOnTM Demand Management System Precision Response	General GE	Electry	PowerOnTM ofrece una amplia plataforma para las capacidades de gestión de la demanda, contiene los flujos de trabajo, modelos de datos, programación y herramientas de gestión de activos, proporciona el nivel de precisión en la predicción, despacho y medición que permiten la optimización de los recursos para el apoyo operativo.	* DRMS * Gestión de activos * Comercialización de energía (Gestión de contratos, Pronósticos, Dispositivos)	* Sistemas de utilidad de operación (EMS, ADMS, DMS, GIS) Completo * Sistemas de facturación y clientes (Facturación, CIS, MDMS) Completo	(GE Energy, 2013e)
10	GE SmallworldTM gestión de infraestructura geoespacial	General GE	Electry	GE SmallworldTM un sistema avanzado y líder en la gestión de infraestructura geoespacial existente en el mercado, está diseñado para ser el repositorio principal de datos geoespaciales de una empresa, sin importar su volumen o complejidad. Tiene capacidad para integrarse con tecnologías digitales y diferentes sistemas de información de las empresas: los sistemas de gestión de clientes, gestión de datos de infraestructura o redes de distribución, gestión de obras u órdenes de trabajo, etc. Gestiona el ciclo de vida completo de la infraestructura geoespacial y permite el acceso a datos actualizados para todas las personas y sistemas de una organización.	* Business Intelligence BI * Sistemas de información georeferenciados GIS	* Sistemas de información georeferenciados GIS. Completo	(GE Energy, 2013f)
11	Smallworld Intelligence™ Spatial	General GE	Electry	Smallworld Spatial Intelligence™ es la solución de Business Intelligence que ofrece soporte y análisis de decisiones, herramientas para empresas que diseñan y gestionan las redes. Permite a los usuarios con capacidad de informar las tendencias y patrones, estudiar el cambio y descubrir la causa y el efecto. Es la herramienta ideal para supervisar el rendimiento de los indicadores claves, objetivos y realizar informes normativos eficientes para la gestión de activos y la toma de decisiones.	* Business Intelligence BI * Gestión de activos	* Business Intelligence BI. Completo * Gestión de activos. Parcial	(GE Energy, 2013g)
12	Meter Data Management (MDM) Demand Side Management (DSM) Enterprise Asset Management (EAM BOLT-Ons)	Infosys Utilities		Sistemas de facturación, medición y gestión de activos, soluciones para gestionar el cumplimiento de las necesidades de los clientes que demandan el servicio de energía con alta calidad, mantener precios, generar equilibrio entre la demanda y el suministro, combinando la gestión de energía y el autoservicio del cliente. Gestión de soluciones de trabajo móviles con analítica de negocio, integración de aplicaciones empresariales, gestión de activos, disminución de costos, cumplimiento regulatorio. Acciones oportunas y confiables de inteligencia. Soluciones basadas en servicios	* MDM Completo * DSM Completo * EAM Completo	* Gestión de activos Completo * Medición de Datos Completo * Gestión de la Demanda Completo	(Infosys Utilities, 2013a, 2013b, 2013c)

<p>1 3</p>	<p>IBM Maximo® Asset Management configuration tools. Enterprise Asset Management for energy and utilities</p>	<p>IBM</p>	<p>Soluciones basadas en entender la condición de activos, el uso y la asignación en tiempo casi real para gestionar más eficazmente los recursos y costos. Permiten entonces que el flujo inteligente de la información, pueda ser utilizado para transformar y optimizar el rendimiento de activos, la productividad del trabajador y habilitación de proveedores. Mobile workforce management from IBM: Permite en tiempo real, la comunicación bidireccional entre la fuerza de campo y centro de expedición, y el acceso oportuno a la información vital. IBM Supply Chain Management: Integración de soluciones de habilitación de proveedores (gestión de pedidos, trabajo y materiales) IBM Asset Lifecycle Management Solutions: Prestación de información entorno a los activos y su ciclo de vida. Herramientas que mejoran la eficiencia, aumentan la productividad y mejoran la toma de decisiones de negocio sólido y beneficios de cumplimiento.</p>	<p>* Gestión de activos. Completo</p>	<p>* Gestión de activos Completo * Costo de los activos Completo * Requisitos de trazabilidad y rastreo del historial de datos e informes de calibración de activos Completo</p>	<p>(IBM, 2013)</p>
<p>1 4</p>	<p>Oracle Utilities Work and Asset Management</p>	<p>Oracle</p>	<p>Proporciona una visión analítica de los activos que ayudan a reducir los costos de mantenimiento y tomar las decisiones de compra correctas. Oracle Utilities Work implementa dashboards que ayudan a los gerentes a analizar métricas esenciales de los activos, utilizar los indicadores para predecir los costos futuros de mantenimiento y reparación, tomar mejores decisiones de compra, tomar mejores decisiones de compra, seguir las inversiones en formas que ayuden a incrementar las operaciones mas caras y disminuir las más costosas.</p>	<p>* Gestión de activos. Completo</p>	<p>* Métricas que proporcionan una visión de la salud de los activos. Completo* Objetivos para el porcentaje. Completo* Costos y Gastos reales en comparación con las estimaciones. Completo * Inventario de activos Completo* Orden de trabajo para los activos Completo * Crecimiento de los activos y el tiempo requerido para mantener y reparar. Completo</p>	<p>(Oracle, 2013a, 2013b, 2013c)</p>

50 Caracterización y evaluación de plataformas transaccionales inteligentes para la implementación de Redes Eléctricas Inteligentes en Colombia

1 5	Demand Management System (DRMS)	Response System	SIEMENS	Es una plataforma que permite a las empresas gestionar todos los aspectos relacionados con la respuesta a la demanda (DR), tiene capacidad para escalar mediante la automatización de los procesos manuales utilizados para ejecutar eventos y liquidación de DR, es un sistema que puede ser totalmente integrado con otros sistemas de servicios públicos, se puede utilizar de una manera más inteligente y eficiente mediante la planificación y ejecución de la pérdida de la carga en los lugares donde la utilidad de la red tiene más beneficio.	* DRMS. Completo	* Capacidad de respuesta a la demanda (DR) para reducir la máxima carga. Completo	(Siemens, 2013)
1 6	ArcGIS (Small Utility ELA)		ESRI	ArcGIS es una utilidad para la gestión de datos, la planificación, el análisis, la automatización de fuerza de trabajo y el conocimiento de la situación. Con un sistema GIS se pueden tomar las mejores decisiones sobre cuestiones claves tales como la recolección de datos, la gestión de instalación del medidor y/o sensor inteligente, incorporación de energías renovables. el SIG permite a los servicios públicos construir y operar una red inteligente Los activos de la empresa de servicios públicos se pueden vincular directamente a su sistema de información del cliente, lo que le permite supervisar de forma proactiva los órdenes de trabajo, la gestión de la vegetación y las interrupciones.	* GIS. Completo * Gestión de activos. Completo	* Mejora la toma de decisiones a partir de la recolección de datos. Completo * Visualización espacial. Completo * Integración con los diferentes sistemas de información. Completo	(ESRI, 2013a, 2013b, 2013c)
1 7	Telvent Smart Solutions (SGS)	Suite	ESRITelvent USA Corp	La suite Smart Grid Solution ayuda a transformar la red de servicios públicos en una que distribuya electricidad de manera más eficiente, económica, confiable y segura, se centra en la infraestructura de seguridad altamente integrada con aplicaciones avanzadas. Ofrece la eficiencia energética en la red, mejor servicio al cliente, la reducción de la duración de las interrupciones, y la funcionalidad de la respuesta a la demanda. La suite SGS se apoya en tecnologías existentes: control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), gestión de distribución (DMS), sistemas de información geográfica (GIS), gestión de apagones, infraestructura de medición avanzada (AMI), unidades terminales remotas (RTU) y comunicaciones. La suite consta de tres partes principales: Soluciones de Smart Metering, Soluciones de Operaciones Inteligentes y Soluciones de Red Inteligente	* Smart metering * Gestión de Distribución (DMS) * SCADA * Unidades terminales remotas RTU's * Sistemas de información geográfica * Respuesta OMS	* Riqueza de información en tiempo real, de activos, operaciones y gestión de la integración ayudan a maximizar el valor de negocio. Completo * SCADA, GIS, OMS ya están instalados dentro de la utilidad para aumentar el rendimiento de la inversión de estos activos. Completo	(ESRI, 2013d)

A continuación se presentan los atributos de calidad a evaluar en cada sistema según los escenarios definidos en la Tabla 6-6; así como su correspondiente peso.

Tabla 6-6. Pesos de los atributos de calidad

Atributo Evaluado	Peso
Disponibilidad	50
Modificable	50
Desempeño	36,67
Seguridad	30
Portabilidad	50
Usabilidad	50
Interoperable	30
Total	296,67

Los pesos presentados en la Tabla 6-7 se obtienen a partir del peso asignado a la priorización de los escenarios; Alto representa 50 puntos, Medio 30 y Bajo 10 puntos, luego de esto para cada atributo de calidad se hace un promedio ponderado con el peso de cada escenario.

Por ejemplo el atributo de calidad *Desempeño* tiene 3 escenarios uno de ellos es alto y los otros dos tienen una prioridad media, entonces este atributo tiene un peso $(50+30+30)/3$ igual a 36,67.

Tabla 6-7. Pesos Finales para cada Plataforma Transaccional

#	Software	Fabricante	Atributo Evaluado	Peso
1	Energy Management System Software - EMS™	etap@ Thinking Power	* Interoperable * Usabilidad	80,00
2	e-terramarket Market Management System (MMS)	ALSTOM	* Usabilidad * Modificabilidad * Escalabilidad	116,67
3	DRBizNet Demand Response Management System	ALSTOM UISOL Utility Integration Solutions	* Usabilidad * Desempeño * Interoperable * Escalabilidad	100,00

4	Network Manager MMS, SCADA, EMS, GMS and DMS	ABB	* Usabilidad * Desempeño * Seguridad * Escalabilidad * Modificabilidad	166,67
5	Luxoft Energy Management Systems (EMS) DMMessenger DMFusion Smart Grid	LUXOFT	* Escalabilidad * Seguridad * Disponibilidad * Usabilidad	146,67
6	XA/21* SCADA (EMS)	General Electry GE	* Usabilidad * Seguridad * Escalabilidad * Modificabilidad	146,67
7	Grid IQ Solution (Asset Management)	General Electry GE	* Disponibilidad * Usabilidad * Seguridad * Escalabilidad	146,67
8	Smallworld Territorial Intelligence (Business Intelligence)	General Electry GE	* Usabilidad * Modificabilidad * Seguridad * Escalabilidad	130,00
9	PowerOnTM Precision Demand Response Management System	General Electry GE	* Usabilidad * Seguridad	80,00
10	GE SmallworldTM gestión de infraestructura geoespacial	General Electry GE	* Usabilidad * Modificabilidad * Escalabilidad	116,67
11	Smallworld Spatial Intelligence™	General Electry GE	* Usabilidad * Modificabilidad	100,00
12	Meter Data Management (MDM) Demand Side Managment (DSM) Enterprise Asset Managment (EAM BOLT-Ons)	Infosys Utilities	* Interoperable * Usabilidad	80,00
13	IBM Maximo® Asset Management configuration tools. Enterprise Asset Management for energy and utilities	IBM	* Escalabilidad * Disponibilidad * Usabilidad	116,67
14	Oracle Utilities Work and Asset Management	Oracle	* Escalabilidad * Disponibilidad * Usabilidad	116,67
15	Demand Response Management System (DRMS)	SIEMENS	* Escalabilidad * Interoperable * Modificabilidad	96,67
16	ArcGIS (Small Utility ELA)	ESRI	* Interoperable * Usabilidad	80,00
17	Telvent Smart Suite Solutions (SGS)	ESRI Telvent USA Corp	* Disponibilidad * Seguridad * Desempeño	100,00

Los fabricantes que se posicionan según los escenarios de calidad analizados para las plataformas transaccionales inteligentes son

- ABB

- LUXOFT
- General Electry GE
- Alstom
- IBM

Estos fabricantes presentan un amplio portafolio de servicios en soluciones en gestión de mercados, operaciones comerciales, sistemas de gestión de energía, atención de clientes, gestión de activos, sistemas GIS, inteligencia de negocios BI, monitoreo y supervisión del mercado y respuesta a la demanda, entre otros.

Los proveedores evaluados tienen la capacidad de articular la dirección actual y futura del mercado a nivel de tecnología, innovación y necesidades del cliente; pueden crear valor en esta comprensión y combinar experiencias para explotarla como oportunidades de negocio, además son proveedores con fuerza en unidades de investigación y desarrollo, capacidad de diseño de productos, con solidez en el modelo de negocio ofrecido, con habilidad para ofrecer productos de verticales de industria y con capacidad de proponer productos y servicios a nivel mundial (Sumic, 2012). Los proveedores evaluados tienen una cuota de licencias superior a \$ 1 millón de ventas de nuevos productos.

Dentro de los estudios que deben considerarse para el análisis del posicionamiento en el mercado de las soluciones de redes inteligentes, se encuentran los relacionados con Gartner, esta firma ofrece una actualización de la posición de los vendedores en el mercado de los sistemas de información para los clientes de servicios públicos, a partir de la publicación del cuadrante mágico, este se basa en un análisis de mercado orientado al cliente, para un determinado conjunto de productos o servicios, que tienen una serie de necesidades o deseos comunes, y que referencia a los demás para tomar una decisión de compra. Las soluciones evaluadas deben cumplir mínimamente con capacidades analíticas financieras, programación y optimización del servicio, intercambio de datos con otros participantes del mercado (Sumic, 2012).

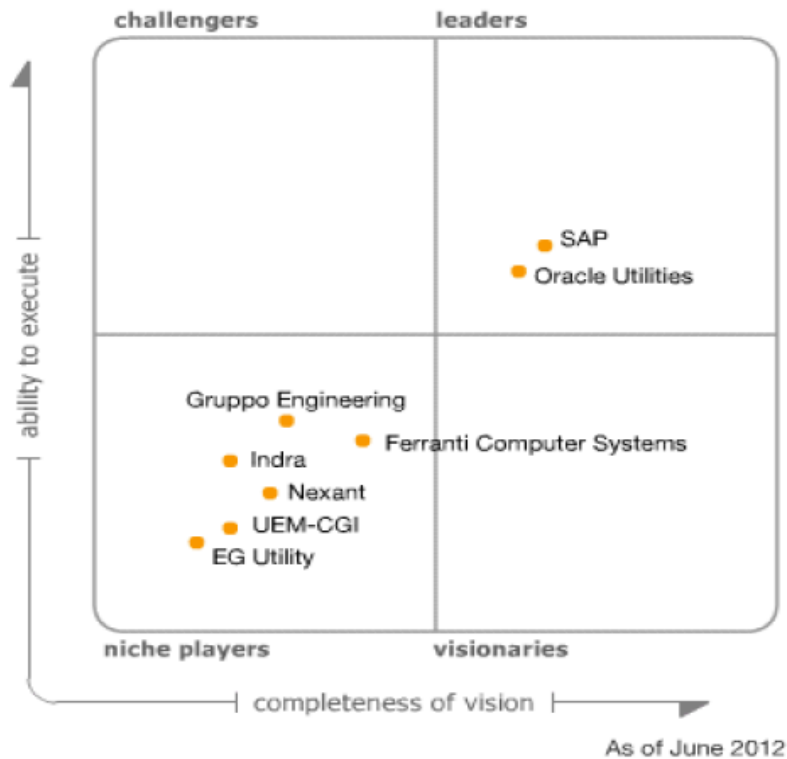
Según la Tabla 6-8, la solución de Oracle Utilities es una de las empresas líderes en el mercado, su solución se comercializa a partir de productos individuales como por ejemplo componentes de facturación, perfiles de carga y liquidación, gestión de presupuesto, es un producto configurable, con un conjunto de funciones que ha cumplido con éxito los

requisitos de las empresas de diversos tamaños que proporcionan diversos servicios públicos en el mercado (Sumic, 2012).

Dentro de las fortalezas de las soluciones de Oracle Utilities se encuentra el proporcionar consistencia a las aplicaciones a partir de la integración basada en una arquitectura orientada a servicios SOA, incluye la gestión de fuerza de trabajo móvil, gestión de medición de datos e inteligencia de negocios (Sumic, 2012).

Sin embargo algunos requisitos relacionados con redes inteligentes como los programas de facturación, la facturación de vehículos eléctricos y la infraestructura de medición avanzada prepago AMI basada en prepago, no son soportados totalmente fuera de la caja con la versión general disponible y evaluada en éste cuadrante mágico (Sumic, 2012).

Figura 6-1 Cuadrante Mágico para Sistemas de Información de clientes de utilidades.



Fuente: Gartner (Junio 2012)

El avanzado sistema de gestión de la distribución del mercado se ha acelerado en los últimos años, debido a los incentivos del gobierno y la necesidad de integrar las fuentes renovables y los consumidores activos. Sin embargo, los riesgos de producto y selección de proveedores siguen siendo importantes en este mercado emergente complejo. Para ello Gartner publicó su estudio sobre extensión del mercado de sistemas de gestión de distribución avanzada, esta investigación identifica a los proveedores de soluciones que compiten por esta oportunidad, explica sus orígenes, su evolución y pistas de productos y evalúa sus posiciones en el mercado (Sumic, 2013).

En el ámbito del Mercado de Sistemas de Gestión de Distribución Avanzada se presenta la clasificación de los proveedores que son considerados por la investigación y su impacto en el mercado. Los proveedores cumplen la mayoría de las funcionalidades ya sea en la restauración, la operación de emergencia de distribución o dominios de análisis de distribución, además estos proveedores han firmado al menos tres contratos de software en los últimos 12 meses y proporcionan al menos tres referencias que se encuentran en producción (Sumic, 2013).

De los proveedores que referencia Gartner y los cuales fueron objeto del análisis realizado en la caracterización de plataformas transaccionales inteligentes, se encuentran Alstom Grid, GE Energy, Oracle con una clasificación positiva en el mercado y Siemens con una prometedora (Sumic, 2013).

Sus productos ofrecen una amplia gama de capacidades, que incluyen distribución tradicional SCADA, OMS y funciones básicas de gestión de distribución (Sumic, 2013).

- AMI, interfaz de lectura automática de medidores para la detección de interrupción / restauración y el estado de carga de red
- Conservación mediante la reducción de voltaje (CVR)
- Análisis de Distribución (flujo de alimentación desequilibrada, arranque en frío y la colocación de condensadores)
- Estimación del estado de distribución
- La gestión de activos empresariales (EAM) / ERP / interfaz de gestión del trabajo (costo, equipos, hojas de tiempo, bienes y materiales)
- Vehículo eléctrico de apoyo (EV) Restauración
- Localización de la falla, el aislamiento y el servicio

- Ubicación / fallo Indicador de fallo (FI) y la interfaz de relé
- Asignación de Carga
- Apoyo Microgrid
- Interfaz de programación / equipo móvil
- Modelo de gestión de red
- Análisis de contingencia N-1
- Análisis de Interrupción
- Resumen evento de interrupción y la información detallada
- Reducción del pico de la demanda
- Modelado de carga sensible a los precios
- Coordinación de Protección

Figura 6-2 Ámbito del Mercado de Sistemas de Gestión de Distribución Avanzada

	RATING				
	STRONG NEGATIVE	CAUTION	PROMISING	POSITIVE	STRONG POSITIVE
Alstom Grid				x	
Efacec ACS			x		
GE Energy				x	
Intergraph		x			
Open Systems International (OSI)			x		
Oracle				x	
Schneider Electric					x
Siemens			x		
Ventyx				x	

Fuente: Gartner (Marzo 2013)

Gartner evaluó en los proveedores de la Figura 6-3 la capacidad para entender del mercado, la comunicación con los clientes exteriorizada a partir de la página web, programas de cliente, declaraciones de posicionamiento, el enfoque del proveedor para desarrollar productos, su diferenciación, la metodología que se asigna a las necesidades actuales y futuras, la innovación en las soluciones, las capacidades del producto o servicio ofrecido, la calidad, las alianzas definidas en el mercado, viabilidad de la

empresa, éxito financiero, prácticas de negocio, probabilidad de que la unidad de negocio continúe investigando en el producto, capacidad de respuesta, de cambiar de dirección, de ser flexibles y lograr éxito competitivo (Sumic, 2013).

Empresas como Alstom, General Electric, Oracle y Siemens tienen en promedio 50 billones de dólares de las tecnologías de suministro de energía en todo el mundo, además de presentar casos de éxito implementados a nivel mundial con total funcionalidad, presentan alianzas estratégicas para el desarrollo de los sistemas o productos.

7. Conclusiones

- Debido a los cambios en el sistema eléctrico y a las exigencias de disponibilidad de información, para la toma de decisiones de los participantes del mercado, se deben buscar nuevos sistemas de información que permitan suplir las necesidades de actualización del sistema.
- Los sistemas de información utilizados en REI son sistemas diseñados para soportar los complejos análisis requeridos para descubrir tendencias a nivel de negocio, con mecanismos interactivos que proveen información, herramientas o modelos para ayudar a los usuarios a tomar decisiones, además permiten seleccionar la información relevante para cada usuario.
- Luego de la revisión se encontraron diferentes plataformas transaccionales inteligentes con las cuales se pueden realizar análisis y seguimiento a las señales del mercado; sin embargo se evidencia la necesidad de definir un conjunto de métricas o atributos que permitan evaluar las dimensiones sugeridas para la gestión de información en REI.
- La metodología utilizada para evaluar los sistemas de información fue la propuesta por el Software Engineering Institute de la Universidad Carnegie Mellon, a través del método ATAM; el cual permite extraer los atributos de calidad y crear los análisis de ventajas y desventajas para discernir soluciones apropiadas a partir de las características principales del sistema.
- El método ATAM posee grandes beneficios ya que permite identificar decisiones de arquitectura y especificar los criterios que pueden usarse para juzgar la operación de un sistema y añadirle funcionalidad, estas características que hacen al sistema atractivo, usable, rápido o confiable pueden ser medidas y

verificadas en el producto a partir de la identificación de escenarios de calidad los cuales evalúan el grado de presencia de los atributos de calidad.

- La entrada de las plataformas transaccionales inteligentes involucra en su diseño e implementación avance en informática, comunicación y nuevas tecnologías operativas y de energía, para ello deben incluirse nuevas componentes al sistema que garanticen confiabilidad, disponibilidad de la información e integración en el desarrollo de una infraestructura elástica, escalable y disponible.
- La inclusión de nuevas plataformas transaccionales inteligentes permiten generar, distribuir y operar de una forma más eficiente, económica, segura y sostenible, los operadores de red y los hogares pueden tener mayor disponibilidad en la información para la toma de decisiones a partir de la reducción de los precios de la energía eléctrica.
- Se realizó un análisis comparativo entre las diferentes plataformas transaccionales inteligentes disponibles en el medio, las cuales pueden aportar a la actualización del sistema eléctrico, la necesidad de información para el análisis y seguimiento de las señales del mercado y el apoyo a la toma de decisiones con generación de valor.
- Para la evaluación de los diferentes sistemas de información se definieron los requisitos a valorar con sus escenarios de calidad y su peso o relevancia dentro de la prueba.
- El análisis comparativo realizado considera atributos como la disponibilidad, modificabilidad, desempeño, seguridad, portabilidad, usabilidad e interoperabilidad; cuya finalidad es detallar una mejor respuesta del sistema según el estímulo y las condiciones del ambiente.
- Las plataformas transaccionales inteligentes pueden traer beneficios al sistema, sin embargo se necesita identificar que dichas plataformas cumplan con unos requisitos mínimos.

- Los sistemas de información con mayores pesos fueron las soluciones de ABB, LUXOFT, General Electry GE, ALSTOM e IBM ya que cumplieron con los escenarios de los atributos de calidad de prioridad más alta o generan un buen funcionamiento a partir del balance entre los atributos que desarrollan.
- Para la implementación de REI en Colombia, se propone que el Operador y Administrador del SIN considere el uso de plataformas transaccionales inteligentes que cumplan mínimo con escenarios de calidad que puedan tener un efecto positivo en la operación de los sistemas.

A. Anexo 1: Acrónimos

ADMS. Sistema de Gestión de Activos

AMI. Medición de Infraestructura Avanzada (AMI)

AMS. Sistema de Medición Avanzada

ATAM. Architecture Tradeoff Analysis Method

BI. Inteligencia de Negocios

CAC. Comité Asesor de Comercialización

CIDET. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico

CIM. Common Information Model.

CINTEL. Centro de Investigación de las Comunicaciones

CIS. Sistema de Información al Cliente

CNO. Consejo Nacional de Operación

COCIER. Comisión de Integración Energética Regional

CRDB. Base de Datos de Grabación Continua

CVR. Conservación mediante la reducción de voltaje

DA. Automatización de distribución

DG. Generación Distribuida

DMS. Sistema de Gestión de Demanda

DRMS. Sistema de Gestión de Respuesta a la Demanda

DSM. Gestión de la Demanda

DOE. Departamento de Recursos Energéticos

DR. Respuesta a la Demanda

EAM. Gestión de Activos Empresariales

ED. Despacho Económico

EISA. Ley de Independencia y Seguridad Energética de 2007

EMS. Sistemas de Gestión de Energía

EPRI. Instituto de Investigación de Energía Eléctrica

ERP. Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales

ESRI. Environmental Systems Research Institute
EV. Vehículo Eléctrico
EWF. Gestión Empresarial del Personal. Enterprise Workforce Management
FERC. Comisión Federal de Regulación Energética
FI. Indicador de Falla
GIS. Sistema de Información Geográfica
GMS. Sistema de Gestión de Generación
ITS. Intercambio de Transacciones
IVR. Respuesta de Voz Interactiva
KPI. Indicadores Claves de Desempeño
LFC. Control de Carga de Frecuencia
MDM. Gestión de Medición de Datos
MDMS. Sistema de Gestión de Medición de Datos
MMS. Sistemas de Gestión de Mercados
NASPI. Iniciativa Norteamericana Sincrofasor
NIST. Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
OMS. Sistema de Gestión de Cortes
OR. Operador de Red
PMU. Unidad de Gestión de Energía
REI. Redes Eléctricas Inteligentes
RTU. Terminal de Unidad Remota
SCADA. Sistemas de Control, Supervisión y Adquisición de Datos
SCM. Gestión de Cadena de Suministro
SEI. Software Engineering Institute
SIN. Sistema Interconectado Nacional
TI. Tecnología e Información
XM. Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P.

Referencias

- ABB. (2013a). Network Manager. Retrieved from <http://www.abb.com/industries/us/9aac30300663.aspx>
- ABB. (2013b). ABB acquires Ventyx. 2010. Retrieved from <http://www02.abb.com/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=tysfaCjTO2>
- ABB. (2013c). Network Manager MMS Comprehensive State-of-the-art Solutions for Electricity Markets. Retrieved from [http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/0f9f5757ea271d7f852575fa0056a526/\\$file/BR_MMS.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/0f9f5757ea271d7f852575fa0056a526/$file/BR_MMS.pdf)
- ALSTOM. (2013a). e-terramarket Market Management System. Retrieved from <http://www.alstom.com/grid/products-and-services/electrical-network-systems/software-for-energy-management/>
- ALSTOM. (2013b). DRBizNet Demand Response Management System. Retrieved from <http://www.alstom.com/Global/Grid/Resources/Documents/Automation/NMS/e-terraDRBizNet3.0.pdf>
- Arai, J., Iba, K., Funabashi, T., Nakanishi, Y., Koyanagi, K., Yokoyama, R. (2008). Power electronics and its applications to renewable energy in Japan. Self.
- Barroso, M. (2011). Energy and Telecoms: Smart Grids, Future Convergence and Regulatory Challenges. Aphaia. 6 p.
- Bass, M. (2010). Certificate Program: Architecting Enterprise Systems of iCarnegie. In Asesoftware (Ed.), Bogota.

Catterson, V. M., Davidson, E. M., & McArthur, S. D. (2011). Embedded Intelligence for Electrical Network Operation and Control.

Cespedes, R. (2010). Evolution of Power to Smart Energy Systems. *Energy*, 616-621.

Chen, H., Feng, K., Zhang, Q., Zhao, Z., Zhang, L., & Li, J. (2011). Energy Procedia Investment Evaluation System Development Based on Unified Information Platform for Future Smart Grid, 10–17. doi:10.1016/j.egypro.2011.10.004

Chet Geschickter. (2012). Technology Overview for Home Energy Management, Gartner, Inc. | G00234841 (June)

Colombia Inteligente. (2012). Redes Inteligentes: Iniciativa de Desarrollo hacia las nuevas tecnologías. www.colombiainteligente.com.co

EnergyAustralia. (2013). Small Business EnergyAustralia. Retrieved from <http://www.energyaustralia.com.au/>

Energy, U. S. D. of. (2012). 2010 Smart Grid System Report. *Energy*, (February).

EPRI. (2011). A Utility Standards and Technology Adoption Roadmap, (October).

ESRI. (2013a). GIS for Smart Grid. 2012. Retrieved from <http://www.esri.com/industries/electric/business/~media/Files/Pdfs/library/brochures/pdfs/gis-for-smart-grid.pdf>

ESRI. (2013b). Is your GIS Smart Grid Ready? A State -of- the- Industry Report. 2010. Retrieved from http://www.esri.com/~media/Files/Pdfs/software/landing_pages/smart-grid/docs/smartgridreport.pdf

ESRI. (2013c). Packaged ELA Programs for Small Utilities. Retrieved from <http://www.esri.com/industries/ela/suela>

- ESRI. (2013d). Telvent Smart Suite Solutions (SGS). Retrieved from http://www.esri.com/partners/apps/search/index.cfm?fuseaction=product&BP_ID=16&PID=6556
- ETAP Thinking Power. (2013). Energy Management System Software. Retrieved from <http://etap.com/energy-management-system/energy-management-system-software.htm>
- European Commission. (2006). European SmartGrids Technology Platform. Energy.
- European Commission. (2011). Task Force Smart Grids. Expert Group 2: Regulatory Recommendations For Data Safety, Data Handling And Data Protection Report.
- Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. IEEE Power and Energy Magazine, 8(1), 18-28. doi:10.1109/MPE.2009.934876
- FERC. (2011). Smart Grid Interoperability Standards. Docket No. RM11-2-000, 10.
- Félix Fornés, M. (2004). Sistemas de soporte a la decisión (DSS) y sistemas inteligentes aplicados en las empresas mexicanas
- Fernández Muerza, A. (2009). Redes Eléctricas Inteligentes. Eroski Consumer
- Findings, K. (2011). ' Big Data ' Is Only the Beginning of Extreme Information Management, (April).
- Furlonger, D. (2012). Magic Quadrant for Energy Trading and Risk Management Platforms, (March).
- Galvin Electricity Initiative Response. (2010). DOE RFI DOE RFI 2010-23251 - Addressing Policy and Logistical Challenges to Smart Grid Implementation, 1–34.
- GE Energy. (2013a). XA/21* SCADA Energy Management System. Retrieved from http://www.ge-spark.com/spark/resources/products/GEA14736_XA21SCADA_EMS_HR.pdf

- GE Energy. (2013b). Grid IQTM Solutions as a Service. Retrieved from <http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/SAAS.pdf>
- GE Energy. (2013c). Grid IQTM Solutions as a Service. Retrieved from <http://www.gedigitalenergy.com/demandopt/catalog/GridIQ.htm#corepkg>
- GE Energy. (2013d). Smallworld Spatial Intelligence™ The Business Intelligence Solution. Retrieved from <http://www.gedigitalenergy.com/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=ldn+ypVg1W>
- GE Energy. (2013e). PowerOn™ Precision Demand Response Management System. Retrieved from <http://www.gedigitalenergy.com/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=0m+bMSzgWz>
- GE Energy. (2013f). GE Smallworld™. Retrieved from http://www.it-consultores.com/joomla/GContenido/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=34
- GE Energy. (2013g). Smallworld Spatial Intelligence™ - Real World Applications. Retrieved from <http://www.gedigitalenergy.com/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=RvR622YPJI>
- Hammons, T. J. (2006). Integrating renewable energy sources into European grids. *Renewable Energy*, 142-151.
- Harrison, K. (2011). *The Key Trends Shaping Energy and Utilities in 2011*.
- IBERDROLA. (2012). Despliegue de Contadores y Redes Inteligentes. Retrieved from www.iberdrola.es
- IBM. (2013). IBM Maximo® Asset Management configuration tools. Enterprise Asset Management for energy and utilities. Retrieved from http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smart_grid/nextsteps/solution/N188045J88996C54.html

- Infosys Utilities. (2013a). Meter Data Management (MDM). 2012. Retrieved from <http://www.infosys.com/industries/utilities/Documents/meter-data-management.pdf>
- Infosys Utilities. (2013b). Enterprise Asset Management (EAM BOLT-Ons). 2011. Retrieved from <http://www.infosys.com/supply-chain/Documents/enterprise-asset-management.pdf>
- Infosys Utilities. (2013c). Demand Side Management (DSM). 2011. Retrieved from <http://www.infosys.com/industries/utilities/Documents/demand-side-management.pdf>
- Inga Ortega, E. M. (2011). Redes Eléctricas Inteligentes. Universidad Politecnica Salesiana Ecuador.
- Kathan, D., Lead, T., Godding, G., Irwin, R., Martinez, C., McOmber, N., Roder, A., et al. (2007). Assessment of Demand Response and Advanced Metering. FERC.
- Kazman, R., Klein, M., & Clements, P. (2000). ATAM : Method for Architecture Evaluation, (August).
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. Technical Report TR/SE- 0401.
- Larisa, Gonzalez & Martin, Roberkys & Rivero, T. (2012). Priorización de Atributos de Calidad en Sistemas Modulares Integrados. SG, 37. Retrieved from <http://sg.com.mx/revista/37>
- Lattanze, A. (2009). Architecting Software Intensive Systems: A Practitioners Guide. (Aurebach., Ed.) (p. 459). Florida.
- Lopes Ferreira, H., Costescu, a., L'Abbate, a., Minnebo, P., & Fulli, G. (2011). Distributed generation and distribution market diversity in Europe. Energy Policy, 39(9), 5561-5571. Elsevier. doi:10.1016/j.enpol.2011.04.064
- Lopes Ferreira, H., Fulli, G., Kling, W., Pecas Lopes, J. (2011). Storage Devices Impact on Electricity Distribution, CIRED 2011, Frankfurt.

- LUXOFT. (2013). Energy Management Systems. Retrieved from http://www.luxoft.com/energy/energy-management-systems/index.php?sphrase_id=353764<http://www.luxoft.com/upload/iblock/51a/brochure-of-luxoft-energy-expertise-by-luxoft-software-development.pdf>
- Malik, O., & Havel, P. (2011). Analysing demand-side management potential: Situation in Europe and the Czech Republic. 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, 1-4. Ieee. doi:10.1109/EEEIC.2011.5874781
- Mark A. Beyer., Zarko Sumic. (2011). 'Big Data' Is Only the Beginning of Extreme Information Management, Gartner, Inc. | G00211490 (April).
- NASPI. (2012). North American SynchroPhasor Initiative. Retrieved from <https://www.naspi.org/>
- NIST. (2012a). Promoting Innovation, Competition, and Economic Growth: Principles for Effective Domestic and International Standards Development (pp. 1-7).
- NIST. (2012b). NIST General Information. Retrieved from http://www.nist.gov/public_affairs/general_information.cfm
- Oracle. (2013a). Oracle Business Intelligence for Utilities: Work and Asset Management. 2011. Retrieved from <http://www.oracle.com/us/industries/utilities/work-asset-management-ds-1409633.pdf>
- Oracle. (2013b). Oracle Utilities Work and Asset Management. 2012. Retrieved from <http://www.oracle.com/us/industries/utilities/046553.pdf>
- Oracle. (2013c). Optimizing Work Management in the Utilities Industry. 2012. Retrieved from <http://www.oracle.com/us/industries/utilities/utilities-work-management-ds-1837406.pdf>
- Perez Miranda, D. (2008). Estado y desarrollo de la tecnología Smart Grid en Colombia. Control. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.

- Pratt, R., Kintner-Meyer, M., Balducci, P., Sanquist, T., Gerkensmeyer, C., Schneider, K., Katipamula, S., et al. (2010). The Smart Grid : An Estimation of the Energy and CO 2 Benefits. Department of Energy, (January), 172.
- Rhodes, R. (2012). Hype Cycle for Utility Industry Operational Technologies , 2012, (July).
- SEI. (2013). Architecture Tradeoff Analysis Method. Retrieved from <http://www.sei.cmu.edu/architecture/tools/evaluate/atam.cfm>
- Siemens. (2013). Siemens DRMS. Demand Response Management System. 2012. Retrieved from http://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/demand-response/demand-response-management-system/Documents/DRMS_SellSheet_V2.pdf
- Software Engineering Group, K. U. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Technical Report EBSE-2007-01.
- Steenstrup, K. (2012). Hype Cycle for Utility Industry IT and Business Processes , 2012, (July).
- Sumic, Z. (2012). Magic Quadrant for Utilities Customer Information Systems, (June).
- Sumic, Z. (2013). MarketScope for Advanced Distribution Management Systems What You Need to Know, (March).
- Susa, David & Hurtado, Nicolas & Ramos, D. (2011). Documento Arquitectura (SAD). Bogota: Universidad de los Andes.
- Swamy, M. (2010). Benchmark Study Indicates that U.S. Utilities Aren't GIS Smart Grid Ready. SMART-GRID.TMCNET.COM
- Universidad de los Andes. (2012). Arquitectura de Software: Atributos de Calidad y Perspectivas (p. 41). Bogota.

XM. (2013). Informe Anual de Operaciones. Retrieved from www.xm.com.co

Zarko Sumic. (2012). Hype Cycle for Smart Grid Technologies, Gartner, Inc. | G00233783, (July).