



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Aplicaciones de Grandes Datos en los Medidores Inteligentes del Consumidor de Electricidad Residencial Colombiano

Juan Felipe Valencia Uribe

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Área Curricular Ingeniería de Sistemas e Informática
Medellín, Colombia
2014

Aplicaciones de Grandes Datos en los Medidores Inteligentes del Consumidor de Electricidad Residencial Colombiano

Juan Felipe Valencia Uribe

Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería de Sistemas Energéticos

Director:

PhD., Carlos Jaime Franco Cardona

Línea de Profundización

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Área Curricular Ingeniería de Sistemas e Informática

Medellín, Colombia

2014

(Dedicatoria o lema)

“...Ahora bien, los recursos de los expertos en el manejo de las fuerzas extraordinarias son, como el cielo y la tierra, ilimitados; como el caudal de los grandes ríos, inagotable.

Porque llegan al final y vuelven a empezar; son cíclicos, como los movimientos del sol y de la luna. Mueren y renacen; retornan, como lo hacen las estaciones pasajeras.

Son solo cinco las notas musicales pero sus melodías son tan numerosas que no es posible escucharlas todas.

Son solo cinco los colores primarios pero sus combinaciones son tan innumerables que es imposible visualizarlos todos.

Son solo cinco los sabores pero sus mezclas son tan variadas que no se puede degustarlas todas...”

Sun Tzu

Agradecimientos

A Dios por mostrarme cada día el camino y convertir cada obstáculo en oportunidades que me fortalecen para llegar a esta meta.

El gran apoyo incondicional de mi familia, que día a día me motivan e inspiran para hacer las cosas de la mejor forma hasta el final.

Al director Carlos Jaime Franco por ser un guía en la elaboración de este trabajo, su paciencia y por aportarme su conocimiento.

A mis compañeros de clase con quienes recorrí este camino, de quienes también aprendí con su conocimiento y experiencia.

Resumen

El impulso de las Redes Eléctricas Inteligentes requiere grandes inversiones cuyos retornos para las empresas son muy bajos y perceptibles a muy largo plazo. Dichas inversiones en activos de infraestructura y dispositivos, como los medidores inteligentes, deben ser aprovechados al máximo con el fin obtener un retorno atractivo para las empresas comercializadoras de electricidad. Una forma de sacar más provecho es convertir los datos de los medidores inteligentes en activos de valor. Mediante el análisis de la gran cantidad de datos que se obtienen es posible generar información de patrones de consumo para el conocimiento del cliente. Teniendo esta información es posible diseñar modelos predictivos para optimizar las operaciones de generación de electricidad, mantenimiento, diseñar programas de respuesta de la demanda acordes con las motivaciones del usuario para cambiar sus hábitos de consumo.

En este trabajo se adopta el término grandes datos para referirse a lo que se conoce como *Big Data* y se muestra una breve descripción de lo que significa, sus aplicaciones y el gran potencial que tiene para generar información de valor en todos los sectores y en especial en los mercados de electricidad. Se hace una referenciación bibliográfica de experiencias internacionales del manejo de grandes dato de los medidores inteligentes, las oportunidades y aprovechamiento en el consumo residencial de electricidad en Colombia.

Palabras clave: grandes datos, medidores inteligentes, Redes Eléctricas Inteligentes, respuesta en demanda, sistemas distribuidos, gestión energética, ancho de banda.

Abstract

The Smart Grid advance requires large investments by the utilities whose returns are very low and long term noticeable. These investments in infrastructure assets and devices, such as smart meters, should be maximized in order to obtain an attractive return for power marketers. One way to get more out is to convert the data from smart meters into valuable assets. By analyzing the large amount of data obtained it is possible to generate information consumption patterns for customer knowledge. With this information it is possible to design predictive models to optimize electricity generation operations, maintenance, design demand response programs in line with user motivations to change their consumption habits.

In this paper the term “Grandes Datos” is taken to refer to what is known as Big Data and a brief description of what it means, your applications and great potential to generate valuable information in all sectors and in particular shows in power markets. A bibliographic referencing international experience of managing large data smart meters, opportunities and progress in the residential electricity consumption in Colombia is made.

Keywords: Big Data, smart meters, Smart Grids, Demand Response Programs, distributed systems, Energy Management, Bandwidth.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XV
Introducción	17
Capítulo 1	19
1. Antecedentes	19
Capítulo 2	23
2. Estado del Arte de los Grandes Datos y sus Diferentes Aplicaciones	23
2.1 Big Data.....	23
2.2 Características de los Grandes Datos.....	25
2.3 Volumen de Datos	25
2.4 Variedad y Fuentes de Datos.....	26
2.5 Computación en la Nube	28
2.6 Internet de las cosas (IoT)	29
2.7 Grandes Datos en el Campo Investigativo	30
2.8 Integración Dinámica basada en Lenguajes de Dominio Específico	31
2.9 Ambiente de Grandes Datos en la Industria 4.0.....	32
2.10 Sistemas Distribuidos de Almacenamiento de Datos en la Red Eléctrica	32
2.11 Servicios Basados en Grandes Datos.....	34
2.12 Resumen del capítulo	34
Capítulo 3	35
3. Experiencia Internacional de los Grandes Datos Aplicados a los Consumidores Residenciales de Electricidad	35
3.1 Iniciativas en políticas regulatorias para la adopción de medidores inteligentes.....	35
3.1.1 Brasil.....	35
3.1.2 Europa	36
3.2 Implementaciones a Gran Escala	36
3.2.1 Europa: diferencias en hábitos de consumo.....	36

3.2.2	Irlanda del Norte: efectos de la retroalimentación al consumidor residencial de electricidad	37
3.2.3	Austria: efectos de la retroalimentación en la demanda residencial de electricidad	37
3.2.4	Australia: convirtiendo datos de medidor inteligente en información procesable	38
3.2.5	California: programa de respuesta en demanda	39
3.3	Investigaciones	39
3.3.1	Austin Texas: análisis de perfiles de demanda de electricidad residencial	39
3.3.2	Estocolmo: potencial de eficiencia energética de los edificios	40
3.3.3	Taiwán: Detección de Anomalías en Tiempo Real	40
3.3.4	Canadá: IESO	42
3.3.5	Google Power Meter	42
3.3.6	Oncor	42
3.3.7	Green Button	43
3.3.8	PG & E en Oregon	44
3.3.9	Remodence	44
3.4	Conclusiones del capítulo	45
Capítulo 4		46
4.	Oportunidades que Ofrece el Análisis de Grandes Datos en los Medidores Inteligentes	46
4.1	Privacidad de los consumidores	47
4.2	Gestión de energía del consumidor	47
4.3	Patrones de consumo	48
4.4	Predicción de pérdidas y ganancias en las empresas ante los cambios de tarifas de electricidad	48
4.5	Aporte de las técnicas computacionales	49
4.6	Incentivo de EEUU al uso y protección de datos de consumo de energía	49
4.7	Conclusiones del capítulo	50
Capítulo 5		51
5.	Aprovechamiento de Grande Datos de los Medidores Inteligentes para el Manejo del Consumidor Residencial de Electricidad Colombiano	51
5.1	Plan Energético Nacional	51
5.2	Eficiencia Energética en Edificaciones	52
5.3	Análisis de Diseño de Esquemas de Subsidio en los Servicios Públicos Colombianos	53
5.4	Programas de Respuesta en Demanda	53
5.4.1	Mercado No Regulado	53
5.4.2	Mercado Regulado	54
5.5	Impulso de las Redes Inteligentes en Colombia	54
5.6	Integración de Energía Renovables No Convencionales al Sistema Energético Nacional	54
5.7	Conclusiones del capítulo	55
6.	Conclusiones y recomendaciones	57
6.1	Conclusiones	57

6.2	Recomendaciones	58
Bibliografía	60

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Demanda de energía eléctrica en Colombia (UPME, 2014)	20
Figura 1-2: Utilidad de caso de negocio con un sistema de medidores inteligentes. (SGRC, 2014)	22
Figura 2-1: Tamaño de datos y Capacidad de computación. (Chen, Zhang, 2014)	24
Figura 2-2: Ventajas que ofrecen los Grandes Datos en las empresas. (Chen, Zhang, (2014).....	24
Figura 2-3: Diagrama de arquitectura de flujo de datos (Oracle, 2012).....	27
Figura 2-4: Técnicas de Grandes Datos. (Chen, Zhang, 2014).....	28
Figura 2-5: Uso de computación en la nube de Grandes Datos (Hashem et al., 2014)...	29
Figura 2-6: Arquitectura de Internet de las cosas (Chen et al., 2014).	30
Figura 2-7: Arquitectura del Sistema distribuido (Zhang et al., 2014).....	33
Figura 3-1: Etapas de detección de anomalías (Chou, Telaga, 2014).	41

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: parámetros de los medidores inteligentes (Shawkait Ali, 2013).	21

Introducción

En el mercado eléctrico Colombiano hay dos tipos de usuarios finales: los usuarios no regulados y los usuarios regulados. Los usuarios no regulados negocian libremente las tarifas de energía con su proveedor, mientras que para los usuarios regulados la Comisión de Regulación de Energía y Gas –CREG- fija una fórmula que permite a los comercializadores minoristas establecer los costos de prestación del servicio en el Sistema Interconectado Nacional, mediante la resolución 119 de 2007 (CREG, 2014). Los costos son cargados mensualmente a los usuarios dependiendo del nivel de voltaje de conexión. Para los usuarios residenciales, de acuerdo estrato socio económico, las tarifas incluyen subsidios para los más bajos, los cuales son pagados por los usuarios de estratos más altos, usuarios comerciales e industriales (CREG, 2014).

El comportamiento del consumidor de electricidad puede variar de acuerdo a su estrato socio económico, nivel de educación, región del país o cultura. Específicamente, la toma de decisiones de consumo de electricidad para usuarios residenciales que tienen subsidios están más influenciadas por el precio, además de sus necesidades de consumo y hábitos culturales (Arango et al., 2012).

El análisis de grandes datos en el consumo de electricidad se vuelve una herramienta tecnológica determinante para conocer las motivaciones de los usuarios. Este conocimiento y la infraestructura adecuada permite a los comercializadores implementar estrategias que permitan modificar los hábitos de consumo de los usuarios con fines de una mejor gestión de eficiencia energética.

En el mercado de electricidad colombiano el usuario regulado ha visto subir las tarifas en mayor proporción que el IPC. El usuario final cuenta con poca información disponible de cómo puede utilizar mejor la electricidad y cuenta con pocos mecanismos para cambiar sus patrones de consumo. En el mercado circula poca información entre los actores, para poder dinamizarlo y poder llevarlo a un siguiente nivel de avance, se requieren tiempos

más cortos de decisión, así como avanzar a un mercado intradiario, lo que permitiría llevar al mercado precios cercanos al tiempo real (Colombia Inteligente, 2012).

En el primer capítulo de este trabajo se muestran las razones que justifican el objeto de estudio de este trabajo. En el segundo capítulo se describe el concepto de los grandes datos, sus características más importantes, el crecimiento que ha tenido a lo largo del tiempo y sus diversas aplicaciones en diferentes sectores.

En el tercer capítulo se hace un recopilación de experiencias internacionales en cuanto a iniciativas regulatorias que promueven la implementación de medidores inteligentes, experimentación a escala real con el uso de datos de consumo para el análisis de la respuesta de la demanda, investigaciones en análisis de datos para gestión y eficiencia energética, aplicaciones comerciales e iniciativas de proyectos del uso de datos para la gestión y eficiencia energética.

En el cuarto capítulo se habla del potencial que tiene el aprovechamiento de los grandes datos de consumo de electricidad que se obtienen de los medidores inteligentes para materializar la visión de las Redes Inteligentes que tienen las diferentes instituciones especializadas en el tema. Se habla de las implicaciones que podría tener el análisis de datos en la privacidad de los consumidores, la gestión de energía del consumidor y el aporte de la computación a los sistemas energéticos. En el quinto capítulo se mencionan las oportunidades que hay en Colombia de aprovechar el análisis de grandes datos de consumo de electricidad que permitan alcanzar las metas trazadas por el estado en el desarrollo de las Redes Eléctricas Inteligentes.

Capítulo 1

1. Antecedentes

Una de las visiones de las Redes Eléctricas Inteligentes y las tecnologías, es que usando megabytes de datos, (DOE, 2008) ayudan a mover megavatios de electricidad de manera más eficiente, fiable y asequible. El sistema eléctrico pasará de ser centralizado a distribuido con un modelo de consumidor interactivo. Más que contar con medidores inteligentes, las REI contarán con sensores a lo largo de la red de transmisión y de distribución para recopilar datos en tiempo real en dos vías de comunicación.

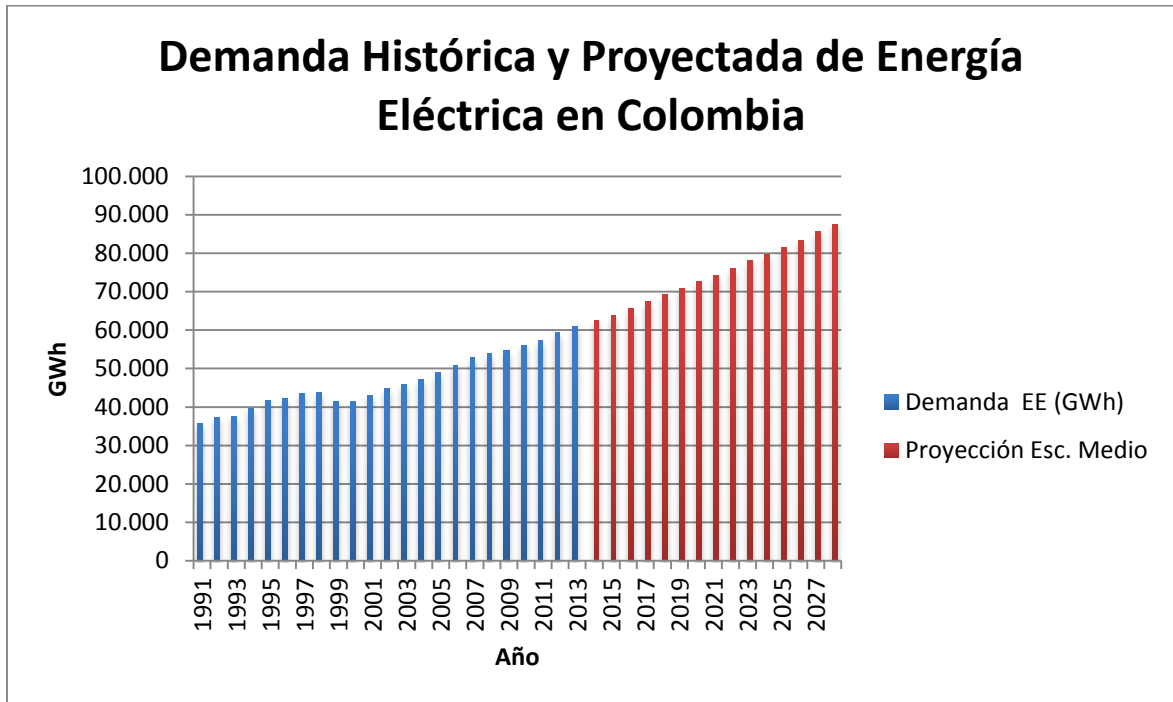
En Estados Unidos se esperaba un aumento en los precios de electricidad del 50% del 2008 al 2015 y se prevé que la demanda de electricidad crezca un 30% para el año 2030. Se estima que requerirán inversiones alrededor de los \$1.5 billones de dólares durante los próximos 20 años según el grupo de consultoría The Bratte Group (DOE, 2008). Por esto se está impulsando la transición a redes eléctricas inteligentes con electricidad más asequible y medio ambiente mejor protegido. Para esto se requieren sensores y controles inteligentes, plataformas de comunicación, herramientas avanzadas de planeación y de funcionamiento y la dinámica de precios. Dentro de los beneficios que ofrecen las REI se tienen (DOE, 2008):

- Participación activa del consumidor
- Optimización en el uso de activos y operación eficiente
- Anticipación y respuesta ante perturbaciones del sistema
- Generación distribuida de energías renovables y almacenamiento
- Respuesta de la demanda
- Creación de nuevos productos, servicios y mercados

De la misma forma en Colombia, el incremento de demanda de energía en los últimos 10 años ha sido del 33% y se proyecta un crecimiento adicional de 40% para el año 2028, como se muestra en la Figura 1-1 (SIEL, 2014). La demanda de energía en Colombia para

el 2014 se esperaba que estuviera en 62.445 GWh de los cuales el 32% es demandado por el mercado regulado y el 68% por el mercado no regulado.

Figura 1-1: Demanda de energía eléctrica en Colombia (UPME, 2014)



Shawkait Ali (2013), plantea que los medidores inteligentes permiten comunicación bidireccional entre el consumidor y el sistema eléctrico, tienen la capacidad de suministrar datos en tiempo real sobre el uso de electricidad, medir la electricidad generada localmente, ofrece la posibilidad de realizar lecturas de forma local o remota y permite la interconexión entre redes y dispositivos.

El principal objetivo de la medición inteligente es el control del consumo directo y la eficiencia energética. Estos influyen en el comportamiento del consumidor y son incentivados con beneficios económicos. Los datos generados y transmitidos por los medidores inteligentes mejoran la operación de la red, el seguimiento y control del uso de la energía (Shawkait Ali, 2013).

En el texto de la Tabla 1-1 se muestran los parámetros con los que cuentan los medidores inteligentes convencionales:

Tabla 1 -1: parámetros de los medidores inteligentes (Shawkait Ali, 2013).

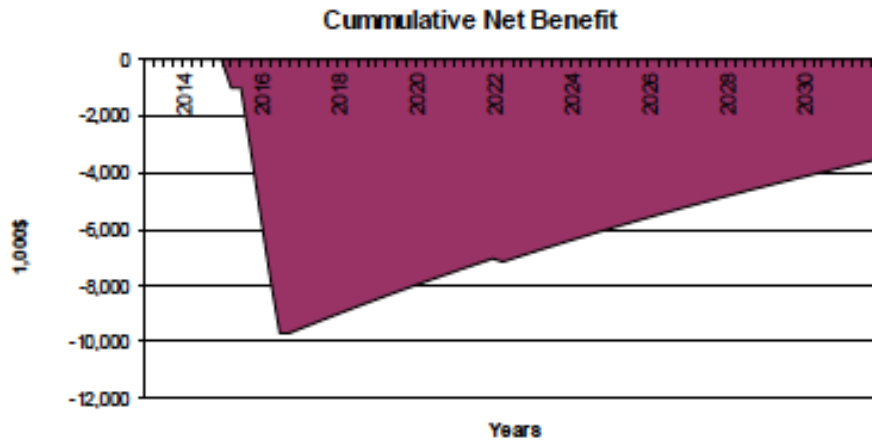
Función	Parámetros
Medidas Básicas	Voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia, frecuencia
Medidas Extendidas	Desplazamiento de fase, ángulo de fase, armónicos de voltaje y corriente, distorsión de corriente, máximos valores fecha y hora, asimetría de voltaje
Contador	Energía aparente, energía activa y reactiva, demanda de potencia en el último periodo, reloj horario
Interfaces Entradas/Salidas	Ethernet, conexiones simultáneas, protocolo, puerta de enlace
Reloj/Calendario	Entradas digitales, salidas digitales, tensión de funcionamiento Hora real, función calendario, conmutación de horario verano/invierno
Pantalla /Operación	Pantalla, indicador, operación, lenguaje

Una de las barreras para la inversión en redes inteligentes en Latinoamérica son los bajos promedios de consumo de energía dado que los beneficios son menos perceptibles por el consumidor lo que reduce su interés (DNV KEMA Energy & Sustainability, 2012).

La entrada de los medidores inteligentes se hace viable cuando hay un ahorro percibido de los consumidores (N. Castaño, 2013). Sin embargo, el Smart Grid Research Consortium – SGRC- (2014), menciona las razones por las cuales los medidores inteligentes no son atractivos de inversión para las empresas de electricidad. Uno de los problemas es que a pesar de la reducción de costos no se cuenta con el ancho de banda requerido para las funciones de gestión del suministro. Otro de los problemas es la estrategia para la implementación de medidores inteligentes, pues debido a ciertas condiciones de la red, de la operación del sistema, factores socioeconómicos y características de los consumidores, los beneficios de implementar medidores inteligentes no se alcanzan a percibir.

En la Figura 1-2 se muestra el beneficio neto de un caso de negocio con un sistema de medidores inteligentes:

Figura 1-2: Utilidad de caso de negocio con un sistema de medidores inteligentes. (SGRC, 2014)



Con el fin de promover la creación de valor a las empresas de energía, el desarrollo del mercado y los mecanismos de incentivos en la demanda, se deben incluir medidores inteligentes. El despliegue de estos es importante para generar los flujos de información necesaria entre los actores, establecer los incentivos y roles apropiados para obtener una demanda flexible (Katz, 2014).

Los medidores inteligentes ponen los datos de uso de energía de los consumidores a disposición de los comercializadores minoristas. Esto está permitiendo la innovación en estructura de tipo ofertas de tarifas de electricidad en los mercados de energía (Granell, Axon, and Wallom, 2014).

Con lo mencionado en el presente capítulo, se observa que ante el incremento de la demanda de electricidad en los próximos años es importante hacer que la infraestructura actual sea más eficiente. La gran cantidad de datos que se generan a diario, como los que proporcionan los medidores inteligentes, son objeto de estudio por los científicos en la actualidad para crear aplicaciones en diversas áreas del conocimiento. En el capítulo siguiente se muestra a que se hace referencia cuando se habla de gran cantidad de datos y sus aplicaciones.

Capítulo 2

2.Estado del Arte de los Grandes Datos y sus Diferentes Aplicaciones

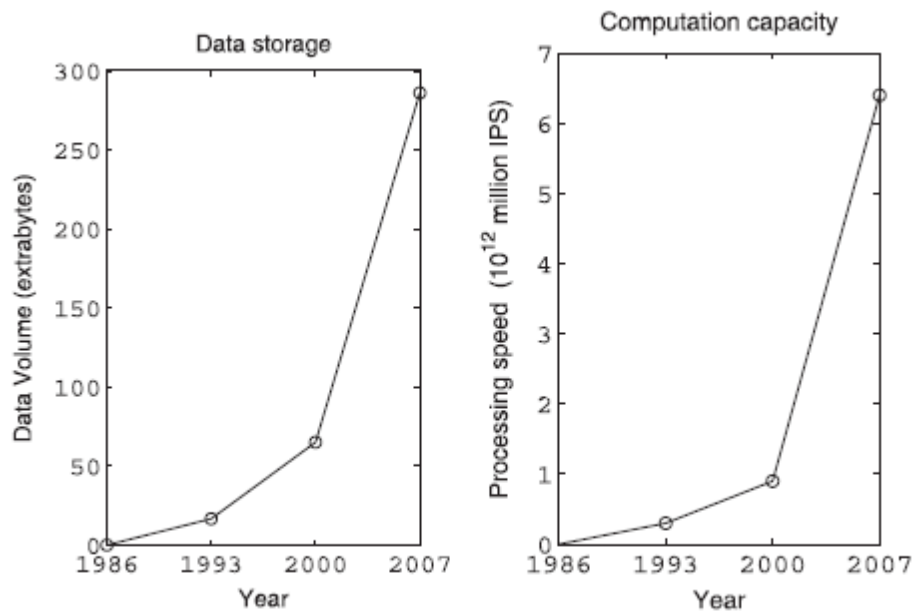
En los últimos años 20 años, los datos se han incrementado a gran escala a nivel mundial acuñándose el término *Big Data* para referirse a estos enorme volúmenes de datos (Chen, Mao, Zhang, 2014). Dichos datos no siempre están estructurados y requieren mayor análisis en tiempo real. Organizando y gestionando dichos datos es posible generar información de alto valor para la industria, la academia y los gobiernos.

2.1 Big Data

Big Data es un concepto abstracto con diversas definiciones. Sin embargo, la International Data Corporation (IDC) define Big Data como una nueva generación de tecnologías y arquitecturas diseñadas para la extracción de valor económico a los grandes volúmenes de datos. Con la disposición de diversas fuentes tanto el volumen de datos como la capacidad de computacional se han incrementado de forma exponencial en los últimos años (Chen et al., 2014).

En la Figura 2-1 se muestra el crecimiento que han tenido el almacenamiento de datos y la capacidad computacional desde 1986 hasta 2007.

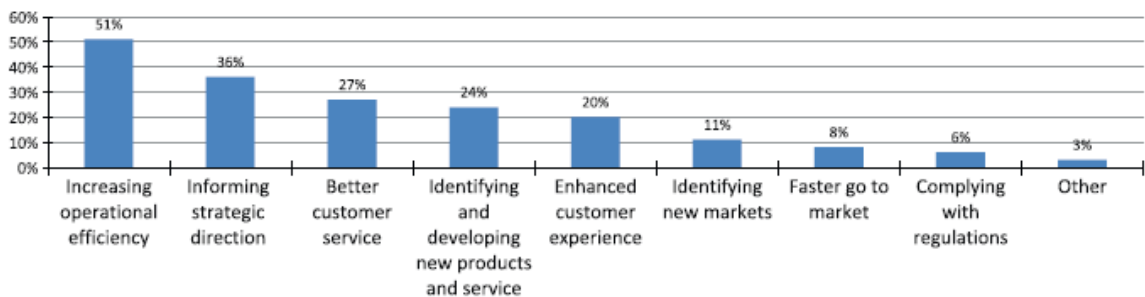
Figura 2-1: Tamaño de datos y Capacidad de computación. (Chen, Zhang, 2014)



Según el Instituto McKinsey, (Chen, Zhang, 2014) los Grandes Datos tienen el potencial de transformar las economías, se convertirán en la competencia básica de las empresas por las ventajas que puede ofrecer: aumento en la eficiencia operativa, desarrollo de mejores servicios para los clientes identificación de nuevos productos y servicios

En la Figura 2-2 se muestran en porcentajes el mejoramiento que ofrecen los Grandes Datos en los diferentes procesos de las empresas:

Figura 2-2: Ventajas que ofrecen los Grandes Datos en las empresas. (Chen, Zhang, (2014)



Los grandes datos están relacionados con las ciencias computacionales y son implementados en sistemas de computación distribuida. Las aplicaciones se encuentran en muchas disciplinas científicas como la astronomía, ciencias atmosféricas, medicina, genómica, biología, ciencias de la tierra. Otras aplicaciones están en el análisis de redes sociales, comunidades en línea sistemas de reputación y predicción. Las aplicaciones principales se encuentran enfocadas a los negocios, la administración pública y a las investigaciones científicas (Chen, Zhang, 2014).

2.2 Características de los Grandes Datos

Grandes datos hace referencia al grupo de técnicas y tecnologías que requieren nuevas formas de integración para descubrir el valor escondido de los grandes grupos de datos de alta complejidad y a gran escala. Los grandes datos se caracterizan por (Hashem et al., 2014):

- **Volumen:** se refiere a la cantidad de todos los tipos de datos generados de diferentes fuentes y continúan expandiéndose.
- **Variedad:** se refiere a los diferentes tipos de datos agrupados vía sensores, teléfonos inteligentes, redes sociales etc. Los tipos de datos incluyen texto, audio, video, imagen, registros de datos en formatos estructurados y no estructurados.
- **Velocidad:** se refiere a la velocidad de transferencia de los datos. El contenido de datos cambia constantemente por el gran flujo que llega de diferentes fuentes.
- **Valor:** se refiere al proceso de descubrir el valor oculto de la gran cadena de grupos de datos de diferentes tipos y rápida generación.

2.3 Volumen de Datos

La gran cantidad de información acumulada es producto del almacenamiento de información de la industria, bases de datos de la población, registros médicos, impuestos, transacciones financieras en línea, interacción con redes sociales (IBM, 2012). Se estima que diariamente se generan 2,5 quintillones de bytes en el mundo, que entre el 2011 y el 2016 la tasa de crecimiento anual de datos móviles sería de 78% (Cisco, 2012).

2.4 Variedad y Fuentes de Datos

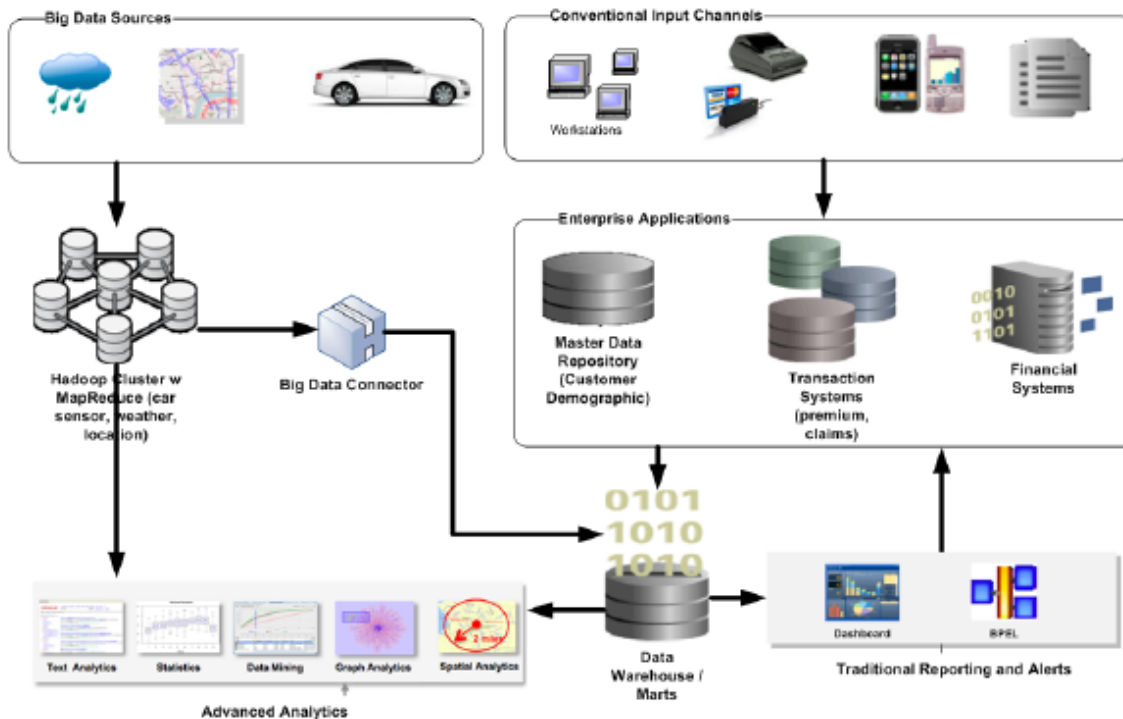
En las comunicaciones máquina a máquina (M2M) también se crean grandes cantidades de datos: sensores digitales, medidores eléctricos de consumo de energía. Se estima que hay más de 30 millones de sensores intercomunicados en los diferentes sectores de la economía con una esperanza de crecimiento anual del 30% (IBM, 2012).

Existe una gran variedad de tipos de datos que se pueden analizar, se clasifican en (Oracle, 2012):

- Las obtenidas en páginas de internet y redes sociales.
- M2M: obtenidos a través de sensores con datos de velocidad, temperatura, presión, variables meteorológicas, variables químicas.
- Transacciones: registros de facturación, registros de llamadas, transacciones financieras.
- Biométricos: huellas digitales, escaneo de retina, genética.
- Generación humana: notas de voz, llamadas telefónicas, correos electrónicos, documentos electrónicos.

En la Figura 2-3 se muestra un diagrama del flujo de Grandes datos desde sus diferentes fuentes, pasando por su análisis hasta las diferentes aplicaciones:

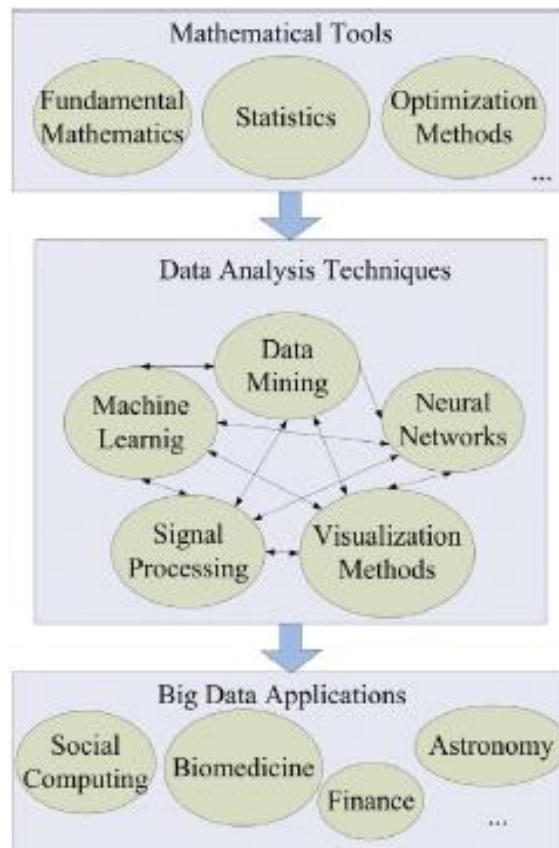
Figura 2-3: Diagrama de arquitectura de flujo de datos (Oracle, 2012)



Para gestionar los Grandes Datos se requiere desarrollar aún más las tecnologías para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos. Las herramientas actuales se clasifican en tres clases: herramientas de procesamiento por lotes, por flujo y de análisis interactivo. La mayoría de herramientas de procesamiento por lotes se basan en una infraestructura llamada Apache Hadoop (Lam, 2011). Las técnicas de los Grandes Datos implican estadística, minería de datos, aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de redes sociales, procesamiento de señales, reconocimiento de patrones, métodos de optimización y métodos de visualización (Chen, Zhang, 2014).

En la Figura 2-4 se muestra un esquema de las diferentes herramientas, técnicas de análisis y aplicaciones de Grandes Datos:

Figura 2-4: Técnicas de Grandes Datos. (Chen, Zhang, 2014).

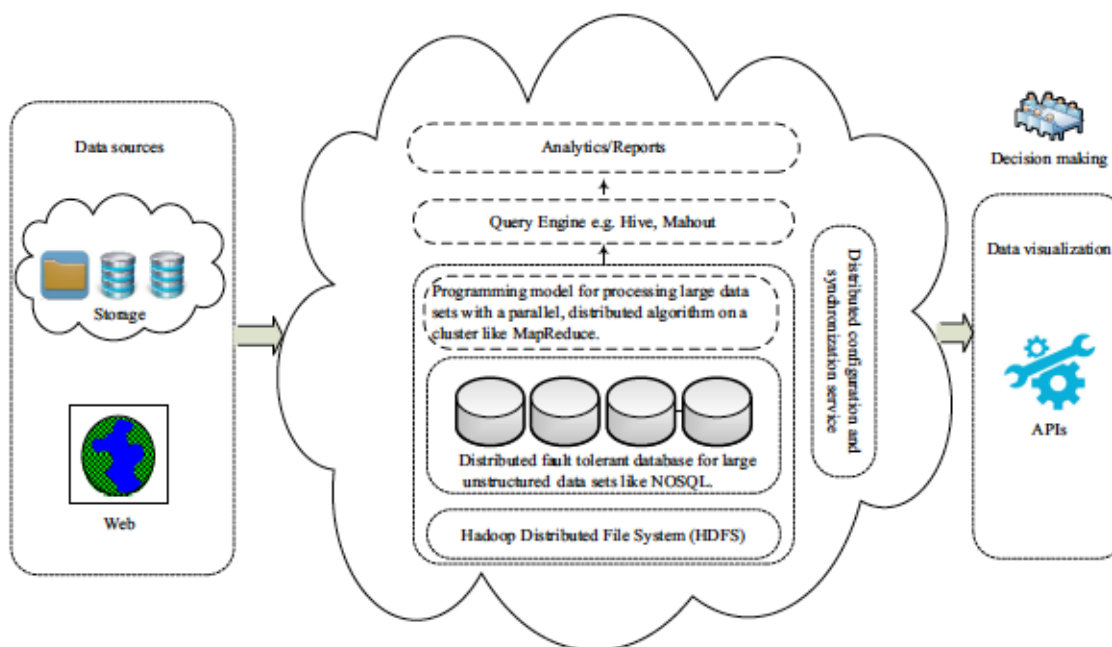


2.5 Computación en la Nube

La computación en nube es una tecnología para desempeñar computación paralela a gran escala. Se elimina la necesidad de mantener hardware costoso, espacio físico y software. Las principales ventajas de la computación en la nube incluyen la virtualización de los recursos, procesamiento paralelo, seguridad e integración de servicios de datos con escalabilidad en almacenamiento de datos lo que reduce costos de mantenimiento de infraestructura, gestión en eficiencia y acceso de usuarios. La gran cantidad de datos de la nube y la Web son almacenados en bases de datos distribuidas y procesados con modelos de programación para grandes conjuntos de datos con algoritmos distribuidos en paralelo en clúster (Hashem et al., 2014).

En la figura 2- 5 se muestra un diagrama de la computación en la nube para el uso de Grandes Datos:

Figura 2-5: Uso de computación en la nube de Grandes Datos (Hashem et al., 2014).

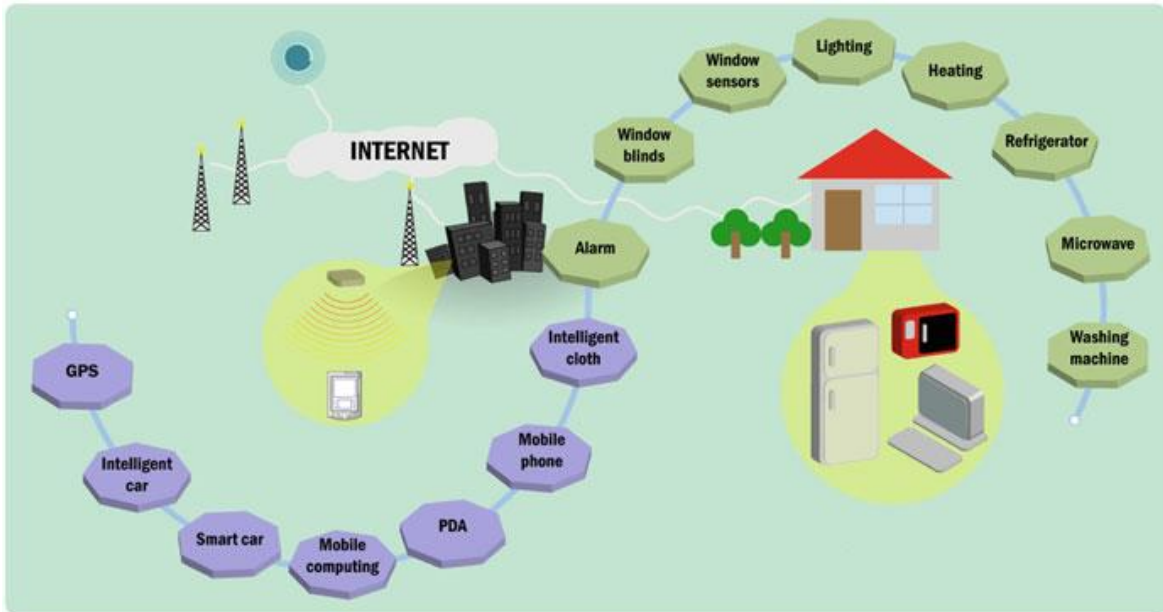


2.6 Internet de las cosas (IoT)

La idea básica del Internet de las cosas, IoT por su sigla en inglés, es conectar diferentes objetos en el mundo real mediante identificación por radio frecuencia (RFID por su sigla en inglés), lectores de códigos de barras, sensores, teléfonos inteligentes, entre otros, para intercambiar información de forma que puedan complementarse unos a otros en tareas comunes. La característica principal es el acceso a cada objeto en el mundo físico tal que puedan ser dirigidos, controlados e intercomunicados. Dado los diferentes tipos de datos recogidos, los grandes datos generados por IoT tienen diferentes características de heterogeneidad, variedad, estructuración, ruido y están en constante crecimiento. Muchos operadores de IoT han descubierto que la importancia de los grandes datos, ya que su éxito depende de la integración de grandes datos y la computación en la nube. (Chen et al., 2014).

En la Figura 2-6 se hace una ilustración de la integración de los objetos conectados a internet con los Grandes Datos:

Figura 2-6: Arquitectura de Internet de las cosas (Chen et al., 2014).



2.7 Grandes Datos en el Campo Investigativo

En el campo investigativo, los grandes datos están transformando la manera en que se conducen las investigaciones para resolver problemas complejos en cuanto a descubrimientos científicos, problemas ambientales, biomédica, educación, salud, seguridad nacional entre otros. Por ejemplo, los siguientes proyectos se han llevado a cabo con el uso de los grandes datos (IBM, 2012):

- Proyecto *Interaction and Computation Laboratory* (CLIC) estudia la comunicación verbal y no verbal usando métodos tanto computacionales como cognitivos.

-
- *Lineberger Comprehensive Cancer Center*, del grupo de Bioinformática de la Universidad de North Carolina, utiliza Hadoop y Hbase para analizar datos producidos por los investigadores y soporta investigaciones con el cáncer.
 - En la India, el PSG College of Technology analiza secuencias de proteínas para determinar enlaces evolutivos y predecir secuencias moleculares.
 - En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas utiliza Hadoop para investigaciones del sistema de inteligencia territorial de Bogotá.
 - La Universidad de Maryland, entre otras, trabaja en la iniciativa académica de computo en la nube IBM/Google, acerca de lingüística computacional, modelamiento del lenguaje, bioinformática, análisis de correo electrónico y procesamiento de imágenes.

Empresas de software representativas en el mercado, tales como IBM, SAP con la herramienta SAP Hana, Oracle con Big Data Appliance, Microsoft con SQL Server 2012 y el sistema Hadoop ya ofrecen soluciones de análisis de Grandes Datos para empresas de diferente sectores (Business Software, 2013).

2.8 Integración Dinámica basada en Lenguajes de Dominio Específico

Las tecnologías de integración dinámica basada en Lenguajes de Dominio Especifico (DSL) de tareas analíticas de grandes datos, en el entorno de la computación en nube, se dirige hacia la implementación de una nueva forma de alto nivel en la construcción de análisis científicos y generación de conocimiento. Grandes datos pueden ser usados en combinación con computación evolutiva para extenderse a descubrimientos científicos y con simulación multiobjetivo para la exploración ambientes de sistemas sociales complejos (Kovalchuk et al., 2014).

2.9 Ambiente de Grandes Datos en la Industria 4.0

Hoy en día, en las fábricas de la industria 4.0, las máquinas se conectan como una unidad de colaboración. Esta evolución requiere la utilización de herramientas de predicción, por lo que los datos deben ser procesados sistemáticamente para obtener información y explicar las incertidumbres. Las innovaciones basadas en CPS (por su sigla en inglés Ciber-Physical-Systems) son tendencias y desafíos para la industria. La gestión de datos y distribución en ambientes de grandes datos es fundamental para el logro de autoconciencia y auto aprendizaje. La adaptación de los pronósticos y algoritmos de gestión para implementar eficientemente tecnologías actuales de gestión de datos requiere más investigación y desarrollo. La minería de datos de la generación de contenido humano ha sido un gran impulso a la red social. Muchas empresas se han dedicado a este nuevo tema de investigación, concentrados en la minería social o comercial para a predicción de ventas, relación y agrupación de usuarios entre otros. En la industria 4.0 los análisis inteligentes y CPS se enfocan en una nueva forma de pensar la gestión de producción y transformación de la fábrica con impactos importantes en cuanto a: predicción del estado de las máquinas que reducen el tiempo de inactividad, flujo de información para la optimizar la gestión de la producción y gestión de las cadenas de suministro (Lee, Kao, and Yang, 2014).

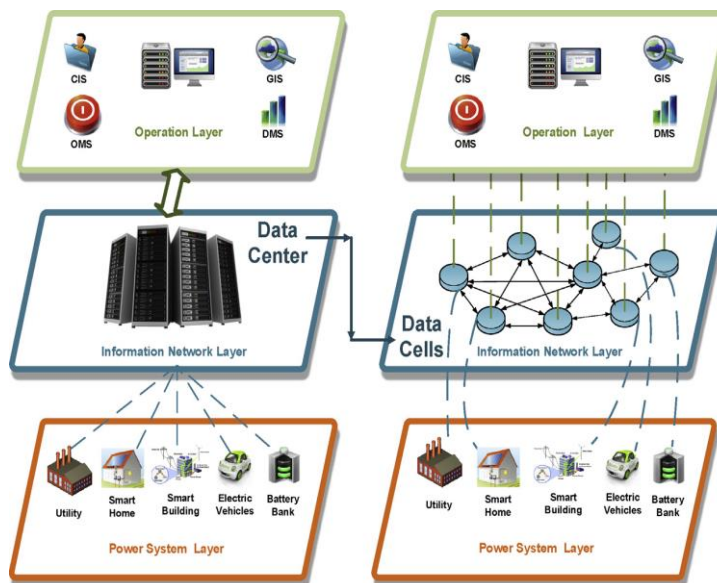
2.10 Sistemas Distribuidos de Almacenamiento de Datos en la Red Eléctrica

En la medida que el número de contadores inteligentes aumenta, la arquitectura centralizada no será capaz de soportar el procesamiento de grandes datos. Por esto se hace necesario un sistema de gestión de datos para facilitar el despliegue real de los futuros sistemas de distribución residencial. La nueva generación de sistemas de distribución residencial son los CPS (Ciber-Physical Systems). La capa cibernética incluye la red de computación, sistemas de comunicación e informática, mientras que el sistema de energía se encuentra en la capa física. El sistema está dividido en tres capas: la de operación, la de red de información y la del sistema de alimentación. A través de celdas de datos distribuidas se procesa gran cantidad de información de la red eléctrica,

ofreciendo alta disponibilidad de datos que pueden ser adaptados con otras aplicaciones de datos a gran escala (Zhang et al., 2014).

En la figura 2- 7 se muestra un esquema de la arquitectura de un sistema distribuido:

Figura 2-7: Arquitectura del Sistema distribuido (Zhang et al., 2014).



La visión de las redes inteligentes está incluida tanto la “interoperabilidad sintáctica” para que físicamente sea capaz de intercambiar información así como la “interoperabilidad semántica” para el entendimiento e interpretación de su significado. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y Electric Power Research Institute (EPRI), han respaldado este fin armonizando los dos estándares Common Information Model (CIM) y el IEC 61850 como la ontología unificada global en las redes inteligentes. Sin embargo, mantener dicha unificación en todos y cada uno de los miembros de un sistema distribuido puede resultar no tan práctico ni factible. Por otra parte, la red inteligente será un conglomerado de componentes heterogéneos y futuras arquitecturas que deben representar a todos los activos existentes en la red eléctrica y la ayuda de entidades del sistema para ejecutar actividades complejas. De acuerdo con este contexto se plantean arquitecturas de nodos inteligentes distribuidos por toda la red inteligente. Cada nodo tiene solo un perfil de ontología global. Por otro lado, agregando capacidad de razonamiento, se acerca a la inteligencia distribuida requerida y toma de decisiones a nivel local. Se cumple con los requerimientos de tiempo real usando herramientas de integración de cadenas de

datos dentro del nodo inteligente. La inteligencia de la arquitectura soporta razonamiento semántico de cadenas de datos (Nieves et al., 2013).

2.11 Servicios Basados en Grandes Datos

Comercialmente ya se explotan los conocimientos de los Grandes Datos en las Redes Eléctricas Inteligentes. La empresa Nimbeo en España ofrece servicios basados en el concepto de Grandes Datos, cuenta con la herramienta Hermes para la gestión de redes inteligentes estudiando el comportamiento de las distribuidoras eléctricas aplicado a la detección de potenciales fraudes e incidencias (robos de electricidad o fallas) y a monitorear la seguridad de la red. La empresa clasifica tres funciones básicas de gestión avanzada de redes inteligentes (Nimbeo, 2012):

- Control de contadores: geolocalización de incidencias y toma de datos en cuanto a pérdidas técnicas, estado y topología de la red, flujos de potencia, alertas, notificaciones y métricas.
- Predicción y estimación: emplea algoritmos de inteligencia artificial para análisis predictivo con el fin de calcular la cantidad de energía a generar o determinar el consumo de un usuario anticipadamente.
- Seguridad: control eficaz de acceso y tráfico de la red inteligente con el fin de detectar fraudes, encriptado de las comunicaciones y protección de los dispositivos.

2.12 Resumen del capítulo

En el presente capítulo se mostró el concepto de grandes datos, sus características y las diferentes tecnologías para el manejo de grandes cantidades de información. De esta misma forma, se mencionaron tanto las aplicaciones que puede tener en diferentes áreas investigativas como en las redes eléctricas inteligentes. En el siguiente capítulo se mostrarán algunas experiencias internacionales con el análisis de gran cantidad de datos que proporcionan los contadores inteligentes del consumo residencial.

Capítulo 3

3. Experiencia Internacional de los Grandes Datos Aplicados a los Consumidores Residenciales de Electricidad

3.1 Iniciativas en políticas regulatorias para la adopción de medidores inteligentes

3.1.1 Brasil

El regulador Brasileiro ANEEL estableció en 2012 que los comercializadores de electricidad estén obligados a ofrecer medición inteligente dentro los siguientes 18 meses para las instalaciones nuevas y a solicitud de los clientes (excluyendo consumidores de bajos ingresos). Permitted ofrecer el uso de dos tipos de medidores inteligentes (Colombia Inteligente, 2012):

- Uno que permita al usuario tener acceso a información de tarifas “tiempo-de-uso” o tarifa blanca sin costos adicionales.
- Otro tipo que proporcione acceso a información del consumo individual con opción de ser cobrado al usuario.

El proyecto de regulación se hace con miras al desarrollo de la microgeneración, mejorar la eficiencia de los recursos energéticos, que las empresas puedan ofrecer servicios adicionales a los consumidores y adoptar nuevos mecanismos de precios.

3.1.2 Europa

En Europa, la organización internacional que se ocupa de la política energética, Energy Community, mediante la directiva 2009/72/EC, recomiendan a los estados miembros que (Parlamento Europeo, Consulado de La Unión Europea, 2009):

- Deben estar en la capacidad de implementar los sistemas de medición inteligente, siempre y cuando sea económicamente razonable y rentable para los consumidores.
- Con el fin de promover la eficiencia energética, la autoridad regulatoria debe recomendar a las empresas que optimicen el uso de electricidad mediante la prestación de servicios de energía, desarrollando fórmulas de precios innovadores o introducir sistemas de medición inteligente.
- Velar por la aplicación de los sistemas de medición inteligente que contribuyan a la participación activa de los consumidores en el mercado eléctrico.
- Preparar un calendario con objetivos a 10 años para la implementación de contadores inteligentes.
- Al menos el 80% de los consumidores deben estar equipados con un medidor inteligente en 2020.

3.2 Implementaciones a Gran Escala

3.2.1 Europa: diferencias en hábitos de consumo

En el análisis de países europeos acerca de las tecnologías de eficiencia energética residencial, conservación de la energía, conocimiento y actitudes de los consumidores se usaron bases de datos de aproximadamente 5000 hogares en 10 países de Europa y Noruega para encontrar la relación entre las medidas de la conducta de consumo de energía y las características de los hogares. Se encontró que los patrones de composición de edad por familia tienen un impacto distinto sobre el comportamiento del uso de energía en los hogares. Los hogares con niños pequeños son más propensos a adoptar tecnologías de eficiencia energética y prácticas de conservación de la energía. Por el contrario, los hogares con alta participación de la tercera edad dan más importancia al ahorro financiero y niveles más bajos de la adopción de tecnologías de eficiencia

energética. De esta misma forma, la población con educación universitaria muestra más importancia al ahorro de energía por razones ambientales y por razones financieras. La influencia de la educación también varía mucho entre países y se evidencia una división europeo-oriental con el occidental con respecto a las prácticas de ahorro de energía (Mills and Schleich, 2013).

3.2.2 Irlanda del Norte: efectos de la retroalimentación al consumidor residencial de electricidad

En un experimento natural a gran escala realizado en Irlanda del Norte con el uso de un conjunto único de datos se analiza el efecto de la información de uso en tiempo real sobre consumo de electricidad residencial. En 2002, la empresa de servicios públicos sustituyó los medidores prepago por medidores inteligentes que le permitían monitorear el uso en tiempo real. Se encontró que el suministro de información se asocia con una disminución en el consumo de electricidad entre 11% a 17%. Esta reducción es distinta de acuerdo con diferentes especificaciones, métodos de corrección del sesgo y submuestras de los datos originales. La investigación sugiere que los hogares responden a la provisión de información con el uso de menos electricidad de acuerdo con el tipo de hogar, el calor, las características del hogar y el plan de pago. Las empresas de servicios públicos reducen sus ingresos cuando se reduce el consumo pero también ahorran costos de operación mediante uso de contadores inteligentes, lo que anula las pérdidas en la utilidad. La empresa de electricidad Northern Ireland Electricity (NIE) tenía previsto instalar 75.000 medidores inteligentes inicialmente pero ahora tiene más de 250.000 lo cual indica que tiene beneficios, pues también ayudan a reducir el fraude y al manejo de la carga máxima mediante acciones de respuesta en la demanda como los precios dinámicos (Gans, Alberini and Longo, 2013).

3.2.3 Austria: efectos de la retroalimentación en la demanda residencial de electricidad

En un estudio en un área de más de 1500 de hogares de Linz, Austria, se analizaron los efectos de proveer información del consumo de energía a los usuarios. Cerca de la mitad de los hogares, como grupo piloto, recibieron información acerca del consumo junto con

medidas de ahorro, mientras que el resto de hogares sirvieron como grupo de control. La participación en el grupo piloto fue aleatorio. Sin embargo, los hogares tenían la posibilidad de escoger la forma de recibir la información: entrando a un portal web o escrita por correo postal. Los resultados muestran que la información entregada al grupo piloto corresponde con ahorros alrededor de 4.5% para el hogar promedio. Los resultados de la regresión por cuartiles, para los percentiles del 30 al 70, la información del consumo de electricidad es igual de importante y los efectos son más altos en términos absolutos como en la cuota de consumo. Para los percentiles por fuera de este rango la información de consumo no parece tener mayor efecto y no se encontraron diferencias en los efectos de entregar la información por el portal web o por correo postal (Schleich et al., 2013). Con esto se podría concluir que el ahorro se da por un 40% de los hogares que tienen características de consumo de electricidad similares y responden a la retroalimentación de información de consumo, independientemente del medio de comunicación. No todos los hogares responden a la retroalimentación de la información de consumo.

3.2.4 Australia: convirtiendo datos de medidor inteligente en información procesable

La compañía de distribución de electricidad Jemena Electricity Networks (JEN), en el estado de Victoria, Australia, llevó a cabo un programa de gobierno encargado de desplegar contadores inteligentes a 310.000 consumidores residenciales y pequeños comercios. El 50% de los contadores inteligentes se instalaron en diciembre de 2012 y se terminó a finales del 2014. Estos medidores inteligentes capturan los datos de uso de energía cada 30 minutos, que se transmiten a los sistemas información centralizados donde JEN investiga lo revelado por los contadores. Usando técnicas de análisis de datos, la relación de eventos de tensión se analiza con respecto a la temperatura ambiente, momentos del día, días de la semana, la duración, la magnitud y el estado integrado de la generación. El análisis exploratorio de datos revela correlación entre los eventos en la tensión y la temperatura ambiente, el impacto de las celdas fotovoltaicas y condiciones de carga en las subestaciones y consumidores (Wong, Barr, Kalam, 2013).

3.2.5 California: programa de respuesta en demanda

La empresa San Diego Gas & Electric (SDG&E) realizó en 2011 la implementación de 1,4 millones de medidores inteligentes en California para la entrega de datos en tiempo real a los consumidores. Luego de esto, emprendieron programas para desplazar los picos de consumo a horas de menor actividad e implementaron programas de precios dinámicos donde el usuario debe pagar más por tiempo de uso en ciertas horas. Con el aumento de paneles solares, conexiones para vehículos eléctricos y requerimientos de eficiencia, en 2015 se espera tener 25.000 clientes con energías renovables distribuidas (en su mayoría solar) que representan 168 MW de energía fotovoltaica en el sistema y 60.000 vehículos conectado en el territorio. Esta tendencia implica un gran reto de cargas variables para equilibrar. Para la gestión de análisis de datos SDG&E comienza con la plataforma Google Power Meter la cual fue dada de baja y cambiada por la plataforma construida por la empresa Itron, y se espera ser trasladada a la plataforma de la empresa Aclara. El siguiente paso de la empresa, como proyecto piloto, fue crear una serie de Redes de hogar (HAN) que incluye 500 pantallas y 800 termostatos inteligentes en los hogares (Greentechmedia, 2011).

3.3 Investigaciones

3.3.1 Austin Texas: análisis de perfiles de demanda de electricidad residencial

Usando datos de consumo de electricidad de 103 viviendas, en Austin Texas, se buscó determinar perfiles de la demanda de forma estacional, número óptimo de perfiles residenciales representativos normalizados dentro de cada temporada, establecer una correlación entre los perfiles y los datos de la encuesta a los hogares. Dentro de cada temporada, los hogares con patrones de uso de electricidad se clasificaron en grupos usando un algoritmo. Luego se usaron regresiones para determinar si las respuestas del propietario podrían servir como predictores para los resultados de agrupación. Los resultados indican que variables como si alguien trabaja desde casa, horas de televisión por semana, niveles de educación tienen correlaciones significativas con la forma del perfil de consumo, pero pueden variar con las estaciones. Los resultados también indican que políticas, como tiempo de uso o estructuras de electricidad de tiempo real, podrían tener

más probabilidades de afectar a los hogares de menores ingresos durante algunas temporadas de alto consumo en el año (Rhodes et al., 2014).

3.3.2 Estocolmo: potencial de eficiencia energética de los edificios

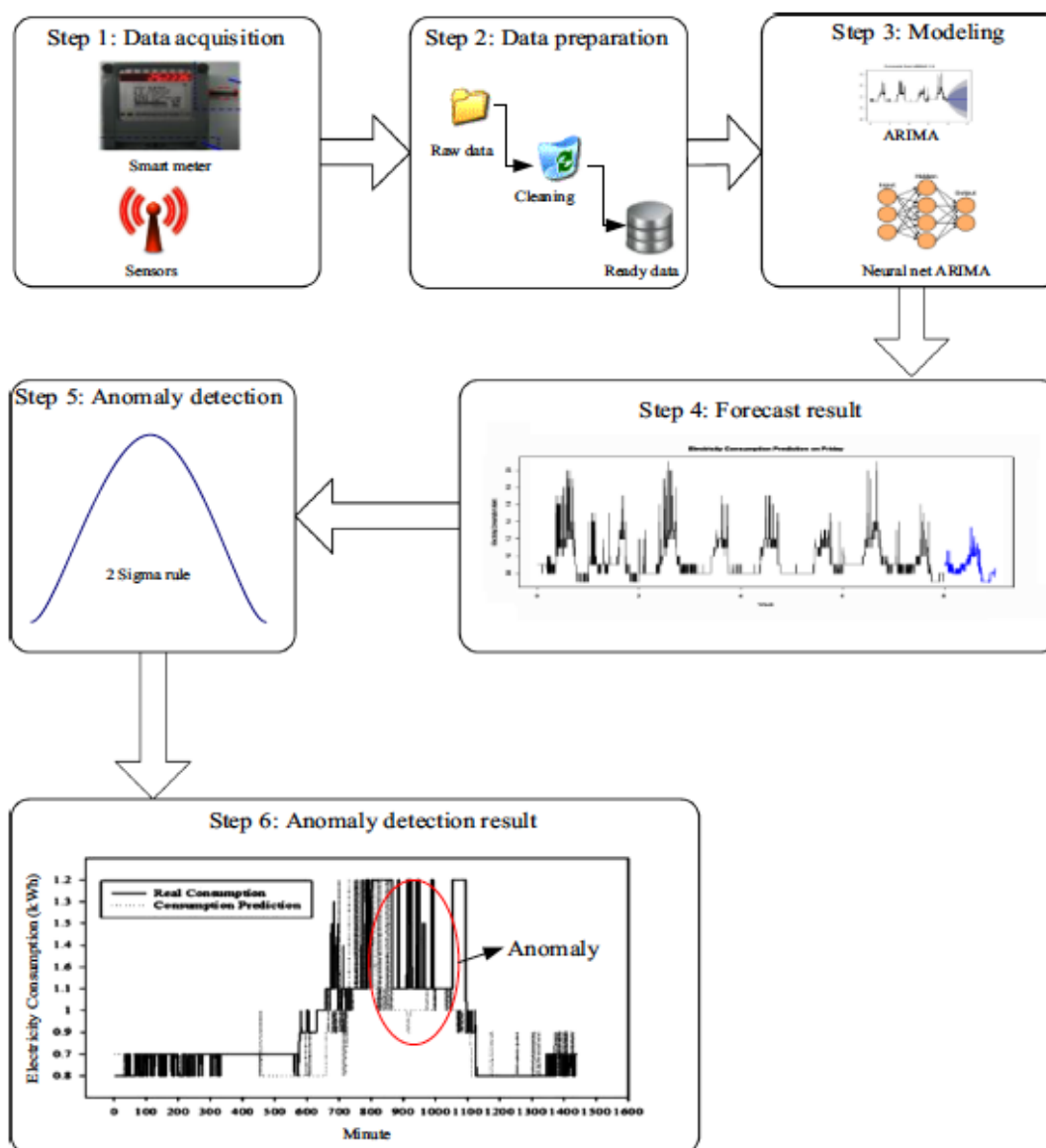
La ciudad de Estocolmo, en sus esfuerzos por lograr objetivos de lograr emisiones de 3 toneladas por habitante en 2020, evaluó el potencial de eficiencia energética de la ciudad en colaboración con la empresa de calefacción y de electricidad Fortum. Basándose en los datos del contador de facturación de las viviendas surgió una nueva comprensión del uso de la energía. El estudio reveló que una adaptación de los códigos de construcción existentes a los códigos de construcción actuales reduciría el consumo de calefacción en un tercio. Se encontró que los edificios menos eficientes en cuanto a energía fueron construidos entre 1926 y 1945, contrario a las opiniones imperantes. Los grandes datos utilizados junto con análisis geoestadísticos fueron decisivos para la comprensión de la dinámica energética de los edificios en toda la ciudad. Por lo tanto, los grandes datos de los medidores se pueden usar para la planificación de objetivos y políticas de sostenibilidad. La empresa de energía usó los datos de forma anónima ya que no podían ser utilizados para inferir el uso de la energía de las personas y organizaciones específicas. El uso de grandes datos es una tendencia con muchas probabilidades de aumento y está cambiando como las ciudades y las empresas operan (Shahrokni, Levihn and Brandt, 2014).

3.3.3 Taiwán: Detección de Anomalías en Tiempo Real

En un estudio de la National Taiwan University of Science and Technology usan grandes grupos de datos para la detección en tiempo real de anomalías en el consumo de electricidad en dos etapas: predicción del consumo y detección de anomalía. El consumo diario en tiempo real es predicho con un modelo de red neuronal híbrida ARIMA (por su sigla en inglés auto-regressive integrated moving average). En el estudio se realiza un experimento donde se obtienen los datos de consumo con un medidor inteligente. Los datos son transferidos automáticamente al servidor de aplicaciones en una base de datos

para su proceso. El modelo arroja como resultado el pronóstico de consumo de electricidad y es almacenado en la base de datos. Las anomalías son identificadas por la diferencia por el consumo real y el de predicción. Como resultado, lograron pronosticar en 3 minutos el consumo diario de la siguiente semana usando datos históricos de consumo de cuatro semanas y detectar anomalías de consumo de energía. Esto ayuda la construcción de planes de gestión de consumo de energía e identificar consumos inusuales de electricidad (Chou and Telaga, 2014). En la figura 3-1 se muestran las etapas del proceso detección de anomalías:

Figura 3-1: Etapas de detección de anomalías (Chou, Telaga, 2014).



3.3.4 Canadá: IESO

En el Reporte de investigación para Smart Grid Canada Conference 2012, la compañía Independent Electricity System Operator, acerca del consumidor y las Redes Eléctricas Inteligentes, cuestiona que tan preparados y dispuestos están los consumidores a ser parte de esta tecnología. El interés del consumidor depende del valor agregado que las REI les pueden proporcionar. En el estudio se muestra el nivel de entendimiento y favorabilidad que traen las REI, los medidores inteligentes y los hogares inteligentes. El estudio revela estadísticas acerca de la percepción de las implicaciones que tienen los consumidores de la adopción de las tecnologías para las REI, la disposición a pagar de más en el servicio electricidad para reducir las emisiones de carbono y los apagones de energía, cambios de comportamiento para aprovechar los precios en las horas no pico y mide su impacto en el beneficio. También se muestran estadísticas de los consumidores que tienen en uso acciones en cuanto a gestión de la energía y la intención de ejecutarlas en el largo plazo (IESO, 2012).

3.3.5 Google Power Meter

Google Power Meter fue lanzado como una herramienta libre para el monitoreo de energía con el fin de crear conciencia sobre la importancia de dar a las personas acceso a la información de su consumo de energía. La herramienta incluye características clave como la visualización de consumo de energía, comparación con los demás y recomendaciones personalizadas para ahorrar energía. El servicio, retirado en septiembre de 2011, mostró que el 71% de los clientes informaron cambiar el consumo como resultado de acceder a los datos de energía a través de pantallas del hogar y ahorros energéticos hasta del 11% (Goolge.org, 2011)

3.3.6 Oncor

El proyecto de grandes datos de Oncor involucra datos de consumo de electricidad cada 15 minutos de 3 millones de medidores inteligentes instalados. El proyecto, ejecutado por IBM en conjunto con Ecologic Analytics y Landis+Gyr, integra un sistema de medición con un sistema de gestión de interrupciones. El sistema de medición permite visualizar en

tiempo real el consumo, permitiendo a los consumidores desempeñar un papel activo en el seguimiento y conservación de la energía. Desde la ejecución, los hogares de Texas han registrado hasta un 40% de reducciones en consumo de energía. El sistema de interrupción informa automáticamente problemas de energía y apagones en cuestión de segundos. Hasta la fecha se han detectado más de un 20% de las interrupciones antes de las llamadas de los clientes. La red inteligente se basa en el hardware IBM POWER7 y software de base de datos IBM Infomix para manejar las enormes cantidades de datos generados por los contadores inteligentes (METERING, 2012).

3.3.7 Green Button

La empresa de energía Pepco Holdings en 2012 lanzó una herramienta llamada “Green Button” que ofrece a los clientes acceder a los datos de consumo de energía del hogar, a través de un portal web los clientes pueden descargar hasta 13 meses de consumo de energía por hora (Daily Finance, 2012).

Green Button es una iniciativa lanzada oficialmente en 2012 con la participación de más de 35 empresas de electricidad y servicios públicos hasta la fecha, quienes garantizan que 36 millones de hogares y empresas podrán acceder de forma segura a su propia información de la energía en un formato estándar. El estándar de los datos publicados se basa en Energy Services Provider Interface (ESPI) publicado por el consejo de Normas de Energía de América del Norte (NAESB) en 2011. El desarrollo de estándares de datos fue facilitado por el Grupo de Interoperabilidad de Redes Inteligentes y por el Instituto de Estándares y Tecnología (NIST). Algunas de las empresas suscritas a la iniciativa son: American Electric Power, Austin Energy, Baltimore Gas & Electric, Center Point Energy, Chattanooga EPB, Commonwealth Edison, Glendale Agua y Energía, National Grid, NSTAR, Oncor, Pacific Power, Pepco Holdings, PG & E, PECO, Portland General Electric, PPL Electric Utilities, Reliant, Rocky Mountain Power, SDG & E, Southern California Edison, TXU Energy y Dominion Virginia energía 8G (Energy.gov, 2014).

El estándar de datos ESPI consta de un formato XML para la información de uso de la energía y un protocolo de intercambio de datos que permita la transferencia de datos a un tercero con la autorización del cliente. El estándar de Green Button tiene la flexibilidad para

manejar diferentes tipos de datos de energía y la utilización de intervalo de tiempo. Los datos se pueden proporcionar en intervalos de 15 minutos, cada hora, diario, o intervalos mensuales dependiendo de la utilidad. Este estándar puede servir de apoyo en el futuro para la información del consumo de agua, gas natural y otros (Energy.gov, 2014). Esta iniciativa hace que todos los datos estén disponibles para el usuario, para la planificación y el análisis, asegurando la privacidad. La representación de los datos ha sido revisada por los equipos de seguridad cibernética en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología. El acceso de datos es controlado por el consumidor utilizando normas de autorización definidos por Internet Engineering Task Force (IETF) para asegurar que los participantes estén alineados con la corriente de la evolución de Internet (Green Button, 2014).

3.3.8 PG & E en Oregon

La empresa PG & E ha instalado 9 millones de medidores inteligentes desde la frontera de Oregon hasta Bakersfield con usos innovadores de la información y capacidad de identificar las interrupciones en tiempo real para ayudar a reestablecer el servicio de energía a los clientes. Los medidores inteligentes producen más de 100.000 millones de lecturas cada año. Cada mes entran al sistema de la compañía alrededor de 3 terabytes provenientes de los medidores inteligentes, y seguirá en aumento en la medida que las redes de gas y redes eléctricas continúen innovando (PG & E Conference, 2012).

3.3.9 Remodence

El proyecto REMODENCE, apoyado por el programa de Energía Inteligente de la comunidad Europea del 2006 al 2008, consistió en el monitoreo residencial para disminuir el uso de energía y las emisiones de carbono en Europa. A pesar de las mejoras significativas en la eficiencia energética, se ha logrado un aumento de 2% por año en el consumo de electricidad de los hogares de países de la Unión Europea durante los últimos 10 años y se espera que aumente si no se toman las medidas para contrarrestar esta tendencia. El consumo en el 2004 llegó a 744TWh y se estima que en el 2015 llegue a 854 TWh si se mantienen las políticas actuales. A través de un análisis de costo del ciclo vida en conjunto con mejoras en la tecnología se pueden usar políticas para combatir el nivel más rentable de la eficiencia para aparatos que serán vendidos en la próxima década. El impacto en las actividades de transformación del mercado en el sector residencial para el

año 2015 alcanzará reducir el 34% del consumo de electricidad con relación al consumo habitual, lo que representa casi 300 TWh. Esto se traduce en aproximadamente 150 millones de toneladas de CO₂ que se dejarían de emitir. Esto teniendo en cuenta que la expansión de la generación de electricidad de Europa se hará con ciclo combinado de gas natural y asumiendo pérdidas del 10% en transmisión y distribución, se ahorrarían alrededor de 60.000 millones de m³ de gas natural. Estas cifras representan el potencial de ahorro de electricidad más relevante de Europa (REMODENCE, 2014).

3.4 Conclusiones del capítulo

En las experiencias mencionadas en el presente capítulo se muestran las iniciativas del gobierno en políticas para promover la implementación la medición inteligente. Vemos cómo los datos de los medidores inteligentes revelan información de los hábitos de consumo, lo que permite segmentar a los usuarios con características similares de uso de la energía y de esta forma crear programas de respuesta en la demanda acordes con el patrón de consumo. En el capítulo siguiente se habla lo que se puede lograr en las redes eléctricas con el análisis de la gran cantidad de datos que provienen de los medidores inteligentes.

Capítulo 4

4. Oportunidades que Ofrece el Análisis de Grandes Datos en los Medidores Inteligentes

En las Redes Eléctricas Inteligentes los grandes datos se generan a partir de los hábitos de consumo de los usuarios, los datos de medición de los fasores, las infraestructuras de medición avanzada (AMI), los precios de mercados de electricidad, de los dispositivos y equipos en las redes de generación, transmisión y distribución (Chen, Mao, Zhang, 2014). En el libro *Big Data Related Technologies, Challenges and Future Prospects* (Chen, Mao, Zhang, 2014) mencionan que los Grandes Datos tienen el potencial para ser explotados en aplicaciones como:

- **Planeación de la red eléctrica:** con el análisis de datos en la red inteligente es posible identificar regiones con altas cargas eléctricas y frecuentes cortes. Incluso predecir fallas en las líneas de transmisión. Investigadores de la Universidad de California, diseñaron un mapa eléctrico con información en tiempo real suministrada por las empresas de energía. En el mapa se toman bloques de consumo de energía y se puede comparar el consumo con el ingreso promedio per cápita y tipos de construcción para obtener información de hábitos de consumo en diferentes grupos de la comunidad (Chen, Mao, Zhang, 2014).
- **Coordinación de la generación y el consumo de electricidad:** las redes requieren del equilibrio de la potencia entre la generación y el consumo de electricidad. Sin embargo, las redes actuales son unidireccionales donde la capacidad instalada de energía no se ajusta a la demanda. Por esto, los medidores inteligentes permiten la interacción entre el consumo y la generación de electricidad y así mejorar la eficiencia. Las comercializadoras de energía pueden leer datos históricos de consumo, ahorrando costos de mano de obra para la lectura del contador y analizar esta

información para ajustar los precios de forma que se pueda estabilizar los picos de consumo de energía (Chen, Mao, Zhang, 2014).

- **Acceso a las energías renovables intermitentes:** con Big Data las fuentes de energía renovables se pueden gestionar con mayor eficacia: la electricidad generada por las nuevas fuentes puede ser ubicada a las regiones con escasez de electricidad para complementar las fuentes tradicionales convencionales de generación (Chen, Mao, Zhang, 2014).

Además del consumo del cliente, los medidores inteligentes toman datos de otros parámetros en ciertos intervalos de tiempo y transmiten la información para su uso final. Gran cantidad de proyectos de instalación de contadores inteligentes, controladores de energía y electrodomésticos inteligentes están siendo implementados para aplicar tarifas dinámicas y respuesta en la demanda. Los medidores inteligentes son requeridos para la respuesta al precio y los grandes programas comerciales de respuesta de la demanda. Los proveedores de servicios públicos pueden emplear sistemas que recopilan información y analizan datos para optimizar operaciones, los costos de energía y servicios al consumidor (Siano, 2013).

4.1 Privacidad de los consumidores

La retroalimentación de la información puesta a disposición por los sistemas de medición inteligente podría tener implicaciones en la privacidad de los consumidores. La preocupación de los consumidores por su privacidad podría retrasar el despliegue de los medidores inteligentes si no se resuelve de forma oportuna y apropiadamente. La resolución de datos determina el tipo de información que se divulgue, resoluciones actuales de los AMI están entre 15 min y 1 hora (McKenna, Richardson, Thomson, 2011)

4.2 Gestión de energía del consumidor

La lectura manual de los medidores del consumo de energía eléctrica o gas es ineficaz para una empresa de servicios públicos. En (Chen et al., 2014) se propone una arquitectura de red de captura de datos de contadores conectado con un sistema de monitoreo basado

en HTML5, aplicable a dispositivos móviles para la gestión del consumo de energía o gas tanto de los consumidores como para la empresa de servicios públicos. Los grandes datos recolectados sirven para analizar los modelos de consumo de energía de los usuarios.

4.3 Patrones de consumo

Los medidores inteligentes o la infraestructura de medición avanzada (AMI) se están desplegando en muchos países del mundo y son el componente básico para la construcción de las redes inteligentes. La funcionalidad clave de los medidores inteligentes es la captura y transferencia de datos relativos al consumo y eventos tales como calidad de la energía y estado del medidor. En consecuencia se han generado grandes volúmenes de datos, velocidad de captura y complejidad, que representan grandes desafíos. Pasar de una lectura del medidor por mes a lecturas cada 30 minutos se transforma en 48 millones de lecturas por cada millón de consumidores. Las tecnologías de análisis de datos no solo deben lidiar con los datos de consumo sino con la información de los consumidores, sistemas meteorológicos, redes sociales, así como muchas lecturas basadas en el comportamiento. Teniendo la capacidad de analizar toda esta información, las empresas de servicios públicos pueden obtener una perspectiva de sus operaciones y activos para tomar medidas proactivas en lugar de reaccionar ante los eventos luego de que suceden, mejorar la toma de decisiones y planificación. Con los análisis de información se pueden generar patrones de carga que reflejan el comportamiento de los consumidores, los patrones se pueden agrupar para crear perfiles o segmentos de consumo que podría utilizarse en el pronóstico y control de la carga, detección de consumo anormal, diseño de ofertas tarifas de electricidad, estrategias de mercadeo con precios dinámicos o planes de energía prepagada (Alahakoon, Yu, 2013).

4.4 Predicción de pérdidas y ganancias en las empresas ante los cambios de tarifas de electricidad

Con aplicaciones de redes neuronales artificiales, máquinas de vectores de soporte y clasificadores bayesianos a conjuntos de datos de uso de energía eléctrica de 12.000 empresas de 44 sectores diferentes se investiga la predicción de que las empresas ganen o pierdan por los cambios de tarifa (Granel, Axon, Wallom, 2014).. Se han usado tres

características de cada compañía: su sector, categoría del perfil de carga y la media del consumo de energía. Se usan cambios de tarifa estática, tarifa dinámica con precios cada media hora y un factor de elasticidad de precios (Granell, Axon, Wallom, 2014).

4.5 Aporte de las técnicas computacionales

“Tener muchos datos significa tener muchos hechos no organizados. Una vez organizados los datos es cuando se puede obtener información. Tener grandes datos significa tener un conjunto de datos tan grande como para desafiar la comprensión humana” (Energy, 2013).

La universidad de Washington y Pacific Northwest National Laboratory se asociaron recientemente para crear el Instituto Noroeste de Computación Avanzada, el cual trabaja en desarrollos enfocados en la seguridad de información de un conjunto de grandes datos. Van a estar abordando grandes desafíos como el cambio climático y la gestión de la energía. Los modelos computacionales pueden ayudar a explicar cómo el cambio climático impacta los recursos naturales. Los datos de los teléfonos inteligentes se pueden utilizar para mejorar la vida urbana, por ejemplo la disminución de inactividad de tráfico y al mismo tiempo las emisiones de carbono de los automóviles. La mejora de las técnicas computacionales pueden ayudar a diseñar una red inteligente para el suministro confiable de energía (Energy, 2013)

4.6 Incentivo de EEUU al uso y protección de datos de consumo de energía

Bajo la ley de recuperación en EEUU se han instalado 15 millones de contadores inteligentes con lo que las empresas de servicio públicos están entregando herramientas web y software que ayudan a los clientes a identificar formas inmediatas para reducir el consumo y ahorrar dinero. Sin embargo, la capacidad de los contadores inteligentes va más allá del ahorro de energía en el hogar. Los dispositivos también están ayudando a los proveedores de electricidad a mejorar la confiabilidad de energía para los clientes y reducir los costos de operación y mantenimiento. La empresas de electricidad saben al instante donde se producen los cortes y restaurar el servicio con mayor rapidez (Energy, 2013).

Esta evolución de la red eléctrica también está creando oportunidades de innovación en los servicios de electricidad que permiten el crecimiento económico. El acceso de datos de energía, que actualmente se subutilizan, está canalizando el desarrollo de productos y servicios que permiten a los consumidores tomar el control de la energía consumida. El Departamento de Energía dio paso a 50 ideas innovadoras de aplicaciones web y móviles para cambiar como los consumidores y las empresas piensan y usan sus datos de energía en los diferentes sectores como residenciales, comerciales, vehículos eléctricos entre otros. El aumento al acceso a los datos de energía también se está dando importancia a la protección de la privacidad de la información del consumidor. La administración del gobierno de EEUU lanzo la Declaración de Derechos de Privacidad del Consumidor que contiene los códigos de conducta que los consumidores pueden esperar y que las empresas deben tener al manejar datos personales (Energy, 2013).

4.7 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se mostró el potencial que tiene el análisis de la gran cantidad de datos que proporcionan los medidores inteligentes para crear un infraestructura eléctrica más eficiente, sin embargo también se debe prestar atención a los riesgos potenciales que surgen en cuanto a seguridad de la información. En el capítulo siguiente se muestran las oportunidades en Colombia con esta tecnología de acuerdo con las políticas energéticas, los planes estratégicos en materia energética nacional y la visión de las redes inteligentes que tienen las instituciones Colombianas en el sector.

Capítulo 5

5. Aprovechamiento de Grande Datos de los Medidores Inteligentes para el Manejo del Consumidor Residencial de Electricidad Colombiano

Para aprovechar los nuevos avances tecnológicos en el sector eléctrico, con las Redes Eléctricas Inteligentes se plantean soluciones que se pueden implementar a nivel nacional para tener un suministro de energía limpio, sostenible y seguro, teniendo en cuenta los desarrollos de energías renovables, medidores inteligentes, vehículos eléctricos, entre otros. Las redes inteligentes no solo consisten en incluir nuevos elementos tecnológicos inteligentes conectados en tiempo real a los sistemas de toma de decisiones, sino en utilizar efectivamente el gran volumen de información que se genera de estos dispositivos y a su vez trabajar en la seguridad cibernética a lo largo del sistema eléctrico (Colombia Inteligente, 2013).

5.1 Plan Energético Nacional

De acuerdo con el informe de gestión de 2013, la Unidad de Planeación Minero Energética, los objetivos planteados en los diferentes planes colombianos han mantenido coherencia a lo largo del tiempo que se resumen en tres grupos (UPME, 2013):

Seguridad en el suministro y diversificación de la canasta:

- Confiabilidad y calidad del servicio
- Cubrimiento de la demanda

Accequibilidad del servicio y equidad social:

- Universalización del servicio

- Costo de energía capacidad de pago

Mitigación de Impacto ambientales:

- Eficiencia energética.
- Energías renovables.
- Menores emisiones de CO₂.
- Reducción de vulnerabilidad.

Una evaluación amplia de las nuevas tendencias de la política energética en países desarrollados y en países en desarrollo semejantes a Colombia se incluyen (UPME, 2013):

- Nuevas opciones en el portafolio Energético: gases e hidrocarburos no convencionales.
- Energías renovables.
- Mayores inversiones en I+D+i.
- Eficiencia energética en todos los niveles y cambios en los patrones de consumo.
- Nuevas arquitecturas y organizaciones de mercado en las industrias energéticas, orientadas hacia la implementación de las redes inteligentes.

Las tendencias energéticas globales identificadas por las diferentes agencias forman parte de los escenarios que son considerados por la UPME para la formulación del Plan Energético (UPME, 2013)

5.2 Eficiencia Energética en Edificaciones

Dentro del desarrollo del proyecto GEF/PNUD/COL- Eficiencia Energética en Edificaciones (EEE), con el fin de promover medidas de eficiencia energética en el sector de edificaciones se estableció una metodología para rehabilitar edificios existentes donde se han identificado un potencial de ahorro entre el 25% y 30% de consumo de energía (UPME, 2013).

5.3 Análisis de Diseño de Esquemas de Subsidio en los Servicios Públicos Colombianos

En el trabajo realizado entre la Universidad Nacional de Colombia, EPM y ADESCO, S. Arango et al., (2012) titulado “Análisis de Diseño de Esquemas de Subsidios en los Servicios Públicos Colombianos por Medio de economía Experimental y Simulación” donde analizaron la entrega de subsidios en el sector eléctrico en Colombia y un estudiaron el comportamiento de consumidores de electricidad de los estratos 1, 2 y 3 de Medellín. Se menciona que aplicar adecuadamente los subsidios es importante para la eficiencia de los recursos y maximizar el bienestar social. Usando economía experimental se estudió el comportamiento en la toma de decisiones de personas con motivaciones económicas en ambientes controlados para soportar diferentes teorías. Se concluyó acerca del conocimiento que existe en la población en cuanto a el esquema tarifario, la aplicación de subsidios en Colombia, la relación entre el consumo y la cantidad a pagar, la forma de calcular el consumo y se analizó la influencia que tiene el precio frente a la toma de decisiones de consumo. Adicionalmente, se usó la simulación de sistemas para analizar el impacto sobre el beneficio social considerando algunas alternativas de entrega de subsidios y evaluar las implicaciones de un cambio tarifario.

5.4 Programas de Respuesta en Demanda

5.4.1 Mercado No Regulado

En el estudio de implantación de un programa de la respuesta de la demanda (PRD) en Colombia, Baratto (2010), estudiaron mecanismos para promover cambios en el comportamiento del consumidor de electricidad no regulado. En dicho trabajo se propuso trasladar los precios de electricidad desde el Mercado de Energía Mayorista (MEM) al Mercado de Energía Minorista y midieron los beneficios al variar el consumo de las horas pico a las horas no pico. Dado que el estudio está enfocado al MEM, se clasificaron los consumidores por sector económico y plantearon indicadores para la gestión del PRD que permitan medir los beneficios. Concluyen acerca de la eficiencia del mercado de electricidad colombiano y la volatilidad del precio, revisaron las curvas de carga del consumidor para establecer si se hace conveniente un PRD por tipo de cliente. La forma como los consumidores toman las decisiones sobre contratos está influenciada por la

información disponible, determinando respuesta del consumo ante los precios. Se describió en que radica el éxito de los PRD y se midieron los beneficios que las empresas podrían obtener y en general para el sistema. (Baratto, 2010).

5.4.2 Mercado Regulado

Castaño (2013) analizó el impacto del uso los medidores inteligentes en el consumo de electricidad de los hogares en Colombia. Mediante el desarrollo de modelos de dinámica de sistemas se representó la entrada de los medidores inteligentes y la respuesta de la demanda de electricidad. En este trabajo se concluyó acerca de los beneficios de los medidores inteligentes, la participación del consumidor, los efectos en la curva de carga, patrones o hábitos de consumo y las políticas que deben ser adoptadas.

5.5 Impulso de las Redes Inteligentes en Colombia

Las redes inteligentes podrían ser el motor para el desarrollo futuro del sector energético en Colombia. Con estas, los usuarios podrían tener información para saber en qué momento del día la energía es más económica y de esta forma desplazar los picos de demanda. También las empresas podrían actuar con más rapidez frente a fallas y tener una operación más eficiente. El país ganaría con un uso eficiente de la energía y evitaría tener un sistema más grande del que realmente debería tener (Energíaenlinea, 2011).

5.6 Integración de Energía Renovables No Convencionales al Sistema Energético Nacional

La aprobación del proyecto de Ley 1715 de 2014 tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente las renovables, en el sistema energético nacional y su integración al mercado eléctrico colombiano, reducir emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad de abastecimiento energético. También busca promover la gestión eficiente de la energía y respuesta de la demanda (UPME, 2014).

La finalidad de dicha ley es establecer el marco legal y los instrumentos para promover el aprovechamiento de las energías renovables no convencionales, el fomentos de la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para generar electricidad, la eficiencia energética y la respuesta en la demanda, en el marco de la política energética nacional (UPME, 2014).

La aplicación de esta ley cubija a todos los agentes públicos y privados que intervengan en la defunción de políticas del sector, prestación del servicio de energía eléctrica y sus actividades complementarias (UPME, 2014).

5.7 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se muestra que las políticas energéticas, los objetivos en la planeación energética y visión de las redes inteligentes que tienen los agentes del sistema energético en Colombia, como instituciones estatales y empresas del sector eléctrico, coinciden con los objetivos de las diferentes organizaciones mundiales del sector energético tales como *Department of Energy* en Estados Unidos o *European Commission*..

Con el Plan Energético Nacional es importante considerar las oportunidades que ofrece análisis de grandes datos de los medidores para integrar las energías renovables al mercado eléctrico Colombiano.

Se muestran diferentes estudios donde el conocimiento del consumidor de electricidad es una base determinante para establecer planes de acción, como los son políticas en el esquema de subsidio de la tarifa o los programas de respuesta en demanda.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

El aprovechamiento de los grandes datos es una de las componentes que hace falta para que las instituciones y agentes dentro del mercado de electricidad logren materializar la visión que se tiene de las Redes Inteligentes.

Para materializar la visión de las REI se requieren grandes inversiones en infraestructura, tan solo el contador de energía representa una carga económica tanto para los comercializadores como para los consumidores, del cual poco se percibe el beneficio. Para eliminar esta barrera de inversión, es necesario sacar el máximo provecho a estos activos de forma que se tenga un retorno atractivo para las empresas, consumidores e instituciones.

Con el análisis de la gran cantidad de datos provenientes de tan solo los medidores inteligentes de energía es posible obtener información valiosa para los actores del mercado: generadores, transportadores, distribuidores, comercializadores, consumidores, reguladores e instituciones del estado. El valor obtenido de esta información permitiría:

- A los reguladores e instituciones del estado, definir mejores políticas de mercado y hacer más eficiente la planeación del sistema energético nacional.
- A los generadores, transportadores, distribuidores y comercializadores, optimizar su operación, crear nuevas estrategias de mercadeo, diseñar nuevos productos y servicios.
- A los consumidores, actuar con más conciencia del uso racional de la energía realizando su propia gestión de electricidad con información en tiempo real de sus condiciones de consumo y precio.

Las inversiones en medidores inteligentes y análisis de grandes datos reflejan un beneficio social a largo plazo. La optimización de los recursos energéticos y activos de la infraestructura del sistema evitarían inversiones en expansión, menor impacto ambiental, mayor seguridad en el suministro y disponibilidad de los servicios de electricidad.

Para el caso del consumo de electricidad, la información no es exclusiva de los medidores inteligentes. Otras fuentes de información como datos metrológicos o dispositivos móviles, pueden ser usada para genera patrones de comportamiento y diseñar modelos predictivos útiles tanto para el mercado de electricidad como para otros sectores.

Con la penetración de los medidores inteligentes y las aplicaciones de los grandes volúmenes de datos que se están desarrollando crean una oportunidad para el desarrollo de los mercados de energía, dirigiéndose hacia la visión que se tiene de las Redes Eléctricas Inteligentes por parte de las instituciones que se dedican a su estudio e investigación. Se puede encontrar que alrededor del mundo hay un trabajo conjunto para alcanzar dicha visión por parte de los gobiernos con la implementación de políticas, las universidades con las investigaciones y el sector privado con el desarrollo de productos y servicios.

6.2 Recomendaciones

Las experiencias internacionales muestran que los países están adoptando políticas para la adopción de medidores inteligentes con el fin de idear mecanismos para enfrentar las problemáticas energéticas. Colombia, al contar con un sistema energético ejemplar, puesto 16 a nivel mundial entre 129 países en sostenibilidad, puesto 5 en seguridad energética y 4 lugar en sostenibilidad ambiental (MINMINAS, 2014). Dado esto, es conveniente incluir en la planeación del sistema la implementación de los medidores inteligentes y crear estrategias para el aprovechamiento de los grandes datos de consumo de energía.

En la medida que se dé la penetración de los medidores inteligentes se debe dar un paso adelante en las políticas de protección de datos e información personal de los consumidores, con el fin de evitar el mal uso por parte de los comercializadores o personas

mal intencionadas. La confianza del usuario es parte fundamental para lograr su participación activa en el mercado de electricidad.

Una vez implementados los medidores inteligentes y el aprovechamiento de los grandes datos en el servicio de electricidad, es posible replicar el modelo a los demás servicios públicos como gas y acueducto. Esta implementación no solo debe tener en cuenta el medidor inteligente sino los anchos de banda requeridos para la transmisión de datos y la capacidad computacional para analizarlos.

Bibliografía

- Alahakoon, Damminda, and Xinghuo Yu. "Advanced Analytics for Harnessing the Power of Smart Meter Big Data," 40–45. IEEE, 2013. doi:10.1109/IWIES.2013.6698559.
- Chen, Ching-Han, Ching-Yi Chen, Chih-Hsien Hsia, and Guan-Xin Wu. "Big Data Collection Gateway for Vision-Based Smart Meter Reading Network," 266–69. IEEE, 2014. doi:10.1109/BigData.Congress.2014.47.
- Chen, Min, Shiwen Mao, Yin Zhang, and Victor C.M. Leung. *Big Data*. SpringerBriefs in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2014. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-06245-7>.
- Chou, Jui-Sheng, and Abdi Suryadinata Telaga. "Real-Time Detection of Anomalous Power Consumption." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33 (May 2014): 400–411. doi:10.1016/j.rser.2014.01.088.
- Cintel (2013), Publicación "Constuyendo Colombia Inteligente" <http://cintel.org.co>
- Colombia Inteligente (2014) Boletín de Difusión "Un nuevo enfoque para la justificación de implementación de sistemas AMI"
http://www.colombiainteligente.org/banco_informacion/Boletines/Bolet%C3%ADn_Difusi%C3%B3n_2014-02-1.pdf
- Colombia Inteligente (2012), Boletín de difusión "ANEEL, el regulador brasilero opta por una medición inteligente a opción del usuario"
http://www.colombiainteligente.org/banco_informacion/Boletines/Difusion_2012-08-2.pdf
- Colombia Inteligente (2012), Flash Informativo "Éxito en el I Seminario Internacional de Mercados Inteligentes"
http://www.colombiainteligente.com.co/banco_informacion/Flash%20Informativo/Flash%20Informativo_ICOL%202012-06-15.pdf
- CREG (2014), Estructura tarifaria
<http://www.creg.gov.co/index.php/es/sectores/energia/tarifas-energia>
- CREG (2014), ¿Cómo se cobra?
<http://www.creg.gov.co/index.php/es/sectores/energia/cobro-energia>
- DailyFinance (2012). Artículo "Pepco Holdings Launches "Green Button" Customer Energy Usage Data Tool" <http://www.dailyfinance.com/2012/10/01/pepco-holdings-launches-green-button-customer-ener/>
- DOE (2018), Department of Energy: Consumer Advocates
<https://www.smartgrid.gov/>

Energy Community (2009), Directive 2009/72/Ec Of The European Parliament And Of The Council. <http://www.energy-community.org/pls/portal/docs/1164180.PDF>

Energía en Línea (2011). Noticias “Gobierno quiere promover las redes inteligentes” http://www.energiaenlinea.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1110:gobierno-quiere-promover-las-redes-inteligentes&catid=64:categoria-noticias-gas-natural&Itemid=533

Energy.gov (2014) . Green Button <http://energy.gov/data/green-button>

Energy.gov (2013). Artículo “Tackling Big Data Together” <http://energy.gov/articles/tackling-big-data-together>

Energy.gov (2013). Artículo “Smart Grid Week: How the Transition to 21st Century Grid Impacts You” <http://energy.gov/articles/smart-grid-week-how-transition-21st-century-grid-impacts-you>

Gans, Will, Anna Alberini, and Alberto Longo. “Smart Meter Devices and the Effect of Feedback on Residential Electricity Consumption: Evidence from a Natural Experiment in Northern Ireland.” *Energy Economics* 36 (March 2013): 729–43. doi:10.1016/j.eneco.2012.11.022.

Granell, Ramon, Colin J. Axon, and David C.H. Wallom. “Predicting Winning and Losing Businesses When Changing Electricity Tariffs.” *Applied Energy* 133 (November 2014): 298–307. doi:10.1016/j.apenergy.2014.07.098.

Green Button (2013). <http://www.greenbuttondata.org/>

Greentechmedia (2011). Artículo “SDG & E Massive Smart-Rejilla-to-Consumer Playbook” <http://www.greentechmedia.com/articles/read/SDGEs-Massive-Smart-Grid-to-Consumer-Playbook>

Google.org Proyect PowerMeter (2011). Google PowerMeter <http://www.google.com/powermeter/about/>

Hashem, Ibrahim Abaker Targio, Ibrar Yaqoob, Nor Badrul Anuar, Salimah Mokhtar, Abdullah Gani, and Samee Ullah Khan. “The Rise of ‘big Data’ on Cloud Computing: Review and Open Research Issues.” *Information Systems* 47 (January 2015): 98–115. doi:10.1016/j.is.2014.07.006.

IBM (2012), DeveloperWorks. Publicación “¿Qué es Big Data?” <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/que-es-big-data/>

IESO (2012), Smart Grid Canada Conference Report <http://www.ieso.ca/Pages/About-the-IESO/Publications.aspx>

Katz, Jonas. “Linking Meters and Markets: Roles and Incentives to Support a Flexible Demand Side.” *Utilities Policy* 31 (December 2014): 74–84. doi:10.1016/j.jup.2014.08.003.

- Kovalchuk, Sergey V., Artem V. Zakharchuk, Jiaqi Liao, Sergey V. Ivanov, and Alexander V. Boukhanovsky. "A Technology for BigData Analysis Task Description Using Domain-Specific Languages." *Procedia Computer Science* 29 (2014): 488–98. doi:10.1016/j.procs.2014.05.044.
- Lam, Chuck. *Hadoop in Action*. Greenwich, Conn: Manning Publications, 2011. ISBN 9781935182191
- Lee, Jay, Hung-An Kao, and Shanhu Yang. "Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment." *Procedia CIRP* 16 (2014): 3–8. doi:10.1016/j.procir.2014.02.001.
- McKenna, Eoghan, Ian Richardson, and Murray Thomson. "Smart Meter Data: Balancing Consumer Privacy Concerns with Legitimate Applications." *Energy Policy* 41 (February 2012): 807–14. doi:10.1016/j.enpol.2011.11.049.
- METERING.COM (2012). Artículo "Oncor tackles big data challenge with IBM"
<http://www.metering.com/?p=21809/>
- Mills, Bradford, and Joachim Schleich. "Residential Energy-Efficient Technology Adoption, Energy Conservation, Knowledge, and Attitudes: An Analysis of European Countries." *Energy Policy* 49 (October 2012): 616–28. doi:10.1016/j.enpol.2012.07.008.
- MINMINAS (2014), Noticias "Colombia avanza 8 puestos en el ranking global del Consejo Mundial de Energía". <http://www.minminas.gov.co/web/10180/1332?idNoticia=696590>
- N. Castaño (2013). Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas "Una aproximación a la adopción de medidores inteligentes en el mercado eléctrico colombiano y su influencia en la demanda", Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Nieves, Juan Carlos, Angelina Espinoza, Yoseba K. Peña, Mariano Ortega de Mues, and Aitor Peña. "Intelligence Distribution for Data Processing in Smart Grids: A Semantic Approach." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 26, no. 8 (September 2013): 1841–53. doi:10.1016/j.engappai.2013.03.016.
- Nimbeo (2014) , Press reports "Hermes, la solución para ahorrar en luz y optimizar el gasto energético" http://nimbeo.com/downloads/press_2014_03_h.pdf
- P. Baretto Callejas (2010). Tesis de Maestría en Economía "Implementación de un programa de respuesta de la demanda de energía eléctrica en un mercado de clientes no regulados en Colombia", Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá - Colombia.
- PG & E, (2012). PG & E Conference "PG&E's Austin Kicks Off Conference on Dealing with Smart Grid Data". <http://www.pgecurrents.com/2012/08/14/pg-topic-is-dealing-with-data-that-comes-with-smart-grid/>
- Philip Chen, C.L., and Chun-Yang Zhang. "Data-Intensive Applications, Challenges, Techniques and Technologies: A Survey on Big Data." *Information Sciences* 275 (August 2014): 314–47. doi:10.1016/j.ins.2014.01.015.

- REMODENCE (2014). REMODENCE project “Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe”. <http://remodece.isr.uc.pt/>
- Rhodes, Joshua D., Wesley J. Cole, Charles R. Upshaw, Thomas F. Edgar, and Michael E. Webber. “Clustering Analysis of Residential Electricity Demand Profiles.” *Applied Energy* 135 (December 2014): 461–71. doi:10.1016/j.apenergy.2014.08.111.
- S. Arango, J. Franco, Y. Olaya, M. Naranjo, S. Alcaráz, F. Guitierrez, (2012). Libro “Los Servicios Públicos Colombianos por Medio de Economía Experimental y Simulación”. Universidad Nacional de Colombia –Sede Medellín.
- Schleich, Joachim, Marian Klobasa, Sebastian Gölz, and Marc Brunner. “Effects of Feedback on Residential Electricity demand—Findings from a Field Trial in Austria.” *Energy Policy* 61 (October 2013): 1097–1106. doi:10.1016/j.enpol.2013.05.012.
- Siano, Pierluigi. “Demand Response and Smart grids—A Survey.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (February 2014): 461–78. doi:10.1016/j.rser.2013.10.022.
- Shahrokni, Hossein, Fabian Levihn, and Nils Brandt. “Big Meter Data Analysis of the Energy Efficiency Potential in Stockholm’s Building Stock.” *Energy and Buildings* 78 (August 2014): 153–64. doi:10.1016/j.enbuild.2014.04.017.
- UPME (2014), Ley 1715 del 13 de mayo de 2014, Congreso de Colombia
http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf
- UPME (2014). Sistema de Información Eléctrico Colombiano (SIEL) - Demanda de energía
<http://www.siel.gov.co/Inicio/Demanda/ProyeccionesdeDemanda/tabid/97/Default.aspx>
- UPME (2013). Informe de Gestión
http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/article/3628/files/informe_gestion_upme_2013.pdf
- V. Pérez (2013). Trabajo de grado “Estudio Preliminar Sobre La Viabilidad De La Implementación De Medidores Inteligentes De Energía En Los Estratos 1, 2 Y 3 De Cali”: Universidad del Valle, Cali – Colombia.
- Wong, P.K.C., R. Barr, and A. Kalam. “A Big Data Challenge - Turning Smart Meter Voltage Quality Data into Actionable Information,” 0279–0279. Institution of Engineering and Technology, 2013. doi:10.1049/cp.2013.0647.
- Zhang, Ni, Yu Yan, Shengyao Xu, and Wencong Su. “A Distributed Data Storage and Processing Framework for next-Generation Residential Distribution Systems.” *Electric Power Systems Research* 116 (November 2014): 174–81. doi:10.1016/j.epr.2014.06.005.