



Analítica Avanzada

para la Gestión de Pérdidas no
Técnicas: Caso MVM Ingeniería
de Software S.A.S.

Gladys Adriana Quintero Rojas
Ph.D en Física

Ricardo Alonso Gallego Burgos
Msc. en Gestión Tecnológica

MVM Ingeniería de Software S.A.S



MVM Ingeniería de Software S.A.S. y la Universidad de Medellín han desarrollado una tecnología orientada a la gestión de pérdidas no técnicas de energía, la cual está articulada con el plan de ciencia, tecnología e innovación de la ciudad de Medellín. El propósito es aprovechar la información, mediante la capacidad analítica en los niveles Descriptivo: software que permite generar alertas tempranas para identificar irregularidades - y Predictivo: Modelos de analítica avanzada a fin de direccionar eficientemente la detección de anomalías. La tecnología tiene una alta potencialidad en el sector eléctrico y se enmarca en dos aspectos tecnológicos estratégicos: TIC y Smart Grid, para lograr una red de distribución segura, confiable, eficiente y sostenible compuesta por infraestructura de información y comunicación, administración, control y protección, que permite la fiabilidad para soportar fallas debidas a problemas técnicos o a ciudadanos fraudulentos.

Palabras Clave: Analítica Avanzada, Pérdidas No Técnicas de Energía, Desarrollo Tecnológico, Red de Distribución de Energía Eléctrica, Tecnología Smart Grid, Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones.

MVM Software Engineering S.A.S. and the Universidad de Medellín have developed a technology oriented to manage non-technical energy losses, which is articulated to the science, technology and innovation plan of Medellin, to take advantage of information, by analytical capacity at the Descriptive level: software that lets generate early warnings to identify irregularities and Predictive level: Advanced analytical models to efficiently address the detection of anomalies. The Technology has high commercial potential in the power sector and is framed within two strategic technological aspects: TIC and Smart Grid to achieve a safe distribution network reliable, efficient and sustainable composed of information and communication infrastructure; management, control and protection which allows reliability to withstand failure due to technical problems or fraudulent citizens.

Keywords: Advanced Analytics, Energy Non-Technical Losses, Technological Development, Distribution Network of Electric Energy, Smart Grid Technology, Information and Communications

I. Introducción

El sector energético tiene una dinámica de crecimiento que lo convierte en un impulsor económico del país, por lo tanto los lineamientos que soporten su evolución, deben hacerlo sostenible en los aspectos económico, social, ambiental y tecnológico. Es por ello pertinente, atender a la recomendación de la Corporación Andina de Fomento (CAF) [1] en cuanto a la promoción de innovaciones tecnológicas en el contexto smart grid (SG) para mejorar la eficiencia del sistema eléctrico. Al respecto, la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE [2], indica que la estrategia para esto corresponde a la adquisición de dispositivos, tecnología y servicios provenientes de empresas de países desarrollados, que propicien iniciativas tecnológicas propias de la región, propuesta que es apoyada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [3].

La CAF [4] sugiere que las acciones en pro de la gestión energética en América Latina (AL), deben ser orientadas a la eficiencia en el gasto, la reducción de pérdidas, la integración regional y al desarrollo de fuentes de generación renovables. Las pérdidas de energía más altas del mundo se sitúan en AL: aproximadamente el 14% del total generado (US\$500M /año) [5]. Técnicamente, estas pérdidas se asocian a dificultades de gestión en la distribución y comercialización de energía, además de inversiones limitadas para el sistema eléctrico. En el nivel no técnico, son explicadas por conexiones clandestinas, cultura de morosidad (nivel de ingresos bajo) y fraude, siendo ineludible para subsanar dicha problemática, adoptar un modelo tal como SG, el cual integra tecnologías avanzadas de detección, algoritmos de control, infraestructura de comunicación y un sistema físico de dispositivos de punta [6]. Las componentes básicas [7] de las SG y su aplicación en la red eléctrica se pueden

identificar como: sistema de sensores implementados en transformadores de corriente y de tensión; unidad de medición fasorial; relés de detección; infraestructura de medición avanzada (AMI sigla en inglés de Advanced Metering Infrastructure); infraestructura de comunicación aplicada entre los centros de control y la red de área local (HAN sigla en inglés de Home Area Network); red de área de distribución (DAN sigla en inglés de Distribution Area Network); red central (Core Network); algoritmos de control para apoyar la respuesta a la demanda de equilibrio de carga; control de supervisión y adquisición de datos (SCADA sigla en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition); optimización reactiva Volt / Volt-Ampere y el sistema físico actuador establecido en la generación distribuida para compartir la carga; interruptores; tomas en carga en los cambiadores en transformadores; interruptores automáticos; AMI para el manejo de carga en HAN; entre otros. La mejora en la eficiencia energética y la política pública son, también, herramientas clave para mitigar este flagelo que pone en peligro la solvencia económica de los diversos actores que intervienen en el sistema eléctrico. Urge, por lo tanto, una estrategia para gestionar la infraestructura de las redes de distribución en la reducción de pérdidas no técnicas (RPNT), y es así como la empresa MVM Ingeniería de Software S.A.S. (MVM) en un escenario de innovación abierta con la Universidad de Medellín (U de M) pretende, con la tecnología innovadora desarrollada, apoyar la solución de esta problemática, en diferentes mercados objetivo de Sur y Centro América (SyCA)2 y beneficiar en Colombia a diversos actores.

¿Cómo minimizar las pérdidas por no facturación del consumo real de energía?



El desarrollo de tecnología en el contexto SG, escalable, flexible e innovadora, utilizando los aceleradores tecnológicos de la empresa y el conocimiento científico de la universidad, da vía al autocontrol ciudadano del uso del recurso energético y a la reducción de pérdidas debidas a la facturación errónea del consumo de energía en hogares e industrias. La solución tecnológica considerada, se fundamenta en la habilidad superior para explotar la información, mediante el desarrollo de la capacidad analítica en los siguientes niveles: Descriptiva, producto software (SMARTIN)² que permite generar alertas tempranas para identificar irregularidades en el contexto de las pérdidas no técnicas de energía (PNT) y Predictiva, modelos de analítica avanzada, con los cuales se pueden direccionar las intervenciones para detectar irregularidades.

La propuesta de valor de esta tecnología, se fundamenta en el incremento de la rentabilidad para las empresas distribuidoras-comercializadoras de energía (EDCE) en SyCA con altos porcentajes de PNT y que requieren de su control, mediante la intervención integral de la gestión respectiva a partir de las capacidades siguientes: modelos analíticos avanzados, conocimiento de analítica de PNT e inteligencia artificial.

II. Problema y Solución

Las EDCE en SyCA presentan índices altos de PNT, hecho incompatible con la eficiencia y calidad energética requerida por la empresa misma, la industria, el comercio y el ciudadano [8]. Dichas pérdidas se relacionan con información no veraz en los procesos de facturación del consumo de energía, dificultad que puede ser controlada si la empresa así lo decide. Ignorar el tema origina pérdida de ingresos por el consumo mal o no facturado,

cortocircuitos y sobrecargas en las redes e instalaciones, obligando a invertir en renovación y ajustes de activos. El índice de las pérdidas de energía es uno de los indicadores de la gestión técnico-administrativa de la empresa, lo que hace inexcusable conocer y evaluar la incidencia de las mismas en todas las etapas de distribución hasta la entrega al usuario.

Para encaminar los proyectos de alcance de índices de eficiencia, el Gobierno Nacional expidió el decreto 387 de 2007, modificado por el decreto 4977 de 2007, el cual considera tres aspectos fundamentales: establecer los planes de RPNT, modificar la variable para el cobro de los usuarios regulados [9] y ajustar la normatividad vigente de las obligaciones de los comercializadores. Se contempla, además, el seguimiento al cumplimiento de la senda establecida en el plan presentado por las empresas y las consecuencias de su ruptura. A partir del año 2014 los recursos se han destinado a fortalecer el programa de normalización de redes eléctricas (PRONE), mediante el cual se financian los proyectos para la legalización de usuarios y la adecuación de las redes a los reglamentos técnicos vigentes en barrios subnormales. El problema de no ejecutar los proyectos y planes de RPNT se traduce en la degradación de los procedimientos a acciones ilícitas por parte de los usuarios o de terceros, perjudicando económicamente a la empresa, y en el aumento en la ejecución de todo tipo de fraude para reducir los registros de consumo y por ende el valor de la facturación.

¹ La innovación abierta es un paradigma que asume que las organizaciones pueden y deberían usar ideas externas provenientes de sus clientes, proveedores, socios estratégicos e ideas internas provenientes de colaboradores y unidades de negocio. Chesbrough, H. (2003). Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Harvard Business Review Press: Boston, MA.

² Nombre provisional.

A. Planteamiento del problema:

Un sistema de distribución eléctrica siempre admite pérdidas técnicas (PT), pero existen márgenes. Si estos límites son excedidos, se presentan resultados negativos para la comunidad en general. También se registran PNT las cuales conducen al deterioro de las instalaciones por intrusión de las mismas, cuando se produce apropiación ilícita de la energía eléctrica con consecuencias para la seguridad pública; imposible uso de los electrodomésticos en las horas de máxima demanda, debido a que el voltaje en estas zonas es menor al admisible; riesgo de tragedias por corto circuito, ya que los intromisiones sobre las instalaciones se realizan sin ninguna norma técnica, con uniones manuales, conductores inadecuados los mismos que atraviesan paredes y árboles, entre otros, hasta llegar a las viviendas; detrimento de los medidores por manipulación impropia de los mismos, lo que conlleva a cambios o reparaciones para normalizarlos; incitación a los usuarios que cumplen con sus obligaciones y pagos de sus consumos, a evadir los registros reales a través de fraudes o a no pagar las facturas teniendo la empresa que ordenar el corte del servicio. Esta acción ilegal se da en todos los estratos sociales y en la mayoría de los casos el mayor volumen de pérdidas se encuentra en los grandes consumidores. También ocurre en la industria y comercio donde el ilícito consiste en la manipulación de los sistemas de medición, con una intervención técnicamente más calificada.

B. Solución al problema:

De acuerdo con el literal A de la sección I, el Sector Eléctrico Colombiano (SEC) precisa de capacidades para automatizar la distribución de energía y las funciones locales, monitorear su consumo y controlar los dispositivos eléctricos dentro del área local del ciudadano, lo que conduce a la exigencia de seleccionar una

tecnología de comunicación adecuada para satisfacer la calidad del servicio requerida para el control de la información, así como de un sistema de alertas que permita el reporte de hechos y resultados de forma oportuna. Las técnicas para la distribución de energía eléctrica están en un proceso constante de evolución que se evidencia en: el tipo de equipos y herramientas utilizadas, la estructuración, los materiales con los que se construyen las redes, los métodos de trabajo de las cuadrillas y la metodología de diseño y operación que brinde el software utilizado.

Es necesario analizar los diversos componentes que intervienen en la comunicación y las características de tráfico para el diseño de la red de comunicación [6], ya que se precisa calidad en el manejo de la información de control en tiempo real y de los datos de seguimiento y seguridad para aprovechar la medición y otra información del ciudadano. Es justo aquí donde los aceleradores tecnológicos desarrollados por MVM y la U de M contribuyen a la toma de decisiones frente a situaciones sospechosas en situaciones de fraude de energía y fallas de los equipos, las cuales generan PNT. Consiste en un desarrollo tecnológico especializado e intensivo en conocimiento que hace uso de analítica avanzada para mitigar el problema. La solución se desarrolló bajo modelos mundiales de calidad establecidos por la industria del software, como lo es el modelo CMMI en el cual MVM se encuentra certificada en el nivel más alto.

III. Justificación.

[Según la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Públicos y Comunicaciones (ANDESCO) los avances conseguidos por el SEC a través de los incentivos dados por la regulación son significativos. Al implementar la Ley 142 de 1994 [10] el índice promedio de



pérdidas en Colombia era del 30%, en el 2004 llegaba al 18% y en la actualidad es cercano al 13%. Las ciudades de Bogotá y Medellín muestran un promedio inferior al 10%, mientras que en el Norte Caribeño no es menor del 15%, reporte que se conecta, indudablemente, con el índice más alto de hurto de energía, que se localiza en los departamentos Atlántico con pérdida mensual de 54GW y Bolívar con 41GW [11]. Según ANDESCO, en el año 2012 la Electrificadora del Caribe S.A. E.S.P. (ELECTRICARIBE) dejó de facturar COL\$140.000M por defraudación de fluidos y mensualmente tiene pérdidas del orden de 100GW (COL\$30.000M). La Electrificadora del Meta S.A.S. E.S.P. (EMSA) tuvo pérdidas de COL\$12.000M por este hecho en el 2013. En general, el robo de energía alcanza valores que oscilan entre los COL\$130.000M y COL\$150.000M anuales, se necesitan, por lo tanto, soluciones desde el punto de vista tecnológico, social, cultural y educativo para controlar este problema.

Las SG facilitan que por la red se transmita, además de energía, información que satisfaga la demanda de los usuarios, con una infraestructura que comprende sistemas de gestión, control, protección de fallas, seguridad y privacidad, entre otros, y que integra a todos los implicados en la cadena de suministro [12]. Ante el panorama presentado, Colombia Inteligente, EMCALI, Empresa de Energía del Pacífico S.A. E.S.P (EPSA), ELECTRICARIBE, Empresa de Energía de Bogotá S.A. E.S.P. (EEB) e ISAGEN, Centro de investigación y de Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico (CIDET), Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CINTEL) y otras entidades

sectoriales y el Gobierno Nacional, por medio del Ministerio de Minas y Energía (MME), han establecido una alianza para avanzar en el proyecto de creación del mapa de ruta para las redes inteligentes en el país, con un costo estimado de US\$900.000, de los cuales US\$500.000 son aportados por el BID y el resto por los distintos actores interesados, a través de la colaboración y participación en el estudio que esperan concluir en el 2015. Los avances más sobresalientes del país, relacionados con SG son: Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), Generación Distribuida (GD) y Red Flexible, la mayoría a nivel de pilotos a escala. Las empresas EMCALI, ELECTRICARIBE, CODENSA y EPM han desarrollado proyectos con medidores inteligentes y medición prepago de electricidad, buscando la RPNT. Aunque CODENSA alcanzó en el 2010 pérdidas por COL\$32.000M, se acercó, en el primer semestre del 2011 a COL\$15.000M y continua trabajando sobre una cultura de legalidad, a través de mensajes en los recibos de cobro [13].

En Centro América, donde MVM visiona un mercado objetivo, es más grave la situación. El Gobierno de la República Dominicana, a través de las empresas distribuidoras de energía (Ede-Este, Ede-Sur y Ede-Norte), pierde anualmente US\$482,4M por hurto de energía, de acuerdo con la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE).. Si a esta cifra se le adicionan US\$245,2M debido a PT, se obtiene el valor de US\$727,6M. El robo de energía equivale al 23,6% de pérdidas y las fallas técnicas (sobrecarga de redes, tensión inadecuada y mal estado) al 12%, para un total de 35% neto. Por cada 100MW generados en el sistema interconectado, la estatal pierde 31,3MW. El Control mediante la telemedición, la rehabilitación de redes, la normalización de usuarios y la expansión de la distribución, son los puntos con los que el Gobierno Dominicano

³ Es una manera exhaustiva de utilizar los datos para definir estrategias y tomar decisiones óptimas. Esta se basa en herramientas que permiten el análisis estadístico ya sea cuantitativo y/o cualitativo; así como en diversos tipos de modelos de predicción, descripción y optimización.

⁴ CMMI. El modelo CMMI (Capability Maturity Model Integration) fue creado por el SEI (Software Engineering Institute) el cual define unas áreas de proceso que permite que las organizaciones puedan evaluar el nivel de madurez en cuanto a los procesos de desarrollo de software. Este modelo es el estándar de más aceptación en el mundo en este contexto. <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/>

planea bajar este déficit [14].

El informe estadístico de la Estatel Eléctrica de Honduras, detalló en el año 2013 que los ingresos por venta de energía ascendieron a L\$19.830,5M, menor que los L\$26.112,5M establecidos como meta en el presupuesto de ingresos. El nivel de cumplimiento en los ingresos por facturación fue de 75,9% durante 2013. Al compararse con los ingresos registrados en 2012, los que ascendieron a L\$19.320,2M el incremento apenas fue de L\$510,3M equivalente a 2,6 puntos en valores porcentuales. Los generadores térmicos aportaron 4.598,3GW (57,9%), la energía hídrica contribuyó con 2.738,5GWh (34,5%), el parque eólico con 310,2GW (3,9%), las plantas de biomasa con 179,7GWh (2,3%) y se importaron 114,6GW (1,4%) para cubrir la demanda interna. La estatal eléctrica reportó que la energía vendida en todo el sistema fue de 5.452,5GW, equivalente al 68,7% del total generado. Los restantes 2.488,5GWh correspondieron a pérdidas [15].

De acuerdo con el informe ofrecido por el Banco Mundial se presenta, en la figura 1, el gráfico del comportamiento (en %) del índice de pérdidas de energía entre 2005 y 2011 para algunos países de SyCA tomando como referencia la media a nivel mundial y en las regiones de AL y el Caribe, Este de Asia y el Pacífico y Sur de Asia.

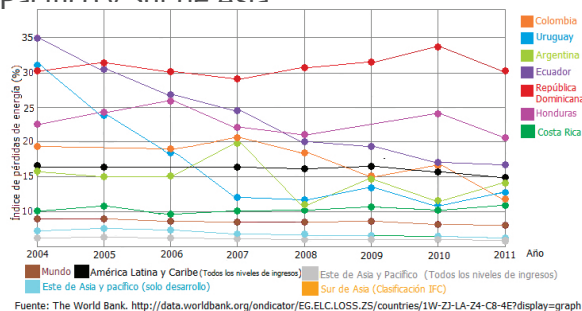


Fig. 1. Comportamiento del índice de pérdidas de energía para Argentina Ecuador, Uruguay, República Dominicana, Honduras, Costa Rica entre los años 2005 y 2011.

IV. Marco teórico.

La energía que se disipa en las etapas funcionales de la red, más las PNT producidas por la falta de medición y/o facturación a usuarios que se aprovisionan del recurso ilegalmente o cuyos sistemas de medición sufren algún daño, definen las pérdidas de energía eléctrica.

A. Pérdidas técnicas de energía

Energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna forma. Este fenómeno físico se produce desde la salida de los generadores hasta la llegada a los equipos de los usuarios. De una manera general se pueden clasificar en: pérdidas en vacío y pérdidas en carga [1].

B. Pérdidas No Técnicas de Energía

No constituyen una pérdida real de energía ya que es utilizada por algún usuario en alguna actividad, el cual puede estar registrado o no en la empresa de distribución y por ello ésta recibe solo parte o ninguna retribución por la prestación del servicio. A esto se le adicionan los gastos financieros por la gestión de deuda de los usuarios y las facturas incobrables. Entre los principales factores que hacen que aumenten las pérdidas de energía en una EDCE se pueden citar: incremento del hurto por el aumento de las tarifas; la vulnerabilidad de las redes; falta de inversión en comercialización; compromisos ilícitos con personal de la empresa o de índole político; desorden administrativo; falta de recursos financieros y humanos para implementar programas de reducción; falta de continuidad de los proyectos para asegurar resultados permanentes; desplazamiento de dichos proyectos debido a que se le da mayor prioridad a los de inversión [8].

Según la naturaleza y origen de las PNT se las puede clasificar como:



1): Pérdidas administrativas. Medición falsa y error en los registros de los consumos. El fraude legal el cual consiste en el control ineficaz de la empresa se ubica en este tipo.

2): Pérdidas accidentales. Falencia en el equipo de medición por causa de su antigüedad.

3): Pérdidas Fraudulentas. Registro de consumo de energía erróneo. Entre ella se tienen:

a): Pérdidas por fraude en los equipos de medición. Medidores manipulados y/o equipos de medición instalados ilegalmente a usuarios residenciales, comerciales e industriales o en sectores públicos y privados de la región.

b): Borneras punteadas. Corriente desviada a través de un puente ubicado en la parte inferior de la bornera, la cual une la línea de corriente de entrada con la línea de la salida, evitando su circulación por la bobina del medidor.

c): Desconexión de las bobinas internas. Corte del cable de alimentación de una o más bobinas de tensión del medidor.

d): Cojinetes apretados. Base del cojinete inferior (doble zafiro) manipulada para impedir el giro normal del disco, el cual rotará sólo bajo corriente apreciable. No se registra más del 45% del consumo real del usuario.

e): Cambio de constantes de medición rev/KWh. Manipulación del medidor, intervención que es realizada por personal de la empresa y/o ex trabajador de la misma.

f): Engranaje integrado dañado. Versión mejorada del fraude del literal e) pero con menos delicadeza en su ejecución. Se deja de facturar más del 50% de la energía consumida.

g): Otros tipos de fraudes técnicos. Métodos rudimentarios, como la perforación de la tapa del medidor para introducir alambres finos que

impidan el funcionamiento normal del equipo. Extracción de la tapa del medidor y aplicación de pegamentos en los números del integrador para obtener el resultado inmediatamente anterior.

h): Pérdidas por hurto. Interferencia intencional en la red eléctrica y alteración de la acometida antes de llegar al medidor. Se clasifican en:

(1): Pérdidas por conexiones clandestinas. El usuario se conecta directamente a la red o “pica” la acometida tal que ésta no sea visible, el medidor no registra el consumo real.

(2): Pérdidas por conexiones ilegales. Se realizan a la redes de distribución sin el respectivo equipo de medición y sin la previa autorización de la empresa. Son efectuadas sin los requerimientos técnicos de seguridad y protección.

(4): Pérdidas no identificadas. Conexiones que se realizan durante las noches (las inspecciones se ejecutan en el día), adulteración de medidores bajo una opción en la cual no se registra el verdadero consumo de energía.

C. Analítica Avanzada :

De acuerdo con Kaufman y Kirsch [], se usa para descubrir patrones, comportamientos y anomalías en grandes volúmenes de datos, para la optimización, procesamiento y análisis complejos. Permite predecir resultados inherentes a la temática de análisis, eventos futuros e interacciones entre los datos. Para Kaisler, Espinosa, Armour y Money [], implica la aplicación de diversos métodos analíticos en grandes volúmenes de datos estructurados y no estructurados, para proveer resultados en el campo descriptivo, predictivo y prescriptivo. El TDWI , estima que a los interesados les facilita examinar y manipular los datos, para impulsar acciones empresariales acordes a las necesidades del negocio.

⁵Cualquier derivación de la red local, o de otra acometida del correspondiente servicio, efectuada sin autorización del prestador del servicio.

<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1997-CR108-97>.

V. Descripción de la tecnología

La globalización ha acrecentado la diversidad y la incertidumbre en los resultados de los negocios, debido al desarrollo de sistemas complejos, economías regionales y sistemas políticos, en los cuales participan diversos actores en constante cambio. Las organizaciones requieren reaccionar a esta dinámica variable, por medio de nuevos enfoques, con los cuales puedan recopilar, organizar, gestionar y analizar grandes cantidades de datos [18]. Dicha situación las condiciona a usar herramientas analíticas, las cuales les permita direccionar acciones para resolver dificultades en los siguientes entornos: necesidades de los clientes, tendencias del mercado, movimientos de la competencia, identificación de focos de improductividad, pérdidas e ineficiencia [18].

Las PNT obligan a las ECDE a inspeccionar un gran número de ciudadanos, con el fin de establecer acciones para su intervención [19]. De acuerdo con el reciente estudio de mercado y vigilancia tecnológica [20], se han identificado los siguientes aspectos propios de dicha problemática en nuestro país: ardua tarea para detectar usuarios con irregularidades; dificultad en la elaboración del análisis integral de los datos provenientes de diversas fuentes de información, afectando la ejecución de balances o críticas a la información; faltan instrumentos para incrementar el análisis de comportamientos y generar probabilidades (análisis predictivo) que indiquen tendencias; escasean los modelos para la caracterización de usuarios que presentan irregularidades;

carencia de mecanismos que permitan el direccionamiento y la retroalimentación de las acciones operativas realizadas en terreno, con las cuales se puedan optimizar esfuerzos y recursos de supervisión.

El desarrollo tecnológico lo componen los siguientes niveles analíticos:

A. Descriptiva

Software que permite generar alertas tempranas para identificar irregularidades⁷. Su propósito es optimizar los procesos de recuperación de servicios no facturados en las EDCE siempre y cuando éstas actúen una vez dadas las alertas; identificar causas comunes y analizar comportamientos a partir de la recolección, organización, análisis y visualización de la información generada en el proceso de medición de consumos de energía de los usuarios regulados y no regulados⁸.

Entre sus características principales se destacan: captura e integración de información proveniente de diversas fuentes; configuración personalizada para establecer parámetros y umbrales para el análisis; identificación de situaciones sospechosas (fraude, invasiones y fallas de equipos); arquitectura web; arquitecturas para multiservicio; multi-equipo y multiprotocolo; captura de información desde medidores que operen bajo los protocolos DLMS/COSEM; visualización de la información de alertas por medio de un sistema de información geográfica (GIS siglas en inglés de Geographic information system). En la figura 2, se ilustra las interfaces del dashboard del software.

⁶TDWI (The Data Warehousing Institute), instituto dedicado a transferir conocimiento en el contexto de inteligencia de negocios y almacenamiento de datos para ejecutivos y profesionales de todo el mundo. Consultado en: <http://tdwi.org/Home.aspx>

⁷Se tratan de anomalías en el sistema de distribución que pueden ser físicas (asociadas al medidor, cableado o en general la infraestructura) o pueden ser de tipo fraudulentas, que cometen los usuarios para alterar las medidas de consumo de energía eléctrica

⁸ Persona natural o jurídica, con una demanda máxima superior a 2MW por instalación legalizada, cuyas compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente. La Comisión de Regulación de Energía y Gas podrá revisar dicho nivel, mediante resolución motivada.

[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/eb4f03ab82f59e70525785a007a7215/\\$FILE/D-138-09%20L%C3%8DMITE%20D%E%20USUARIO%20NO%20REGULADO.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/eb4f03ab82f59e70525785a007a7215/$FILE/D-138-09%20L%C3%8DMITE%20D%E%20USUARIO%20NO%20REGULADO.pdf)

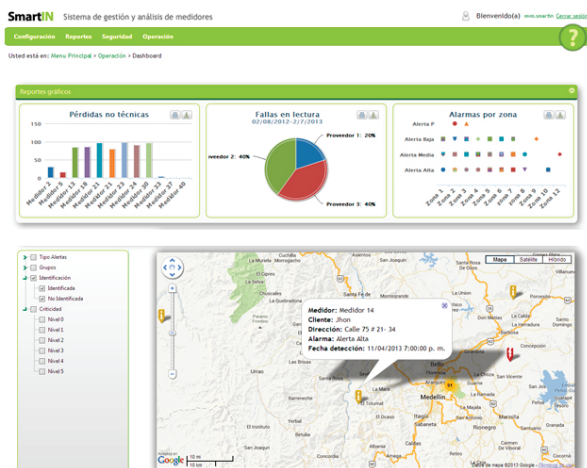


Fig. 2. Dashboard del software. Fuente: MVM

B. Predictiva

Modelos de analítica avanzada, que generan información especializada de los posibles usuarios que están cometiendo algún tipo de irregularidad; permiten establecer acciones eficientes de intervención en terreno. Cada proyecto se aborda usando la metodología CRISP-DM. Con la información adquirida, se analizan la problemática del negocio y los datos y se definen las estrategias a abordar en cada caso específico. Finalizada esta fase, se utiliza la línea base de preguntas de negocio preestablecidas, para determinar el alcance en cada uno de los modelos a implementar, luego se inicia con el diseño de modelos analíticos y, si es esencial, se utiliza la línea base de éstos, los cuales se describen en la tabla 1.

Modelo	Técnica de analítica avanzada	Propósito
Caracterización de clientes según el tipo de irregularidad.	• Limpieza y estimación de datos faltantes bajo el método de valores singulares. • Algoritmos K-means [21][22][23], para identificar la probabilidad de usuarios que pueden estar cometiendo algún tipo de irregularidad.	Agrupar diversos tipos de irregularidades y caracterizar las respectivas cuentas (clientes).
Detección de irregularidades por parte de clientes.	• Balanceo de clases SMOTE (en inglés <i>Synthetic Minority Over-sampling Technique</i>) [24]. • Método supervisado K-NN (en inglés <i>Nearest Neighbor Based</i>) [25]	Detectar patrones de irregularidades en clientes del sector eléctrico.
Caracterización de BI-Clúster.	• Modelo de análisis de BI-Clúster [22][23][24]. Investiga los subgrupos de filas y columnas en la matriz de observaciones, las cuales son tan similares en lo posible entre ellas y tan diferentes como sea posible del resto. Permite identificar diversos tipos de irregularidades.	Caracterizar usuarios con posibles irregularidades a partir de los datos: consumo del medidor, estrato y periodo.
Caracterización de K-medias.	• Análisis Clúster de K-medias [22][23][24]. Herramienta diseñada para asignar casos a un número fijo de grupos (clústeres o conglomerados) cuyas características se desconocen, pero que se basan en un conjunto de variables especificadas. Es útil cuando se requiere clasificar un gran número (miles) de casos. La solución, habilita identificar los usuarios que están cometiendo algún tipo de irregularidad.	Caracterizar usuarios con posibles irregularidades a partir de los datos: consumo del medidor, estrato y periodo.
Modelo de árbol de decisión.	• Árbol de decisiones y reglas definidas. Faculta la caracterización de los usuarios pertenecientes a cada uno de los grupos de datos analizados. Facilita identificar la variable que presenta el mayor peso en la clasificación de los usuarios que están cometiendo algún tipo de irregularidad.	Caracterizar usuarios con posibles irregularidades a partir de los datos: consumo del medidor, estrato y periodo.
Modelo de Potencia Adaptativa.	• Modelo de potencia adaptativa [22][23][24]. Permite asociar un peso a cada observación del conjunto de datos.	Caracterizar usuarios con posibles irregularidades a partir de los datos: consumo del medidor, estrato y periodo.
Modelo de máquina de vector de apoyo SVM.	• Modelo de máquina de vector de apoyo (en inglés SVM) [22][23][24]. busca los vectores de apoyo, que son puntos de datos que suelen encontrarse al borde de un área en el espacio y delimitan los puntos que pertenecen a una u otra clase. Genera la probabilidad de una cuenta (cliente) para que pertenezca a una clasificación específica.	Caracterizar usuarios con posibles irregularidades a partir de los datos: consumo del medidor, estrato y periodo.

Tabla.1.Descripción de modelos de analítica avanzada de la solución tecnológica. Fuente: MVM.

La figura 3, muestra la información que genera el modelo de caracterización K-medias descrito en la tabla 1, con el cual, las EDCE, pueden hacer análisis especializado y tomar acciones para direccionar, eficientemente, las actividades en terreno, con el fin de identificar los usuarios que estén cometiendo algún tipo de irregularidad.

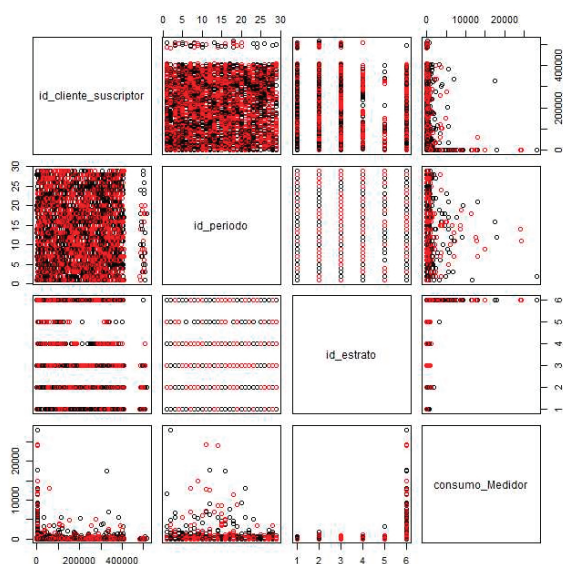


Fig. 3. Resultados Modelo K - media. Fuente: MVM

C. Otros aspectos de la solución

La solución tecnológica permite integrar la información proveniente de diversas fuentes (CRM⁹, ERP, Sistemas de Facturación, Sistema Comercial. Medidores inteligentes) y centralizarla en un Data Mart¹⁰, para que esté disponible y se puedan realizar análisis más especializados. Desde este último se pueden construir modelos que utilizan diversos tipos de datos, los cuales permiten identificar patrones ocultos y crear pronósticos precisos. En el contexto de AMI, los operadores de red, han incorporado medidores inteligentes en su

infraestructura, los cuales generan grandes volúmenes de información. En los países donde se ha desplegado esta tecnología, se realizan lecturas de medición cada 30 minutos, es decir, 48 millones de lecturas por cada millón de consumidores. Los datos se recogen en períodos de tiempo frecuentes y si la tecnología está disponible para el análisis en tiempo casi real, las ventajas serán sorprendentes. Las tecnologías de análisis tendrán que tener en cuenta no sólo los datos de consumo, sino otro tipo de información propia de los consumidores y otras variables [18]. Bajo este contexto, para gestionar y comprender dicha información, las ECDE deben administrar grandes volúmenes de datos y utilizar analítica avanzada para transformarlos en conocimiento. La solución tecnológica presentada en este artículo, incorpora estrategias para la gestión de considerable magnitud de información provenientes de medidores inteligentes y otras fuentes, teniendo en cuenta los principios y conceptos de Big Data¹¹ a partir de la investigación realizada [26].

VI. Conclusiones

Esta tecnología, en ambos niveles, fortalece la capacidad analítica de las EDCE y permite a los profesionales de la gestión integral de PNT estar mejor informados y tomar decisiones a partir de un análisis cuantitativo. Ofrece, también, los siguientes beneficios: una línea base de modelos analíticos que permite el examen de consumos y variables de interés, con lo cual se puedan generar direccionamientos efectivos en las visitas en campo. Permite entender lo que ocurrió y lo que está sucediendo y la relación entre los

⁹CRM (Customer Relationship Management), es una forma de integrar el potencial de las estrategias de marketing relacional y de las tecnologías de la información para crear relaciones rentables a largo plazo con los clientes y otros actores clave [9]

¹⁰Data Mart es una forma simple de un almacén de datos (en inglés Data Warehouse) que se centra en un solo tema (o área funcional), tales como ventas, finanzas o marketing. La información proviene de diversas fuentes (sistemas de información internos o externos, almacenes de datos, entre otros).

¹¹Big Data es un término que actualmente está siendo ampliamente en el mundo y específicamente abarca la obtención y análisis de los datos. [10] define a Big Data como como volúmenes de datos disponibles en diferentes grados de complejidad, generados a diferentes velocidades y grados de ambigüedad, que no pueden ser procesados utilizando herramientas o tecnologías tradicionales. [7] identifican algunos retos relacionados con la gestión de grandes volúmenes de datos y consideran que la información que es relevante en este gran conjunto de datos, deberá analizarse por medio de diagnósticos sofisticados, métodos de analítica prescriptiva y descriptiva.



datos. Habilita el agrupamiento de los tipos de irregularidades lo que proporciona mejorar la exploración y la generación de indicadores y reportes de valor al usuario. Brinda elementos para el análisis de balances o críticas a los informes. Apoya con herramientas la automatización del proceso de extracción de datos. Faculta el análisis de variables relevantes, las cuales permiten hacer estudios más especializados y mejorar la crítica de información. La innovación ha sido el motor principal para la competitividad y desarrollo sostenible durante los últimos años para MVM, con lo cual se busca entregar a los grupos de interés productos y servicios de valor y de alto impacto, fomentar relaciones cercanas y continuar con la especialización en el sector eléctrico. Como parte del compromiso y convicción empresarial, se trabajó, colaborativamente, con la U de M en el desarrollo de esta importante tecnología, lo que permitió aumentar las capacidades empresariales.

Agradecimientos.

A todo el equipo directivo de MVM, quien tiene el compromiso y la convicción empresarial de que el desarrollo tecnológico e innovación permiten generar soluciones de alto impacto a sus grupos de interés.

A la UDEM, aliado estratégico de MVM para el desarrollo de esta tecnología, por medio de su equipo científico, liderado por los profesores Carmen Cecilia Sánchez Zuleta y Juan Pablo Fernández Gutiérrez, quienes han realizado contribuciones importantes y valiosas.

Al Ingeniero Electrónico Juan Camilo Cardona Graciano especialista del negocio y de las tecnologías requeridas para el desarrollo de la solución

Los resultados fueron obtenidos mediante proyectos de investigación financiados por Ruta N¹², bajo las convocatorias Inngenio e Inlab2Market y por Colciencias¹³, bajo la convocatoria 535 Inserción de Doctores a la Empresa.

VII. Referencias

- [1] CAF Banco de Desarrollo de América Latina (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y El Caribe. Eficiencia Energética.
- [2] Organización Latinoamérica de Energía (2010). Eficiencia energética y energías renovables para el desarrollo industrial situación energética en América latina y el Caribe. Recuperado de:
http://www.cccartagena.org.co/docs/2010071712_PFE_Situacion%20Energetica%20en%20America%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf. [Consultado el 25 de agosto de 2004].
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo (2012). Justificación de la intervención del gobierno en el mercado de eficiencia energética. Recuperado de
<http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3735/Gu%C3%ADa%20BJustificacion%20de%20la%20intervenci%C3%B3n%20del%20gobierno%20en%20el%20mercado%20de%20eficiencia%20energ%C3%A9tica.pdf?sequence=1>. [Consultado el 26 de agosto de 2014].
- [4] CAF Banco de Desarrollo de América Latina (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y El Caribe. Eficiencia Energética. P.57.

¹² <http://rutanmedellin.org>

¹³ <http://www.colciencias.gov.co/>

- [5] CAF Banco de Desarrollo de América Latina (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en américa latina y el caribe. Retos y Desafíos. P. 59.
- [6] Perumalraja, R. y Shunmugham R. P. (2014). Communication networks and non-technical energy loss control system for smart Grid networks. IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia). Conferencia. P. 418 - 423.
- [7] Garrity, T.F. (2008). Getting Smart. IEEE Power and Energy Magazine, Vol.6, No 2. P. 38-45.
- [8] Casa, C.N.I. & Sunchu, C. M. G. (2009). Control y reducción de pérdidas no técnicas de energía mediante el método balance de energía por transformador en 19 sectores de la provincia de Cotopaxi designados por ELEPCO S.A. (Tesis). Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga. Cotopaxi. Ecuador. Ed. UTC. 135p. Recuperado de: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1031/1/T-UTC-1264.pdf>. [Consultado el 2 de septiembre de 2014].
- [9] Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, (2009). Resolución No 183 de 2009. Recuperado de <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/1537b9d298788e2b0525785a007a7218?OpenDocument>. [Consultado el 30 de agosto de 2014]
- [10] Tabarquino, M. R. A. (2011). Los servicios públicos domiciliarios en Colombia: una mirada desde la Ciencia de la Política Pública y la Regulación. Eumed.net Enciclopedia virtual. Recuperado de: <http://www.eumed.net/librosgratis/2011c/997/ley%20142%20de%201994.html>[Consultado el 1 de septiembre de 2014].
- [11] Higuera, J. M. (2013). Hurto de energía se baja con más medidas sociales. Portafolio.co. Recuperado de:
- [12] Dirección de Innovación del CIDET, (2014). Redes que generan valor al sistema eléctrico colombiano.Portafolio.co. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/economia/uso-eficiente-energia-electrica>. [Consultado el 4 de septiembre de 2014].
- [13] Naranjo Fredy (2011). Pérdidas por robo de energía ascienden a 130.000 millones. Portafolio.co. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/negocios/perdidas-robo-energia-ascienden-130000-millones> [Consultado el 27 de julio de 2014].
- [14] Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) (2013). Robos y fallas técnicas causan a la CDEEE pérdida por RD\$30,000 MM cada año. DiarioLibre.com. Recuperado de: http://www.diariolibre.com/economia/2013/06/13/i388173_robos-fallas-tnicas-causan-cdeee-prdida-por-rd30-000-cada.html. [Consultado el 27 de julio de 2014].
- [15] América Economía (2014). Honduras: ENEE registró US\$441M en pérdidas eléctricas en 2013. Recuperado de: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/honduras-enee-registro-us441m-en-perdidas-electricas-en-2013>. [Consultado el 26 de julio de 2014].
- [16] Kaufman, M. and Kirsch, D. (2014). Advanced Analytics: The Hurwitz Victory Index Report. Hurwitz & Associates, 1-28
- [17] Kaisler, S., F. Armour, A. Espinosa, and W. Money. (2014). Advanced Analytics - Issues and Challenges in the Global Environment. 47th Hawaii International Conference on System Science, Waikoloa, HI.
- [18] LaValle, S., Hopkins, M., Lesser, E., Shockley, R. and Kruschwitz, N. (2010). Analytics: The new path to value. IBM/MIT Sloane Management Review. <ftp://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/>



gbe03371usen/GBE03371USEN.PDF.
[consultado el 10 de septiembre de 2014].

[19] Costa, E. O., Fabris, F., Rodrigues Loureiros, A., Ahonen, H., Varejao, F. M., Ferro, R., Using GA for the stratified sampling of electricity consumers. In: Evolutionary Computation (CEC), 2013 IEEE Congress on, pp. 261-268, 2013.

[20] MVM Ingeniería de Software S.A.S. y Universidad de Medellín (2014). Informe de vigilancia tecnológica e análisis de mercado: Pérdidas no técnicas en Colombia. Dirección Gestión del Conocimiento e Innovación (MVM)- Centro de innovación y Desarrollo Empresarial Vicerrectoría de Investigaciones (UDEM), 1-114.

[21] Hastie, T. T. (2008). The Elements of Statistical Learning Data Mining, Inference and Prediction. Nueva York: Springer Verlag.
[]Mirkin, B. (2005). Clustering for Data Mining -A Data Recovery Approach. Boca Raton, FL: Chapman & Hall.

[22] Mirkin, B. (2005). Clustering for Data Mining -A Data Recovery Approach. Boca Raton, FL: Chapman & Hall.

[23] Tan, P. A., Steinbach, M., Kumar, V. (2006). Introduction to Data Mining. Boston: Addison Wesley.

[24] Chawla, N., Bowyer, K., Hall, L., Kegelmeyer, W. (2002). SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 16, 321-357.

[25] Dasarathy B. V., Sánchez J. S. (2000). Tandem Fusion of Nearest Neighbor Editing and Condensing Algorithms. Data Dimensionality Effects. pp. 692-695.

[26] Giraldo, J. (2014). Estrategia de gestión de grandes volúmenes de datos para la medición inteligente en el contexto de Smart

Grid: Caso MVM Ingeniería de Software S.A.S. Universidad EAFIT, Medellín, En revisión. Universidad EAFIT.

VIII. Reseña de los autores

Gladys Adriana Quintero Rojas : PhD. en Física, MSc en Física, Especialista en Docencia Universitaria, Física. Investigadora en la dirección de gestión de conocimiento e innovación, de la empresa MVM Ingeniería de Software S.A.S., mediante comisión administrativa otorgada por la Universidad de Antioquia mediante el proyecto en ejecución Elaboración de un prototipo de producto o servicio para apoyar una solución desde una Red Inteligente (smart grid) aprobado en la convocatoria 535 de Colciencias Inserción de Doctores a Empresas. Docente de la Universidad de Antioquia e integrante del Grupo de Investigación Óptica y Fotónica (GOF) categoría A en la clasificación de Colciencias.

Ricardo Alonso Gallego Burgos : Msc. en Gestión Tecnológica de la Universidad Pontificia Bolivariana, Especialista en Gestión de la Información y Base de Datos, e Ingeniero de Sistemas de la Universidad de San Buenaventura. Trabaja en MVM Ingeniería de Software S.A.S, como Director de Gestión del Conocimiento e Innovación y se desempeña como docente e investigador a nivel de programas de especialización y maestría en la Universidad de Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana y de San Buenaventura, expositor en eventos académicos e industriales nacionales e internacionales, con ponencias en el área de la Gestión del Conocimiento e innovación. Pertenece a los siguientes grupos de investigación: ARKADIUS de la Universidad de Medellín y GTI de la Universidad Pontificia Bolivariana.