

## Arquitectura base de interoperabilidad semántica para el sistema eléctrico de distribución inteligente en la CFE



Alfredo Espinosa Reza, Raúl García Mendoza, Jesús Fidel Borjas Díaz y Benjamín Sierra Rodríguez

### Resumen

Se presenta la arquitectura física y lógica de la plataforma de interoperabilidad definida para los sistemas de gestión de la distribución (DMS por sus siglas en inglés), de la Subdirección de Distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en México. La arquitectura adoptada incluye la definición de una plataforma tecnológica para gestionar el intercambio semántico de información entre sistemas y aplicaciones, sustentado en el Modelo de Información Común (CIM por sus siglas en inglés), establecido en las normas IEC 61968 e IEC 61970.

Se muestra la arquitectura basada en SSOA (*Semantic Services Oriented Architecture*), en EIB (*Enterprise Integration Bus*) y en GID (*Generic Interface Definition*), así como la secuencia para lograr la interoperabilidad de sistemas relacionados con la Gestión de la Distribución de energía eléctrica en México.

De igual manera se describe el proceso para establecer un Modelo Semántico del Sistema Eléctrico de Distribución (SED) y la creación de instancias CIM/XML, orientadas a la interoperabilidad de los sistemas de información en el ámbito DMS, mediante el intercambio de mensajes conformados y validados según la estructura obtenida y acorde a las reglas establecidas por el Modelo CIM. De esta forma, los mensajes y la información que se intercambien entre sistemas, aseguran la compatibilidad y correcta interpretación de manera independiente al desarrollador, marca o fabricante del sistema fuente y destino.

El objetivo principal es establecer la infraestructura base de interoperabilidad semántica, basada en estándares que sustente la definición estratégica de un Sistema Eléctrico de Distribución Inteligente (SEDI) en México.

Una Red Eléctrica Inteligente se caracterizará por un flujo bidireccional de electricidad e información para crear una amplia red automatizada de suministro de energía eléctrica.

## Introducción

Una Red Eléctrica Inteligente (REI) o *Smart Grid* como se conoce en el ámbito internacional, se refiere a una visión estratégica tecnológica para la modernización de los sistemas de suministro de energía eléctrica, incluyendo el monitoreo, protección y optimización automática de la operación de los elementos interconectados: desde los grandes centros de generación, generación distribuida, líneas de transmisión y sistemas de distribución, a los usuarios industriales, sistemas de almacenamiento de energía, consumidores finales y sus sistemas de calefacción, vehículos eléctricos, electrodomésticos y otros dispositivos del hogar.

Una REI se caracterizará por un flujo bidireccional de electricidad e información para crear una amplia red automatizada de suministro de energía eléctrica. Se incorporan en la red los beneficios del cómputo distribuido así como de las comunicaciones, para entregar información en tiempo real y permitir el balance casi instantáneo de la oferta y la demanda a nivel de dispositivos.

Como parte de la visión de una REI, es un requisito fundamental la interacción de diversos sistemas de información de las distintas áreas de la o las empresas eléctricas, tales como EMS (*Energy Management System*), NMS (*Network Management System*), WAMS (*Wide Area Measurement System*), DMS (*Distribution Management System*), AMI (*Advanced Metering Infrastructure*), MDM (*Meter Data Management*), OMS (*Outages Management System*), WFM (*Workforce Management*), entre otros, incluso algunos conocidos de manera genérica como “aplicaciones avanzadas”, cuya definición aún no ha sido completamente establecida.

En este contexto, el Sistema Eléctrico de Distribución Inteligente (SEDI) en México es la iniciativa de la Subdirección de Distribución en la CFE, para implementar la visión y estrategia de una red eléctrica de distribución más eficiente, segura y confiable, que incluya beneficios de calidad de la energía, mejor tiempo de respuesta a fallas, detección y reparación automática de fallas, integrar generación distribuida y almacenamiento, entre otros, con el objeto de incentivar la generación con fuentes de energía más limpia y dispositivos de consumo más eficientes para un desarrollo sustentable, en apoyo a mitigar el impacto ambiental y revertir el cambio climático.

## Interoperabilidad semántica

La interoperabilidad (*interoperability*) se refiere a la capacidad de los equipos o sistemas de diferentes fabricantes para comunicarse entre sí con éxito en una red y es la condición mediante la cual, sistemas heterogéneos pueden intercambiar procesos o datos.

Una REI es un sistema de sistemas, es decir, su arquitectura será una composición de muchas arquitecturas de sistemas y subsistemas, lo cual permitirá la máxima flexibilidad durante la implementación, pero al mismo tiempo exigirá una alta capacidad de integración de los nuevos sistemas con los sistemas legados.

El *GridWise Architecture Council* desarrolló un modelo de referencia conceptual para la identificación de estándares y protocolos necesarios para asegurar la interoperabilidad, la seguridad informática y definir arquitecturas para sistemas y subsistemas en la REI.

Se identifican tres niveles dirigidos a conseguir una interoperabilidad efectiva en cualquier sistema:

**Interoperabilidad técnica.** Abarca las conexiones físicas y las comunicaciones entre los dispositivos o sistemas (por ejemplo, contactos eléctricos y puertos USB). Enfatiza la sintaxis o formato de la información.

Figura 1. Categorías y niveles del framework de interoperabilidad del GWAC.



**Interoperabilidad informativa.** Cubre el contenido, la semántica y el formato de los datos o flujos de instrucciones (como son el significado aceptado de los humanos, lenguajes de programación y los símbolos comunes). Se centra en qué información es intercambiada y su significado.

**Interoperabilidad organizacional.** Cubre las relaciones entre las organizaciones e individuos y sus partes del sistema, incluyendo las relaciones comerciales (como los contratos, propiedades y las estructuras de mercado), así como las relaciones jurídicas o legales (por ejemplo, las estructuras de reglamentación, requisitos y la protección de la propiedad física e intelectual). Enfatiza los aspectos pragmáticos, especialmente la gestión y mercado eléctrico.

Conforme se incrementa el nivel de interoperabilidad, interviene cada vez más la infraestructura eléctrica y menos la infraestructura informática o de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC's) por el manejo de las relaciones y procesos del negocio, así como las políticas y regulaciones del mercado eléctrico. En los niveles de interacción semántica, el Modelo de Información Común (CIM) establecido en las normas IEC 61968 e IEC 61970 es una propuesta de un modelo abstracto de información estándar para empresas eléctricas, basado en el lenguaje UML (*Unified Modeling Language*). En este modelo se representan objetos del mundo real y sus relaciones, con el propósito de crear un sistema de información que pueda ser utilizado entre diferentes aplicaciones, para el manejo e intercambio de datos. Existen diversas empresas y organizaciones relacionadas con el desarrollo y mantenimiento del modelo, así como aplicaciones reportadas en empresas eléctricas (*R. García et al*).

## Arquitectura Orientada a Servicios Semánticos (SSOA)

La Arquitectura Orientada a Servicios (SOA por sus siglas en inglés) es arquitectura informática y estrategia; define la utilización de servicios con bajo nivel de acoplamiento de componentes tipo "caja negra", para dar soporte a los requisitos del negocio de una empresa.

Por otra parte, la sintaxis se refiere a la estructura gramatical de un mensaje, expresión o programa de cómputo, sin atender a su interpretación. A su vez, la semántica es el estudio del significado y se refiere a los aspectos del significado, sentido o interpretación del significado de un determinado elemento, símbolo, palabra, expresión o representación formal, que gramaticalmente esté correcto.

En este contexto, SOA asegura la entrega de mensajes sintácticamente bien escritos, ya que establece la arquitectura, estructura, medios y formatos de mensajes, por ejemplo WSDL y XML, pero no asegura que el significado o su interpretación sea lo mismo para el sistema fuente, que para el sistema destino. De aquí la importancia de integrar una arquitectura SOA Semántica (SSOA por sus siglas en inglés) que provea un modelo de información y lenguaje común, de tal manera que los mensajes enviados entre aplicaciones estén obligados a respetar, además de la sintaxis, un esquema o Modelo Semántico común. En *R. García et al* se muestra la definición esquemática y las diferencias fundamentales entre SOA y SSOA.

## Arquitectura base de interoperabilidad semántica

La interoperabilidad semántica obliga a contar con un modelo arquitectónico para el intercambio eficiente de la información entre sistemas del dominio. Este modelo debe incluir la capacidad de recibir y despachar mensajes que estén validados en la sintaxis y semántica definida para la conformación de la información; de esta manera se asegura, por una parte, el cumplimiento de las reglas de conformación técnica (formato, esquema, tecnología), y por otra, la correcta interpretación del significado del mensaje y las reglas de escritura establecidas (perfil, secuencia, enlace, cardinalidad).

En este sentido, las normas IEC que definen al Modelo CIM, recomiendan el uso de un bus empresarial (*middleware*) para el intercambio de datos para la capa técnica, así como un módulo de entradas/salidas/validación que asegure la semántica de los mensajes.

En la CFE se ha definido la arquitectura física para la implementación del modelo de interoperabilidad semántica, el cual se muestra en la figura 2.

Para el adecuado procesamiento de los mensajes de entrada/salida e intercambio de información entre sistemas del dominio DMS, se estableció la arquitectura lógica para la interoperabilidad semántica, la cual considera que todos los sistemas legados de la CFE deberán pasar por un “Adaptador CIM” (*wrapper*), el cual es una capa o envolvente, sustentada en tecnología GID para la definición de interfaces genéricas de acceso a datos (figura 3).

Cada “Adaptador CIM” debe considerar la generación del Modelo Semántico para el sistema en particular que enlazará, así como un procesamiento interno de los datos que permita “mapear” la información particular al modelo general, respetando la nomenclatura única del Modelo CIM.

De igual manera, al contar con la capa de interoperabilidad semántica, en el futuro, cualquier sistema que por su naturaleza sea compatible con el Modelo CIM, se podrá enlazar de manera directa sin la necesidad de abstraer el cumplimiento mediante “Adaptadores CIM”. En el caso del Simulador del SED, el cumplimiento con el Modelo CIM fue establecido desde su inicio, por lo que actualmente cuenta con la capacidad de generar y recuperar Instancias CIM/XML para su procesamiento en el bus de interoperabilidad semántica (figura 4).

Figura 2. Arquitectura física para la interoperabilidad semántica del Sistema Eléctrico de Distribución Inteligente (SEDI).

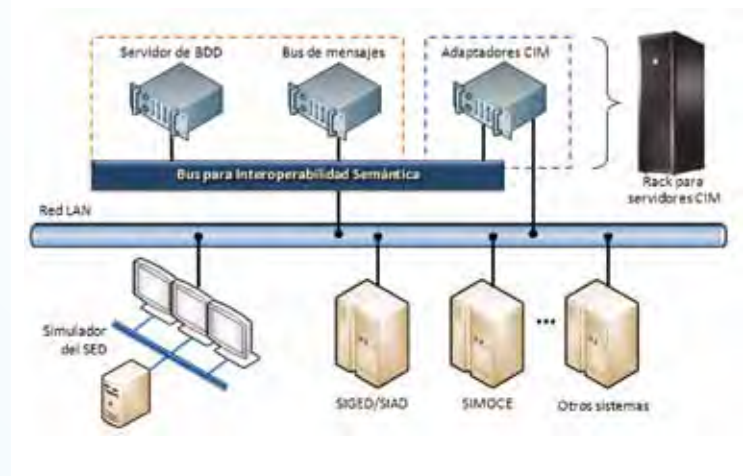
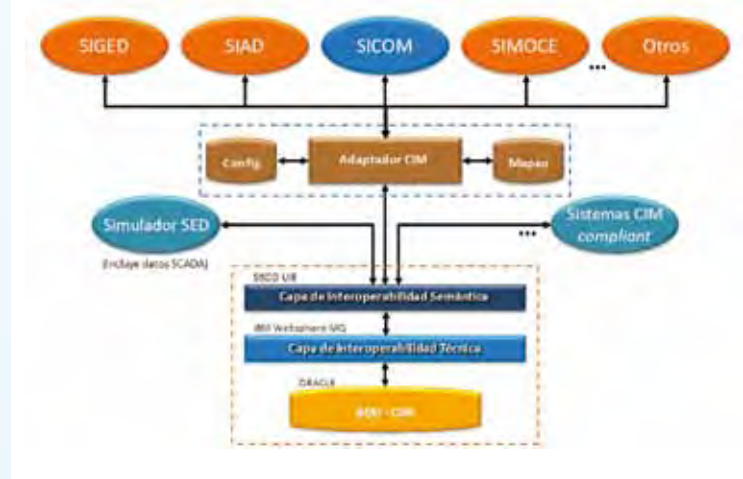


Figura 3. Arquitectura lógica para la interoperabilidad semántica del Sistema Eléctrico de Distribución Inteligente (SEDI).



## Modelo Semántico del Sistema Eléctrico de Distribución

La tecnología de Interoperabilidad Técnica (sintaxis) no asegura el mismo nivel de significado o interpretación en la capa semántica ya que:

**XML** proporciona una sintaxis superficial para documentos estructurados, pero no impone restricciones semánticas en el significado de estos documentos.

**XML Schema** es un lenguaje que se utiliza para restringir la estructura de los documentos XML y para ampliar XML con tipos de datos.

**RDF** es un modelo de datos para objetos o "recursos" y las relaciones entre ellos, proporcionando una semántica simple. Este tipo de modelo de datos puede ser representado en una sintaxis XML.

**RDF Schema** es un vocabulario utilizado para describir propiedades y clases de recursos RDF, con una semántica para la generalización y jerarquización tanto de propiedades como de clases.

Un Modelo Semántico es una Ontología, es decir, permite representar explícitamente el significado de términos en vocabularios y las relaciones entre esos términos de manera exhaustiva y rigurosa, con la finalidad de facilitar la comunicación y el intercambio de información entre diferentes sistemas.

Una Ontología añade vocabulario para describir propiedades y clases: entre otros, relaciones entre clases (por ejemplo, composición, asociación, herencia), cardinalidad (por ejemplo, "sólo uno"), igualdad, y agrega tipos de propiedades, características de propiedades (por ejemplo, simetría), y clases enumeradas.

Un Perfil es un subconjunto de clases, atributos y asociaciones derivadas de la Ontología (Modelo CIM), que representa a los componentes del mundo real seleccionados para su manejo en sistemas de información.

Para obtener el Modelo Semántico del Sistema Eléctrico de Distribución (SED), así como una instancia CIM/XML del SED, en la CFE se utilizó el Modelo CIM base de las normas IEC 61968 e IEC 61970 y se aplicó la siguiente secuencia:

**Mapear los conceptos del SED con los conceptos definidos en el Modelo CIM.** Se debe usar tanto como sea posible, la definición del Modelo CIM, considerando que ocasionalmente resultará imposible establecer la correspondencia exacta.

**Extender el Modelo CIM.** Mediante el uso de clases derivadas se deben agregar todos los conceptos del SED no considerados en el Modelo CIM, por ejemplo: datos de alimentadores, giro de los clientes, etc.

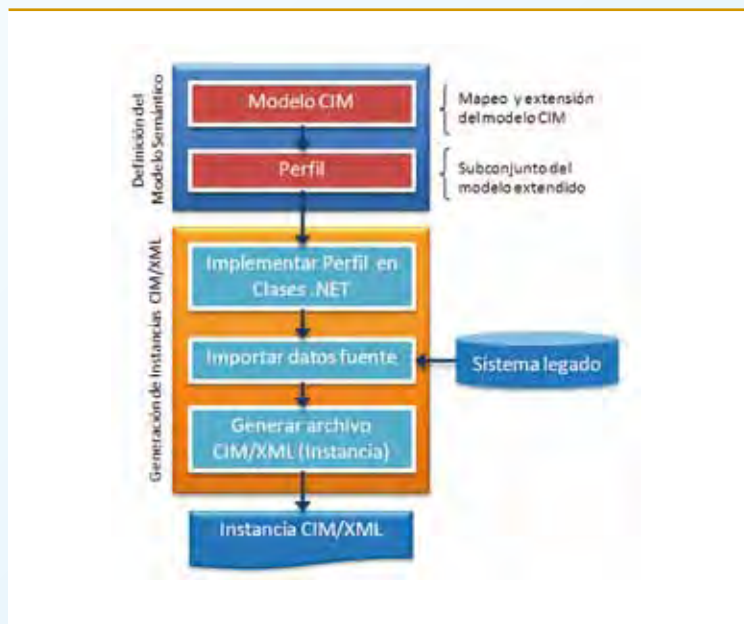
**Generar el Perfil CIM/XML.** A partir del modelo CIM extendido y con la herramienta *opensource* CIMtool, se genera el Perfil validado con las reglas de la ontología CIM. En este punto se cuenta con el Modelo Semántico que puede ser usado de diversas formas y tecnologías compatibles con CIM (R. García et al).

**Implementar clases .NET.** En función del Perfil, sus clases y relaciones (en UML), se deben implementar todas las clases en un lenguaje de programación Orientado a Objetos (OO) para utilizar el Perfil CIM/XML, acorde al esquema RDF de la norma IEC 61970-501.

**Desarrollar una aplicación que consuma las clases .NET.** Además de utilizarlas, deberá tener acceso nativo a los sistemas fuente para extracción de datos, de manera que se genere un archivo de Instancia CIM/XML, que pueda ser procesado acorde a las reglas de la Ontología CIM.

El resultado permite la representación formal del SED de la CFE y estar acorde con las reglas semánticas que permiten la interoperabilidad entre múltiples sistemas en el ámbito de la distribución de energía eléctrica.

Figura 4. Secuencia para obtener el Modelo Semántico y crear una Instancia CIM/XML del SED acorde al Modelo CIM.



Actualmente se cuenta con el Modelo Semántico e Instancias para la red topológica de distribución (georreferenciada), desde 135 kV hasta 13.8 kV, los unifilares de subestaciones de potencia y de distribución, el modelo eléctrico y físico de los elementos y dispositivos integrados, datos SCADA adquiridos en tiempo real, clientes importantes conectados al SED, datos operativos (fallas y mantenimiento) y datos de calidad de la energía. Se continúa integrando elementos y definiciones al Modelo.

Figura 5. Ejemplo de Instancia CIM/XML del SED, acorde al Modelo CIM.



## Conclusiones

Desde su definición, una Red Eléctrica Inteligente considera una revolución tecnológica en los sistemas de suministro de energía eléctrica, tanto su generación, transporte y almacenamiento, hasta su consumo.

Por su parte, la CFE está trabajando en la adopción de estándares internacionales y buenas prácticas en la industria nacional, tales como IEC 61850, IEC 61968, IEC 61970, IEC/PAS 62559, UML, entre otros, con el objeto de conformar un Sistema Eléctrico más eficiente, seguro, robusto y confiable. En este esfuerzo, la definición y estrategia del Sistema Eléctrico de Distribución Inteligente (SEDI), marcará las directrices de la Subdirección de Distribución, en el rumbo del cambio tecnológico requerido para conformar la red eléctrica del futuro.

Por su parte, la adopción del Modelo CIM y la Arquitectura de Interoperabilidad Semántica son los elementos que permitirán el intercambio de información de manera estándar entre sistemas, con el objeto de establecer e implantar aplicaciones avanzadas, tales como la Gestión del lado de la Demanda (*Demand Response*), la Automatización de la Distribución, Tarifas Dinámicas, Auto Reparación de Redes, entre otras que están emergiendo en el contexto internacional.

## Reconocimientos

Los autores desean agradecer a las siguientes personas, el apoyo en el desarrollo del presente trabajo:

Tito Manuel Calleros Torres (IIE)  
 Mirna Molina Marín (IIE)  
 Heidi Barrera Monje (IIE)  
 Eider Miguel Amores Campos (IIE)  
 John Gillerman (SISCO)  
 Margaret Goodrich (SISCO)  
 Héctor Pérez Escamilla (CFE)  
 Leopoldo Meza Olvera (CFE)

## Referencias

EPRI's IntelliGrid initiative (<http://intelligrid.epri.com>).

*The Modern Grid Initiative Version 2.0*, Conducted by the National Energy Technology Laboratory for the U.S. Department of Energy Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, January 2007 (<http://www.netl.doe.gov/moderngrid/resources.html>).

GridWise Architecture Council, *GridWise® Interoperability Context-Setting Framework*, March 2008 (<http://www.gridwiseac.org>).

*Ley de Reinversión y Recuperación de Estados Unidos de 2009*, ([http://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Reinversi%C3%B3n\\_y\\_Recuperaci%C3%B3n\\_de\\_EE.\\_UU.\\_de\\_2009](http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Reinversi%C3%B3n_y_Recuperaci%C3%B3n_de_EE._UU._de_2009)).

EPRI, Don Von Dollen, *Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap*, (Contract No. SB1341-09-CN-0031-Deliverable 7), June 17, 2009.

IEC-EPRI, IEC/PAS 62559, *IntelliGrid Methodology for Developing Requirements for Energy Systems*, Publicly Available Specification, Pre-Standard, Edition 1.0, 2008-01.

IEEE P2030, *Draft Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-Use Applications and Loads*, P2030 Working Group Meeting Minutes: June 3-5, 2009, Santa Clara, CA.

Newman, Scott, *Position Paper for the GridWise Interoperability Workshop*, April 2007 ([http://www.gridwiseac.org/pdfs/interop\\_papers\\_0407/papers/neumann.pdf](http://www.gridwiseac.org/pdfs/interop_papers_0407/papers/neumann.pdf)).

L. King, T. Nielsen, Scott Neumann, Ali Vojdani, Parag Parikh, *The Common Information Model for Distribution, An Introduction to the CIM for Integrating Distribution Applications and Systems*, EPRI document 1016058, Technical Update, November 2008.

Rosa G. García E., José A. Sánchez L., Alfredo Espinosa R., *Análisis del Estado del Arte y de la Práctica en la aplicación del modelo CIM en Empresas Eléctricas*, Boletín IIE, abril-junio de 2010.

Alfredo Espinosa R., *Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución*. Breves Técnicas, Boletín IIE, enero-marzo de 2010, pp. 27 y 28.

Dave McComb, *Semantics in Business Systems*, Morgan Kaufmann Publishers, 2004.

Bobby Woolf, *Exploring IBM Smart SOA Technology & Practice*, Maximum Press, 2008, Canadá.

Jeff Davies, David Schorow, Samrat Ray and David Rieber, *The Definitive Guide to SOA Oracle® Service Bus*, second edition, Apress, 2008.

Judith Hurwitz, Robin Bloor, Marcia Kaufman and fern Halper, *SOA for Dummies*, 2<sup>nd</sup> IBM Limited Edition, Wiley Publishing, Inc., 2009, US.

*OWL Web Ontology Language Overview*, World Wide Web Consortium (W3C), February 2004, updated to October 2009.

*CIMtool* (<http://www.cimtool.org/>).

#### ALFREDO ESPINOSA REZA [[aer@iie.org.mx](mailto:aer@iie.org.mx)]

Ingeniero Mecánico Electricista, en el área de Electricidad y Electrónica, egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1994. Ingresó al IIE en 1995, en donde desarrolla e integra sistemas de información en tiempo real para centrales generadoras de energía eléctrica, subestaciones y redes de distribución. Sus áreas de investigación incluyen la arquitectura e infraestructura de interoperabilidad semántica para los Sistemas de Gestión de la Distribución (DMS), soportada por el Modelo de Información Común (CIM). Recientemente coordinó el desarrollo del Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución para los centros de control de distribución de la CFE, así como el desarrollo de la arquitectura e infraestructura de interoperabilidad semántica para sistemas de información, en el contexto de la gestión de la distribución de energía eléctrica (DMS) de la CFE.

#### RAÚL GARCÍA MENDOZA [[rgarcia@iie.org.mx](mailto:rgarcia@iie.org.mx)]

Ingeniero Mecánico Electricista con especialidad en Electrónica, egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 1988. Maestro en Ciencias Computacionales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en 1997. Ingresó al IIE en 1990, en donde ha diseñado, desarrollado e integrado sistemas de información en tiempo real, para la supervisión, control y diagnóstico de procesos relacionados con la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Actualmente colabora en el desarrollo de la arquitectura e infraestructura de interoperabilidad semántica soportada por el modelo CIM, para sistemas de información en el contexto de la distribución de energía eléctrica (DMS) de la CFE.



De izquierda a derecha: Alfredo Espinosa Reza, Jesus Fidel Borjas Díaz y Raúl García Mendoza.

#### JESUS FIDEL BORJAS DÍAZ [[jfborjas@iie.org.mx](mailto:jfborjas@iie.org.mx)]

Ingeniero en Sistemas Computacionales egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna en 2006. En ese mismo año participó en el programa de Adiestramiento en Investigación Tecnológica del IIE, realizando un prototipo de sistema experto para el Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución. Desde 2007 se desempeña como investigador por honorarios en la Gerencia de Supervisión de Procesos del IIE, participando en el desarrollando e integración de sistemas para la industria eléctrica. Es coautor del *software* registrado: "Simulador del Sistema Eléctrico de Distribución". Actualmente participa en el proyecto para establecer la arquitectura e infraestructura de interoperabilidad semántica para los sistemas de gestión de la distribución (DMS) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).