

# Una aproximación a la Infraestructura de Medición Avanzada en Redes Inteligentes

## *An approximation to the Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid*

René Navarro Herrera<sup>I,\*</sup>, Senly Martín Gerónimo<sup>I</sup>, Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas<sup>II</sup>

<sup>I</sup>Unión Eléctrica (UNE), La Habana, Cuba

<sup>II</sup>Universidad Tecnológica de La Habana, “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba

\*Autor de la correspondencia: [rene.navarro77@yahoo.es](mailto:rene.navarro77@yahoo.es)

Recibido: 5 de junio de 2024

Aprobado: 5 de septiembre de 2024

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



### RESUMEN/ABSTRACT

La Infraestructura Avanzada de Medición, es una plataforma que traspasa las fronteras de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía de una empresa eléctrica. Incluye un cambio en la mentalidad de los consumidores y en el diseño de los equipos, dispositivos y aplicaciones utilizados por ellos. El uso en esta infraestructura de las tecnologías de la informática y las comunicaciones, la Internet de las cosas, así como los diferentes medios y plataformas de comunicaciones permitirán un verdadero control dinámico y en tiempo real del uso de la energía eléctrica. En el artículo de reflexión, se esboza una perspectiva para comprender las nuevas normas y disciplinas que inciden en el diseño tanto urbano como rural y, en general, en la vida social de los ciudadanos, relacionadas entre sí para alcanzar un uso eficiente de la energía y un cambio sustancial en la matriz energética del país.

**Palabras clave:** AMI; fuentes renovables, redes inteligentes.

The Advanced Measurement Infrastructure is a platform that crosses the borders of the generation, transmission, distribution and marketing of electric company's energy. Included a change in the mentality of consumers and in the design of equipment, devices and applications used by them. The use in the infrastructure of information technology and communications, the Internet of things, and different communications media and platforms, will allow true dynamic and real-time control of the use of electrical energy. In the reflection article, a perspective is sketched to understand the new norms and disciplines that affect both, urban and rural design and in general the social life of citizens, related to each other to achieve efficient use of energy and a substantial change in the country's energy matrix.

**Key words:** AMI; renewable energies; smart grids.

### INTRODUCCIÓN

Las redes eléctricas tradicionales están en proceso de evolución gradual gracias a la vinculación de nuevas tecnologías, convirtiéndose en Smart Grids. Así, la cadena de la energía eléctrica obtiene valores agregados al originarse nuevos mercados y servicios para solucionar las necesidades actuales de los sistemas. Un elemento clave dentro de esta transformación es el medidor inteligente, que permite articular la relación entre el sistema eléctrico y el consumidor final de energía y también determina el tipo de relación comercial y técnica entre los agentes involucrados.

Cómo citar este artículo:

René Navarro Herrera y otros. Una aproximación a la Infraestructura de Medición Avanzada en Redes Inteligentes. Ingeniería Energética. 2024. 45 (2), mayo/agosto. ISSN 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Una infraestructura de medición avanzada (Advanced Metering Infrastructure - AMI) puede definirse como la integración de varias tecnologías que crean una conexión inteligente entre los operadores del sistema y los consumidores, para brindar a estos últimos la información que necesitan para tomar decisiones que redunden en mayores beneficios [1]. En los últimos años, se ha tomado consciencia de factores como el aumento de la población mundial, la disminución de las reservas energéticas vinculadas a los combustibles fósiles, el aumento de la dependencia energética en la vida cotidiana del ser humano como resultado del desarrollo tecnológico y social, el inicio de una intensaindustrialización, así como los efectos ambientales del consumo ineficiente de energía, condicionan la necesidad de una gestión inteligente de la energía.

Por otra parte, a nivel internacional se han logrado desarrollar diferentes campañas de conjunto con el sector público y privado, que buscan avanzar en el campo de las redes inteligentes (smartgrid), y de igual manera, fomentar una gestión activa del consumo de energía eléctrica, tanto del lado del consumidor como de los implicados en la generación, transmisión y en especial la distribución. En países como Alemania, Italia, Brasil, México, Canadá, Estados Unidos, China, se hicieron campañas y ahora se evalúan los resultados, determinándose que los proyectos para el desarrollo de la Infraestructura de Medición Avanzada se pueden recuperar en 6 ó 7 años, y que conllevan a significativos beneficios de tipo ambiental a través de ahorros de energía y reducción de emisiones [2]. También se han desarrrado experiencias, en un grupo de países de América Latina como México, Colombia, Chile Perú, República Dominicana[2].

Pero en Cuba su desarrollo, es una asignatura pendiente en el proceso de control de la energía y de la transición energética, con fuerte penetración de fuentes renovables. ¿En qué consiste la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) ? la AMI es un sistema compuesto por hardware y software, que permite la obtención de datos del sistema eléctrico, a partir de dispositivos de medición con comunicación remota. Estos sistemas tienen una infraestructura que puede realizar mediciones detalladas, recopilar información basada en el tiempo constantemente y compartirla con las partes según sea necesario, por lo que se puede incrementar los controles de los diferentes parámetros del sistema eléctrico en tiempo real, permitiendo así la toma de decisiones, para lograr una explotación económica [2, 3].

#### **¿Qué se pretende conseguir con la plataforma AMI?:**

- Incrementar los controles de los diferentes parámetros del sistema eléctrico en tiempo real, lo cual permite la toma de decisiones, para lograr un explotación económica.
- Tener una fuente de información única, que sirva de base para la atención, gestión y respuestas precisa de los Centros de Integrales de Atención al Cliente que existen en Cuba, a los consumidores, sobre solicitudes o no conformidades.
- Disminución de las pérdidas de energía ya que permite:
  - Tener procesos de facturación más seguros y controlados, por un sistema de medición inteligente.
  - Incorporar tarifas de tiempo de uso para el sector residencial, que motivará el desplazamiento de los consumos de ese sector fuera de los horarios picos.
  - Realizar análisis de estudios de pérdidas técnicas en los diferentes niveles (transmisión, sub transmisión y distribución) con el objetivo de lograr la inversión y mejoras en los puntos más ineficientes de la red eléctrica [3].
- Controlar y usar eficientemente los activos fijos, recursos para el mantenimiento y el Capital Humano.
- Definir con exactitud las necesidades de recursos para planes de corto, mediano y largo alcance.
- Compatibilizar la demanda del sector empresarial con la generación y que esta se controle de forma automática.
- Incorporar la generación de energía limpia a las redes de distribución, la cual ha sido previamente acumulada, para ser utilizada en las horas picos.
- Tener un sistema de alumbrado público inteligente que logre disminuir el consumo de la electricidad en un 30%.
- Desarrollar una nueva disciplina, la domótica (sistema relacionado con el conjunto de aparatos inteligentes para el hogar que permiten automatizar el control y funcionamiento de varios elementos), que unida a las posibilidades de comunicación y el uso cada vez más masivo en el país de la Internet, permite una estrecha relación con el cliente, brindándole una información confiable que facilite su gestión en el uso eficiente de la energía eléctrica.
- Incorporar a este gran concierto, las posibilidades que da el control y acceso a la Internet de las cosas (IoT) a nuestros consumidores.
- Conseguir la compatibilidad con la política del país, orientada a una reducción dramática en el uso de los combustibles fósiles para el transporte y utilizar la electricidad como fuente de energía y disminuir el descontrol y pérdidas en el trasiego de los diferentes tipos de combustible sin afectar al medio ambiente.

A partir de las múltiples funciones que se pueden conseguir con este sistema, el objetivo de este trabajo, es lograr una aproximación a este tema, para identificar sus componenstes e interacciones y como una manera de sensibilizar a investigadores, académicos y decisores, lograr su entendimiento, así como la necesidad de su implementación. Una vez que inicie su implementación, marcará un hito importante en el desarrollo de la Infraestructura de Medición Avanzada en Cuba.

## REFLEXIÓN

### ¿Infraestructura de Medición Avanzada en el Año 2024 en Cuba ? ¿Quién rompe el hielo?

Preguntas aún sin respuesta, que pesan sobre los técnicos y especialistas del sector de la energía eléctrica de Cuba. Es importante dar este paso en el país, para el desarrollo del uso y control de la energía eléctrica, que incluye la incorporación masiva de generación a partir de las fuentes renovables de energía (FRE), su acumulación y el uso racional de la misma, mediante una plataforma que garantice este objetivo en cada momento y que además brinde información del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), a los consumidores, especialistas y directivos en los diferentes niveles.

Como parte de la responsabilidad que le ha conferido el Estado Cubano a esta organización, debe compartir con sus consumidores no residenciales, estatales o privados y con la población en general, informaciones, alertas y datos sobre el estado del SEN y sobre sus relaciones con la empresa, ya que ellos son en definitiva su razón de ser. La necesidad de disminuir los costos de operación y mantenimiento, lograr una operación económica del sistema eléctrico, el control de la facturación y la lucha contra el fraude eléctrico, definen claramente que es preciso trabajar duro en este sentido para tener un sistema eléctrico eficiente, y que logre disminuir las pérdidas de energía.

### Infraestructura de Medición Avanzada o Advanced Metering Infrastructure

Infraestructura de Medición Avanzada o Advanced Metering Infrastructure, del inglés, se refiere a los sistemas que miden, recolectan y analizan el uso de la energía o fluidos, e interactúan con dispositivos avanzados o inteligentes, tales como medidores de electricidad, de gas o de agua. Dichos sistemas son capaces de gestionar toda la información recolectada y tomar decisiones, para ello la infraestructura (que usualmente es de propiedad de las empresas de servicios), incluye el hardware, software, equipos de comunicaciones, pantallas con información de consumo para los usuarios, etc. [4 - 7].

Básicamente tienen 4 capas, las cuales permiten en su trabajo conjunto, lograr obtener las soluciones necesarias a partir del uso de medios de medición inteligentes con comunicación en ambos sentidos, una plataforma segura de comunicaciones, centros de almacenamiento de datos y el desarrollo de aplicaciones informáticas que permitan el almacenamiento, procesamiento de los datos y el intercambio entre las diferentes áreas de la empresa, que llevarán a una toma correcta de decisiones y acciones que garantizan la operación eficiente del sistema eléctrico, así como el buen uso de los recursos destinados, garantizando al correcto funcionamiento de las empresas eléctricas provincial y la satisfacción de nuestros consumidores [8-11]. En la figura 1, se muestra un esquema de la plataforma AMI.

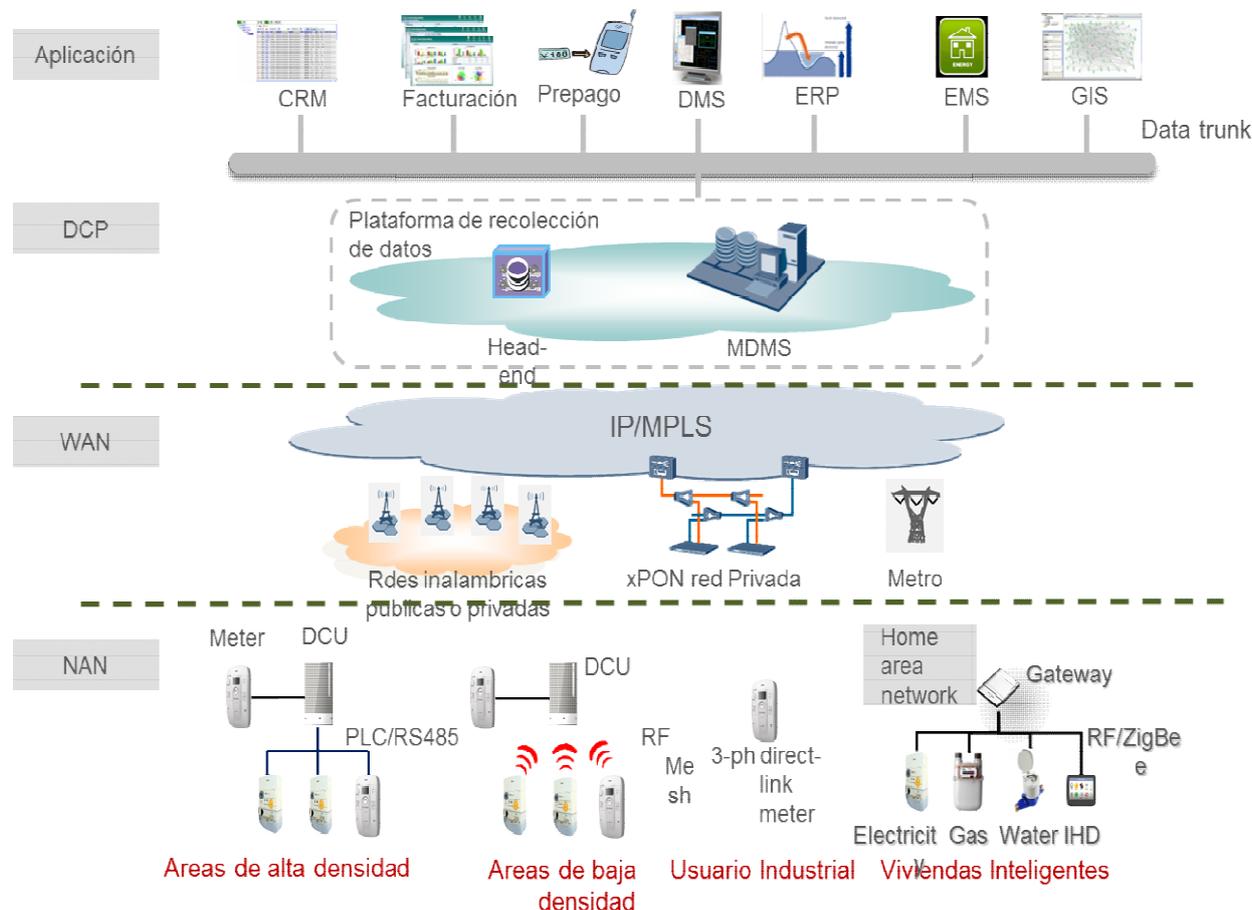


Fig. 1. Plataforma de la Infraestructura de Medición Avanzada

### Breve descripción de las capas [12]

**Nivel NAN** (Near Area Network). En este nivel se agrupan los consumidores clasificados en dependencia su concentración:

- a. Clientes en áreas de alta densidad de población (zonas urbanas).
- b. Clientes en áreas de baja densidad de población (zonas sub urbanas y rurales).
- c. Clientes aislados o que por sus características requieren una atención diferenciada (ej: fronteras entre provincias o Grandes Clientes como las acerías y acueductos).
- d. Por último, se muestra como en el área de las viviendas se pueden incorporar a la plataforma el control del consumo de gas y el agua, por supuesto para ello deben poseer para su medición dispositivos inteligentes.

Para la recolección y transmisión de los datos se utilizan diferentes medios de comunicación ubicados en el dispositivo de medición o en la red.

**Nivel WAN** (Wide Area Network). Es una red de computadoras que une varias redes locales, aunque sus miembros no estén todos en una misma ubicación física (ej: une los dominios de todas las empresas eléctricas provinciales). Muchas WAN son construidas por organizaciones o empresas para su uso privado, otras son instaladas por los proveedores de internet (ISP) para proveer conexión a sus clientes. Por lo general la comunicación entre las redes es mediante fibra óptica.

**Nivel DCP.** (Data Collection Platform) Es la plataforma de recolección de Datos, está ubicado el Datacenter (o Centro de Datos) y el Head End que no es más que el sistema que recibe mediante el hardware y el software instalado, un flujo de datos que son recolectado y enviados desde los equipos de medición de las empresas hasta el Centro de Datos a través de la plataforma AMI. Mediante los sistemas Head-end se pueden hacer validaciones de datos, configurar la estructura y tiempo de la información a recibir y los datos que se van a solicitar (ej Consumos en los diferentes horarios, demanda, corriente, tensión, etc.)

Los sistemas de comunicación (soportados en fibra óptica, PLC, RF ZigBee y/o GPRS) y los de Gestión de datos (Head End y MDMS) aún dan sus primeros pasos en nuestro sistema eléctrico y son imprescindibles en el soporte y gestión de toda la información y miles de millones de datos que son necesarios transmitir, recibir y gestionar, muchos de ellos en tiempo real y garantizan el funcionamiento de la Plataforma AMI.

**Nivel de APLICACIONES.** Este puede ser un nivel que avive una gran controversia entre los especialistas y directivos cubanos. Estos autores consideran que el mayor logro que puede tener este pequeño resumen de lo que es AMI, las redes inteligentes y su aplicación en el sistema eléctrico cubano, será que con él se motive la discusión, análisis y definición a nivel institucional, de cuáles serán las aplicaciones que se utilicen en la plataforma o como se insertan en la misma las existentes.

No se trata de describir o re programar o comprar todo lo que han logrado los técnicos e ingenieros informáticos, unido a los tecnólogos de las diferentes áreas que han dejado escritas tareas técnicas para el desarrollo de aplicaciones que garantice el control y la gestión del sistema eléctrico (ej: SIGERE y SIGECO). Se trata de resumir las necesidades, cuántas de las diferentes disciplinas y controles quedan fuera o no tienen un sistema integral que controlen su actividad y lo más importante es que se logre, de forma orgánica, que todos los sistemas intercambien información, que esto se realice de manera fluida y eficiente de tal modo que garantice el trabajo de la plataforma y sus prestaciones.

En esta capa:

**CRM.**(Customer Relationship Management) Hoy no tenemos aplicaciones que faciliten el acceso a la información y las relaciones con nuestros consumidores a partir de los datos adquiridos por los diferentes procesos que se realizan en la UNE. Muchas de las aplicaciones cubanas están en una plataforma de cliente servidor (no es WEB), lo cual dificulta el acceso de los consumidores y limita las posibilidades de consultas o informaciones mediante aplicaciones que tendrían que ser diseñada para los diferentes terminales que hoy existen (ej tabletas y dispositivos móviles) y lograr la realimentación de nuestra empresa.

La aplicación cubana más avanzada en este sentido, es el CACLI WEB, que es la dedicada al control de la falta de servicio eléctrico y de los planteamientos o reclamos de nuestros clientes, las cuales se reciben en su mayoría en los centros de atención telefónica de cada empresa eléctrica. Hasta el momento esta aplicación no tiene un perfil social orientado a dar información al consumidor y no puede ser utilizada por él, para obtener la información o hacer solicitudes que necesite mediante un sistema de consultas y peticiones.

**Facturación y sistema pre pago.** El sistema de facturación y cobro del servicio de electricidad (SIGECO), es desde el año 1998 único en todas las empresas eléctricas, independiente y desarrollado por informáticos y tecnólogos cubanos garantizando desde ese año, la independencia tecnológica, su funcionamiento y adaptación a las diferentes regulaciones del estado cubano y cambio introducidos en pos de su automatización, mejoras en sus resultados y calidad. Hoy se prueba una nueva versión que entre otras bondades, permitirá compartir datos con los consumidores, y abrirá sus puertas para anotar solicitudes, así como brindar informaciones varias a la población y consumidores en general.

Esta independencia lograda en la producción y mantenimiento del software, debe continuar y bajo condiciones de seguridad, permitir conectarse a la plataforma AMI, mediante la cual, con una comunicación en dos sentidos, se permita tomar datos de lectura y demás informaciones del sistema para el uso del SIGECO y este a su vez, luego realizado los procesos de supervisión y facturación entregar los resultados a la plataforma para su uso en diferentes perfiles de usuarios.

La actividad comercial de la UNE, esta insertada en el proceso de Bancarización y Desarrollo del Comercio Electrónico que lleva el país. Desde el año 2007, en alianza estratégica con el Sistema Bancario, Correos de Cuba, XETID y ETECSA, se ha logrado su inserción en las plataformas de comercio electrónico y hoy tiene presencia en todas las formas de pagos que existen en el país (cajeros, Transfermovil, Enzona, etc). Aunque no funciona de forma sincrónica, es decir, las facturas de los clientes no llegan directamente al Centro de Datos desde el sistema de facturación, la plataforma Telebanca de la UNE, es hoy por hoy un baluarte importante en este proceso de transformación de nuestra sociedad y un paso seguro que permitirá garantizar cumplir los objetivos de la plataforma AMI.

Que el sistema sea prepago o no, no depende de los equipos de medición, ya que es una acción contable, es decir si usted paga antes de consumir el producto estamos pre pagando el mismo, sino, es pos pago. La plataforma AMI puede de manera sencilla definir en qué forma se paga el servicio.

**DMS o MDMS (Metering Data Manager System).** Sistema de Gestión de Bases de Datos de la Medición (SGBDM) es un conjunto de programas que permiten el almacenamiento, modificación y extracción de la información en una base de datos, además de proporcionar herramientas para añadir, borrar, modificar y analizar los datos. Es inherente a la plataforma y es configurable a partir de condiciones y diferentes niveles de usuarios, opciones de lecturas de los contadores (ej: en el sistema AMR que hoy utilizamos el Head End es el TMR y con él se configuran usuarios y gestionan los datos recolectado de los contadores de energía).

Los usuarios pueden acceder a la información usando herramientas específicas de consultas y de generación de informes, o bien mediante aplicaciones al efecto. Los SGBDM, también proporcionan métodos para mantener la integridad de los datos, para administrar el acceso de usuarios y para recuperar la información si el sistema se corrompe. Permite presentar la información de la base de datos en variados formatos. La mayoría de ellos incluyen un generador de informes. También puede incluir un módulo gráfico que permita presentar la información con gráficos y tablas.

**ERP** La Planificación de Recursos Empresariales, es un término derivado de la planificación de recursos de manufactura y seguido de la planificación de requerimientos de material; sin embargo, los ERP han evolucionado hacia modelos de suscripción por el uso del servicio. Los sistemas ERP típicamente manejan la producción, logística, distribución, inventario, envíos, facturas y contabilidad de la compañía de forma modular. Sin embargo, la Planificación de Recursos Empresariales o el software ERP puede intervenir en el control de muchas actividades de negocios tales como ventas, entregas, pagos, producción, administración de inventarios, calidad de administración y la administración de recursos humanos.

Los sistemas ERP son llamados ocasionalmente back office (trastienda). Este sistema crea una relación administrativa del consumidor o servicio al consumidor (CRM), un sistema que trata directamente con los clientes, o con los sistemas de negocios electrónicos tales como comercio electrónico, administración electrónica, telecomunicaciones y finanzas electrónicas. Ejemplos de ERP: SAP AG (incluye SAP ERP, SAP BW, SAP BusinessObjects software y SAP HANA). **EMS** (Sistema de Administración Empresarial en español) La informática, la electrónica, las comunicaciones y las tecnologías asociadas al audio y al video, convergen para producir un nuevo estilo en la operación de los negocios.

El ambiente dinámico de los negocios y de la gestión de las empresas eléctricas de hoy, está lleno de retos y oportunidades. La dependencia de la información como fuente de manejar la energía está creciendo, por ello cada actividad cada negocio tiene nuevas dimensiones .... velocidad y tiempo. Las necesidades de las empresas de hoy están más allá de los procesos relacionados con su producción. Ello requiere una respuesta en tiempo real en cada caso donde quiera que ocurran eventos, que en un sentido u otro afecten los objetivos internos y externos. Por ello el sistema se extiende más allá de las fronteras empresariales, necesita que la información obtenida en tiempo real, permita la toma de decisiones de una manera organizada y garantice también el correcto funcionamiento de otros sistemas.

**GIS.** Los Sistemas de Información Geográfica, ubican a clientes y diferentes dispositivos de las redes eléctrica en referencias geográficas y permiten capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar toda esta información. En el caso de la electricidad, además de la ubicación física de estos elementos con referencias a coordenadas terrestres, permite hacer múltiples valoraciones sobre distancias, áreas de afectaciones asociadas vías libres o fallas del sistema, etc.

Por lo general tiene una capa base, que es el mapa digital, y otras capas ubicadas sobre esta primera, en las que por ejemplo se pueden mostrar los diferentes niveles de las redes y sus componentes (subestaciones, transformadores, líneas, postes, acometidas y consumidores).

### Estado del arte a nivel internacional

La plataforma AMI ha experimentado avances significativos en los últimos años a nivel mundial [11]:

1. Tecnología Smart Grid (Redes Inteligentes): La AMI es un componente importante y clave en la evolución hacia las redes eléctricas inteligentes (Smart Grid), permitiendo la recopilación bidireccional de datos para mejorar la eficiencia energética y gestión de la red.
2. Redes de comunicación avanzada: La implementación de AMI ha llevado al desarrollo de redes de comunicación avanzadas, ejemplo: redes inalámbricas y sistema de gestión de datos en la nube para facilitar la transferencia de los datos de la medición.
3. Integración de fuentes de energía renovables: Permite la mejor integración de fuente de energías renovables, al brindar información en tiempo real sobre la producción y la demanda de consumo de energía, lo que ayuda a optimizar su uso.
4. Análisis de datos y Big Data: La AMI ha abierto la puerta a un análisis más detallado de los datos de consumo energético, lo que ha llevado al desarrollo de soluciones basadas en Big Data y aprendizaje automático para mejorar la eficiencia operativa.
5. Enfoque en la seguridad y privacidad de los datos: con el aumento de la cantidad de datos recopilados, se ha puesto un mayor énfasis en garantizar la seguridad y privacidad de la información de los consumidores, implementando medidas de seguridad robustas.
6. Interoperabilidad y estándares abierto: Se están promoviendo estándares abiertos y protocolos de comunicación interoperables, para garantizar compatibilidad entre diferentes dispositivos y sistemas dentro de la infraestructura de medición avanzada.

En Latinoamérica la AMI ha ido en aumento, especialmente en México, Brasil, Chile y Colombia donde se han implementado proyectos piloto y despliegues a gran escala. Se ha centrado fundamentalmente en la mejora de la eficiencia energética, reducir pérdidas técnicas y no técnicas y fomentar un uso más inteligente de la energía a través de la monitorización en tiempo real. Actualmente, se trabaja en la integración de fuentes de energía renovables lo que es fundamental para la transición energética hacia un sistema sostenible, y se ha estimulado la innovación y la inversión en tecnologías de control energético.

Desafíos para su implementación en Latinoamérica: A pesar de los avances la región enfrenta desafíos en los términos de interoperabilidad entre sistemas, estándares de comunicación y la seguridad de los datos. En general, la infraestructura de medición avanzada sigue evolucionando, brindando beneficios tanto a las empresas de servicios públicos como a los consumidores.

### Interoperabilidad y Ciberseguridad

A partir de todo lo antes expuesto, no es difícil pensar que en un futuro la red inteligente se convertirá en un sistema de sistemas y una red de redes. La **interoperabilidad** de la red inteligente, debe cumplir con las plataformas y protocolos de seguridad definidos en el país, que eviten ciberataques, exposición a virus, robos de información, etc, todas ellas, nuevas modalidades de delitos que pueden echar por tierra el trabajo de decenas de miles de trabajadores y que el sistema eléctrico no funcione correctamente. La plataforma de interoperabilidad y sus líneas de trabajo, deben permitir la planeación, diseño, construcción, prueba, desarrollo y el mantenimiento requerido por el sistema eléctrico.

En ella se tienen que describir los modelos de referencia conceptual, para la discusión de las características, usos, comportamientos, interfaces y otros elementos del dominio de la red inteligente, así como las relaciones de elementos con y a través de diferentes dominios. Los modelos son herramientas para identificar los estándares y protocolos necesarios para asegurar la interoperabilidad y la ciberseguridad y definir el desarrollo de las arquitecturas para los sistemas y subsistemas en la red inteligente.

Los mecanismos de detección de anomalías deben actualizarse y mejorarse continuamente para aumentar el nivel de seguridad de los datos críticos en el entorno AMI. Además, es importante contar con un mecanismo de detección para garantizar que la transmisión de datos en la infraestructura de AMI sea segura y no se manipule fácilmente. La literatura consultada revela las diversas sugerencias e implementación de las ADT (técnicas de detección de anomalías). Al evaluar las técnicas, la mayoría de los estudios existentes se centraron en producir resultados precisos. Sin embargo, también hay una serie de estudios que se centraron en el tiempo de cálculo y los problemas de confianza [12-14].

De ahí que los especialistas de las áreas de control interno y seguridad informática, tienen la tarea de lograr que se cumplan y pruebe la red, de manera que se garantice la invulnerabilidad del sistema.

## RESULTADOS

### Beneficios Generales de la plataforma AMI [15, 16]:

- Comunicación en dos vías en cada consumidor que permite:
  - Lectura remota.
  - Redes que llegan hasta el área de las viviendas.
- Conexión y desconexión remota de los servicios.
- Datos más detallados del sistema eléctrico obtenidos en tiempo real.
- Nuevos contadores de energía más precisos y con mayores prestaciones.
- Disminución de gastos de explotación y mantenimiento
- Aumento de los Servicios a los clientes.
- Estimados precisos por falla en algunos de los elementos del sistema.
- Desarrollo de la Gestión Empresarial.
- Control de los recursos de las empresas.

### Beneficios para la Empresa [15, 16]:

- Lleva el proceso de lectura, facturación y supervisión de 10 a 2 días.
- Recepción de datos desde los metros contadores al menos cada 15 minutos.
- Notificaciones de corte y reconexión a los clientes a distancia.
- Detección y monitoreo de oscilaciones de tensión previas a que el cliente las informe.
- Reduce errores de lectura por casa cerrada y los aumentos y disminución del consumo asociado a los mismos.
- Mejora la planeación del sistema de distribución.
- Notificación de robos de energía por intentos de manipular el metro contador.
- Reduce los costos.
- Aumenta la seguridad de los trabajadores.
- Posibilidad de usar nuevas tarifas (ej tarifa de tiempo de uso) en el sector residencial.
- Administración central de los datos (hoy las bases de datos están distribuidas en las oficinas comerciales).

### Beneficios para los clientes [15, 16]:

- Puede administrar su energía y los gastos.
- Nuevos servicios e informaciones brindadas a los clientes en diferentes plataformas
- Ayuda a estabilizar su consumo.
- Facturación más precisa con la eliminación de estimados de lectura y errores en la entrada de datos una persona.
- No hay necesidad de entrar a la propiedad de la vivienda del cliente para la toma de lecturas.
- Aumento de la información que se da al cliente brindado con una mayor rapidez.
- Puede ofrecer nuevos programas y Servicios.
- Nuevas opciones de pago, siendo estas compatibles con el proceso de bancarización que hoy se impulsa en el país.

### Planeación y estrategia en la implementación

La clave del éxito para poder llevar cualquier proyecto hasta se ejecución final, está en una correcta planeación con la que se logre la implementación y un control del avance físico del desarrollo del mismo, con la menor cantidad de escollos y que cada paso dado sea un nuevo y seguro ascenso a un escalón que permita el cumplimiento de los objetivos que se persiguen.

Hay que definir las metas de cada paso de la implementación, rutas críticas en el camino, los diferentes escenarios en que se va a trabajar, con sus metas y alcances. Hay que definir [17 - 19]:

1. Visión de AMI.
2. Alcance de la plataforma y funcionalidad del Sistema.
3. Estudio de factibilidad y análisis de costo beneficio.
4. Estrategia de implementación donde se defina como el trabajo de implantación del AMI y el uso de las nuevas tecnologías, lograrán agregar valores de uso para la empresa y nuestros clientes.
5. Planes anuales para la adquisición de las diferentes tecnologías para la medición inteligentes y la habilitación de las funciones de AMI.
6. Desarrollo en las comunicaciones y las redes.
7. Centro de Datos.
8. Desarrollo de aplicaciones de cara al cliente.
9. Plataforma de Interoperabilidad y Ciberseguridad. Definir principios y estándares de seguridad de la red que incluye el uso de Internet y de seguridad de los datos personales de los clientes.
10. Capacitación del personal y los clientes.

## **El éxito de la implementación y su uso depende del conocimiento, las habilidades y la experiencia de las personas involucradas en su implementación y seguimiento**

Distribuir el conocimiento + vencer las competencias = **Éxito**

Todo cambio tecnológico, lleva implícito diseñar programas de capacitación en todos los niveles (linieros, técnicos e ingenieros, económicos, informáticos y especialistas en recursos humanos) de manera que ellos sean capaces de explotar con éxito el sistema.

Todo lo anteriormente escrito implica, asimilar nueva(o)s [20]:

1. Tecnologías en los sistemas de medición, protección y automática.
2. Procedimientos y formas de ejecutar el trabajo.
3. Sistema de comunicación.
4. Posiciones de trabajo orientadas a dar un mejor servicio a los consumidores.

Lograr que los especialistas y trabajadores dominen las competencias necesarias para desempeñar con profesionalidad sus puestos de trabajo, es la tarea más importante que pueda hacer una organización como la Unión Eléctrica, que tiene como misión:

**Generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica** la cual garantiza el desarrollo del país. Solo así se podrá lograr un servicio con la seguridad y calidad esperada por sus consumidores. La base de conocimiento de los ingenieros, especialistas, técnicos y linieros es en general alta, y de seguro que en poco tiempo podrán adaptarse, comprender y proponer como enfrentar el cambio y dar soluciones para hacer el camino seguro, de hecho, algunas las propuestas escritas en este artículo ya se están implementando.

En este proceso de cambio, no se puede perder de vista al consumidor (el cliente externo) [7, 17] el cual con esta plataforma puede:

1. Conocer con más precisión el comportamiento del consumo de electricidad en sus viviendas o centro laboral.
2. Llegar a ahorrar de un 5 a un 10% en el sector residencial y hasta un 20% en el sector industrial.
3. Incorporar energía limpia a la red eléctrica y utilizar la misma en el horario pico, con el uso de la acumulación de energía.
4. Lograr materializar cambios y un uso racional de la energía eléctrica, gracias a la visión que tendrá del comportamiento del consumo de electricidad, al cual tendrá acceso por diferentes vías.

El éxito de la implementación de la AMI depende del nivel de compromiso del cliente; ya que ellos participarán en iniciativas de respuesta a las AMI y a la demanda solo si comprenden la importancia y los beneficios asociados con ellos. Además, aprender nuevas tecnologías y manejarlas también puede ser un desafío para el consumidor en cualquier país del mundo, ya que la mayoría de las personas no están familiarizadas con estas tecnologías ni a los sistemas de gestión de energía en el hogar [7]. De esta manera, las empresas eléctricas provinciales pueden proporcionar información de fácil comprensión, dar acceso a los datos, permitir una elección flexible del consumidor, desarrollar un programa de capacitación integral y contar con un equipo dedicado de atención al cliente.

## **CONCLUSIONES**

En el estudio realizado, se aprecia una fuerte integración de diferentes disciplinas que rigen los sistemas que miden, recolectan y analizan el uso de la energía o fluidos, e interactúan con dispositivos avanzados o inteligentes. Estos sistemas son capaces de gestionar toda la información recolectada y tomar decisiones, para lo cual la infraestructura (que usualmente es de propiedad de las empresas de servicios), incluye el hardware, software, equipos de comunicaciones, pantallas con información de consumo para los usuarios y más. En muchos países ya se utilizan estas AMI, con muy buenos resultados; inclusive en Latinoamérica su empleo ha ido en aumento, especialmente en México, Brasil, Chile y Colombia donde se han implementado proyectos piloto y despliegues a gran escala. Aunque no exenta de desafíos en la interoperabilidad entre sistemas, los estándares de comunicación y la seguridad de los datos, los cuales deberán ser tenidos en cuenta también en Cuba.

Como todo proceso de asimilación de nuevas tecnologías, conlleva un fuerte trabajo para lograr que los especialistas y trabajadores dominen las competencias necesarias para desempeñar con profesionalidad sus puestos de trabajo; en los temas de: tecnologías en los sistemas de medición, protección y automática, así como los procedimientos y formas de ejecutar el trabajo; también, en los sistemas de comunicación. Por ello es necesario programar campañas formación y entrenamiento, enfocadas al uso de la plataforma y las múltiples ventajas que brinda este sistema; sin perder la perspectiva de involucrar a las organizaciones de masas y autoridades locales para facilitar esta capacitación y orientaciones que generen confianza en los consumidores sobre las nuevas tecnologías y la organización.

## REFERENCIAS

- [1] Sandra Milena Téllez Gutiérrez, *et al.* “Sistemas de medición avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades”. *Rev. Ing. y Des.* 2018, vol. 36, n. 2, p. 469-488. ISSN 0121-4993. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/852/85259689012/html/>
- [2] Williams de Jesús Peña Severino y Raymer José Landrón Suero. “Propuesta de diseño de un programa de reducción de pérdidas e implementación de smart grid en la Empresa Distribuidora de Electricidad del Este”. Distrito Nacional República Dominicana. Tesis de Maestría. Julio 2017. Disponible en: [https://bibliotecaunapec.blob.core.windows.net/tesis/TPG\\_CI\\_MEP\\_01\\_2017\\_TPG170371.pdf](https://bibliotecaunapec.blob.core.windows.net/tesis/TPG_CI_MEP_01_2017_TPG170371.pdf)
- [3] Francis de Winter Optimum Designs for Solar Water Heating Equipment for the Single Family Home. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES), Cusco, 1-5 de noviembre de 2010. Disponible en: <https://www.solarthermalworld.org/sites/default/files/story/2015-06-21/francisdewinterno1eeuu.pdf>
- [4] Otisitswe Kebotogetse, Ravi Samikannu and Abid Yahya. “Realization and Modernization of Electrical Smart Grids with Wireless Sensor Networks”. *Review International Journal of Distributed Sensor Networks.* 2021, vol. 17, n. 8. ISSN 1550-1477. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/15501477211041541>
- [5] Alper Nabi Akpolat, Erkan Dursun. “From Microgrid to Smart Grid: A Review of Campus Projects”. *International Engineering, Science and Education Conference, Diyarbakir, Turkey,* 1-3 Dec., p.379-387, 2016. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/332111304\\_From\\_Microgrid\\_to\\_Smart\\_Grid\\_A\\_Review\\_of\\_Campus\\_Projects](https://www.researchgate.net/publication/332111304_From_Microgrid_to_Smart_Grid_A_Review_of_Campus_Projects)
- [6] Francisco Arias Zambrano, *et al.* “Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), Aplicada en Microredes”. 2017. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/360247414\\_Infraestructura\\_de\\_Medicion\\_Avanzada\\_AMI\\_Aplicada\\_en\\_Microredes](https://www.researchgate.net/publication/360247414_Infraestructura_de_Medicion_Avanzada_AMI_Aplicada_en_Microredes)
- [7] Katkar Siddhant Satyapal, *et al.* “Advanced Metering Infrastructure and Its Role in Building A Smart and Sustainable Power Distribution System: A Comprehensive Review from India’s Frame of Reference”. *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering.* March 2024, vol. 11, n. 3, p. 249-268. Disponible en: <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V11I3P121>
- [8] IEC. “Smart sensing for future power grids”. *Societal and technology trend report.* ISBN 9-7828-3228-0409. Disponible en: <https://www.iec.ch/basecamp/smart-sensing-future-power-grids>
- [9] Cesar Augusto Chuyes Gutierrez. “Uso de Infraestructura de Medición Avanzada en Sistemas de Distribución Eléctrica en el Perú: Un caso de estudio”. Tesis de Maestría en regulación de los Servicios Públicos. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Postgrado. 2022. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/24322>
- [10] Amrita Ghosal y Mauro Conti. “Key Management Systems for Smart Grid Advanced Metering Infrastructure: A Survey”. *IEEE Communications Surveys & Tutorials.* March 2019, vol. 21, n. 3, p. 2831-2848. ISSN 1553-877X. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8676005>
- [11] Alper Nabi Akpolat and Erkan Dursun. “Advanced Metering Infrastructure (AMI): Smart Meters and New Technologies”. 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS’17), 19-21 October 2017, Elazığ, Turkey. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/332111353\\_Advanced\\_Metering\\_Infrastructure\\_AMI\\_Smart\\_Meters\\_and\\_New\\_Technologies?enrichId=rgreq-0415b4b6bf0a1931db44edc17d72e7ca-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMjExMTM1MztBUzo3NDU3NzU1OTYzMzUxMDdAMTU1NDgxODE2NjMzNw%3D%3D&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/332111353_Advanced_Metering_Infrastructure_AMI_Smart_Meters_and_New_Technologies?enrichId=rgreq-0415b4b6bf0a1931db44edc17d72e7ca-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzMjExMTM1MztBUzo3NDU3NzU1OTYzMzUxMDdAMTU1NDgxODE2NjMzNw%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf)
- [12] Abbas M. Al-Ghaili, *et al.* “A review of anomaly detection techniques in advanced metering infrastructure”. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.* February 2021, vol. 10, n. 1, p. 266-273. ISSN 2089-3191. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.11591/eei.v10i1.2026>
- [13] R. Razavi, *et al.* “A practical feature-engineering framework for electricity theft detection in smart grids”. *Applied Energy.* March 2019, vol. 238, p. 481-494. ISSN 1872-9118. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919300753>
- [14] Priscilla Oyeladun Ajiboye, *et al.* “Privacy and security of advanced metering infrastructure (AMI) data and network: a comprehensive review”. *Journal of Engineering and Applied Science.* 2024, vol. 71, n. 91. ISSN 2536-9512. Disponible en: <https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-024-00422-w>
- [15] Echeverría Molina Judith Sofia y García-Echeverría José. “Medición avanzada inteligente, retos al consumo responsable del servicio público domiciliario de energía en Colombia”. *Revista Chilena de Derecho y Tecnología.* 2022, vol. 11, n. 2, p. 47-62. ISSN 0719-2584. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-25842022000200047&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-25842022000200047&lng=es&nrm=iso)
- [16] Mirosław Kornatka and Tomasz Popławski. “Advanced Metering Infrastructure - Towards a Reliable Network”. *Energies.* 2021, vol. 14, n. 18, e5986. ISSN 1996-1073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/18/5986>

- [17] Carlos García B, *et al.* “Estrategias y acciones de implementación de medición inteligente. Acelerando la transformación del sector eléctrico”. Informe parcial Ejecutivo - Convenio CV-003-2017 del Proyecto Especificaciones y requisitos de la arquitectura de información de un centro de gestión de medida y caracterización de la demanda del usuario basado en medición inteligente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Grupo de Investigación Electrical Machines and Drives - EM&D. Bogotá [on line] junio de 2018. Disponible en: [http://www.upme.gov.co/Memorias\\_Seminarios\\_sp/Analisis\\_resultados\\_AMI\\_3-0/Analisis\\_de\\_resultados\\_AMI\\_3-0.pdf](http://www.upme.gov.co/Memorias_Seminarios_sp/Analisis_resultados_AMI_3-0/Analisis_de_resultados_AMI_3-0.pdf)
- [18] Oliverio Álvarez Alonso, *et al.* “La medición inteligente en América Latina y el Caribe. Recomendaciones regulatorias para incentivar el despliegue de la medición inteligente a nivel nacional”. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Marzo, 2023. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-Medicion-Inteligente-en-America-Latina-y-el-Caribe-Recomendaciones-regulatorias-para-incentivar-el-despliegue-de-la-medicion-inteligente-a-nivel-nacional.pdf>
- [19] Castro Montilla, Leidy Daniela. “Diseño de un modelo técnico económico que integre gestores independientes de información en las redes de distribución en Colombia”. Tesis de Maestría en Ingeniería. Manizales, Caldas, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 2023. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/85687/1053868854.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [20] Dagoberto Quiroga Collazos, *et al.* “Diagnóstico sobre el Estado de la Medición Individual de Energía Eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional – 2022”. Superintendencia Delegada para Energía y Gas Combustible. Dirección Técnica de Gestión de Energía. Septiembre 2023. Disponible en: <http://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Diagnostico-de-medicion-energia-SIN-2022.pdf>

#### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

#### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**René Navarro Herrera:** <https://orcid.org/0009-0007-4410-6033>

Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final

**Senly Martín Gerónimo:** <https://orcid.org/0009-0005-9241-831X>

Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

**Miriam Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas:** <https://orcid.org/0000-0002-5273-0975>

Participó en el análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.