

## **Medición inteligente de energía eléctrica considerando agrupación de clientes según demanda de energía y mínimo costo en recursos de comunicación**

*Intelligent electrical energy measurement considering customers according to energy demand and minimum cost in resources communication*

Lenin Merino <sup>1</sup>, Maykel Leyva <sup>2</sup>, Esteban Inga <sup>3</sup>, Jorge Díaz <sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior Central Técnico, lenin.merino.rv@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Bolivariano, myleyva@itb.edu.ec

<sup>3</sup> Universidad Politécnica Salesiana, einga@ups.edu.ec

<sup>4</sup> Instituto Tecnológico Superior Napoleón Dillón, jdiaz@istlnd.edu.ec

Autor para correspondencia: lenin.merino.rv@gmail.com

**Fecha de recepción:** septiembre 2021

**Fecha de aceptación:** noviembre 2021

### **RESUMEN**

El reemplazo de medidores no tiene la tecnología para ser integrado en una infraestructura de medición avanzada es una necesidad mundial, aunque es una gran contribución al permitir escenarios para nuevos mercados de energía que resultan en beneficios para todos los actores del sistema eléctrico, lleva consigo grandes desafíos a todos los niveles, entre ellos el estudio para su despliegue y elección de la tecnología adecuada, el resultado del análisis costo-beneficio es un factor determinante en su adopción. Este documento presenta una revisión bibliográfica asociada a diferentes temas que aborda este problema de optimización de costos en la recopilación de información a partir de contadores de energía eléctrica inteligentes de acuerdo con las características conductuales de los usuarios. El estudio realizado a través de una revisión bibliográfica de bases de datos como IEEE Xplore, Science Direct, MDPI, Springer, Taylor & Francis y Scielo llegar a encontrar varios aspectos clave de las infraestructuras de medición, como los datos existentes, las tendencias de la comunicación tecnológica y las tendencias de optimización de los recursos utilizadas con este fin. También establece varios criterios asociados a la planificación de sistemas de medición inteligentes de despliegue.

**Palabras clave:** Infraestructura de medición avanzada, medidor inteligente, nivel de penetración, optimización.

### **ABSTRACT**

Meter replacement don't have the technology for being integrated into an advanced measurement infrastructure is a worldwide need, although it is a great contribution by enabling scenarios for new energy markets that result in benefits for all actors in electricity system, it carries with it great challenges at all levels, among them the study for its deployment and choice suitable technology, the result of the cost-benefit analysis is a determining factor in its adoption.

This document presents a bibliographic review associated with different topics what tackles this problem of to cost optimization in information gathering from smart electric power meters according to the behavioral characteristics of the users. The study carried out through a bibliographic review of databases such as IEEE Xplore, Science Direct, MDPI, Springer, Taylor & Francis and Scielo getting to find several key aspects of measurement infrastructures such as existing data, technological communication trends and resource optimization trends used for this purpose. It also establishes several criteria associated to the planning of deployment smart measurement systems.

**Keywords:** Advanced metering infrastructure, smart meter, penetration level, optimization.

## **INTRODUCCIÓN**

La energía eléctrica es un recurso vital en la vida cotidiana y una columna vertebral para la industria, y al limitado, su uso adecuado y la medición se vuelve importante. En este aspecto, los medidores inteligentes son esenciales, ya que pueden dar información de las mediciones en tiempo real a las empresas de suministro permitiéndoles mejorar su productividad, todo esto partiendo de la disminución de los costes de inversión hasta llegar a la reunión información y gestión de la energía. Además, se hace esencial la optimización de los recursos de comunicación para la planificación y el despliegue de una infraestructura de medición idéntica a la realidad de la región. Se abordó el contenido sobre las cifras mundiales de penetración de la medición eléctrica inteligente, costo beneficio que representa la aprobación de esta infraestructura, tendencias en habilidades y tecnologías de comunicación y los beneficios que ofrece.

El presente trabajo es de tipo descriptivo, con un modo documental, presenta como problemas principales son la base de la optimización de costes en recursos de comunicación para resumen de información de medidores inteligentes de energía eléctrica a la demanda de energía de los abonados. Para su desarrollo Springer utiliza bibliografía revisión de bases como IEEE Xplore, Science Direct, MDPI, Taylor \* Francis y Scielo. Se descompone en tres secciones: trabajos relacionados, formulación del problema y análisis de los resultados. Se realizó un resumen de las tendencias actuales analizando los avances de los problemas a tratar, luego el problema de investigación de la exposición para resolver sobre la base de las controversias causadas, esto en cuanto al tipo de tecnologías y método para la optimización de recursos de comunicación se refiere, y finalmente los resultados opuestos analizados.

### **Obras Relacionadas**

Según (E. INGA, S. CESPEDES, R. HINCAPIE, AND C. A. CÁRDENAS, 2017) se habla de las características de una arquitectura estándar para ejecutar la comunicación a gran escala como es la infraestructura de medición avanzada (AMI), que presenta ventajas opuestas al avanzado medidor de lectura (AMR) se debe principalmente al sentido en que fluye la información (G. DILEEP, 2016). Es, un sistema de medición inteligente debe tener en cuenta aspectos como: alta fiabilidad, vida útil, interoperabilidad, rentabilidad, seguridad, consumo mínimo de energía, bajos costes de instalación y mantenimiento (S. BERA, S. MISRA, AND M. S. OBAIDAT, 2014).

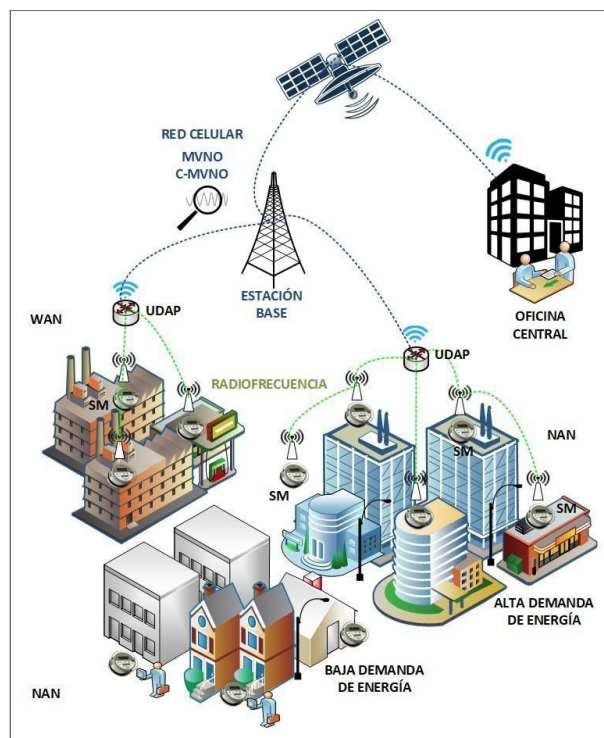
En (S. BERA, S. MISRA, AND M. S. OBAIDAT, 2014) indicó que a escala global la incorporación de medidores inteligentes para 2025 sería de casi 50, donde, la Unión Europea lidera el despliegue por lo que la mayoría de los expiran con 80 de penetración para el año 2020 (J. SCHLEICH, C. FAURE, AND M. KLOBASA, 2017), (N. URIBE-PÉREZ, L. HERNÁNDEZ, D. DE LA VEGA, AND I. ANGULO, 2016). Una región que presenta un amplio mercado debido a su población espesa es el Pacífico de Asia, donde 377 se desliza para tener sólo un país como China al menos millones de unidades instaladas para 2020, alcanzando 74 de penetración (S. BERA, S. MISRA, AND M. S. OBAIDAT, 2014). En cuanto a la incorporación de medición inteligente de energía eléctrica a nivel de América Latina sigue siendo un tema pendiente debido a la adopción ausencia de políticas que aborden las barreras de adopción.

Teniendo en cuenta los nombres de las infraestructuras de telecomunicaciones de acuerdo con la zona geográfica que da servicio (HAY, NAN, WAN) (M. G. RUIZ MALDONADO AND E. INGA, 2019), la elección correcta de la tecnología para ayudar es vital, ya que se prepara de una gran variedad de tecnologías aplicables como el área. En este aspecto, la Unión Europea que es la región en mayor nivel de penetración, ya que ya se ha empleado años en ella, presenta una variedad de tecnologías, donde los que más destacan son la comunicación PLC, GSM y GPRS.

En la actualidad, tres tecnologías compiten por predominar sobre la medición inteligente a escala global: comunicación para línea eléctrica (PLC), telefonía móvil y radiofrecuencia (S. ZHOU AND M. A. BROWN, 2017), Fig.1. Teniendo en cuenta que el coste de utilizar la red celular como activo, es el más alto de tres tecnologías prevalentes, es importante considerar a hacer uso de MVNO o C-MVNO para acceder a la red celular

(G. VAN DE KAA, T. FENS, J. REZAEI, D. KAYNAK, Z. HATUN, AND A. TSILIMENI-ARCHANGELIDI, 2019), ya que junto con una adecuada adopción tecnológica y el nivel de penetración que permitirá obtener resultados positivos ya que por el costo que soy de beneficio para todos los actores. En el caso Nacional es un panorama que vislumbra resultados el sector de abonados tiene en cuenta en función de su demanda.

Fig 1. Arquitectura de red de comunicación inalámbrica heterogénea.



Para hacer frente a este reto, los estudios anteriores se han centrado en el desarrollo de habilidades de agrupación (D. H. SHIN AND M. BARTOLACCI, 2007), lugar ideal y encaminamiento, teniendo en cuenta la potencia de los concentradores y de los metros en diversas etapas. También algunos factores considerada como una interferencia y escalabilidad que se aparta de una selección adecuada de tecnologías heterogéneas (E. INGA-ORTEGA, A. PERALTA-SEVILLA, R. C. HINCAPIE, F. AMAYA, AND I. TAFUR MONROY, 2015) (J. INGA, E. INGA, A. ORTEGA, R. HINCAPIÉ, AND C. GÓMEZ, 2017). En otros casos los perfiles delos usuarios creen basados en la demanda, esto antes de ser a grupo (M. G. RUIZ MALDONADO AND E. INGA, 2019), (S. HABEN, C. SINGLETON, AND P. GRINDROD, 2016).

También considera las comunicaciones directas (A. HASSAN, Y. ZHAO, L. PU, G. WANG, H. SUN, AND R. M. WINTER, 2017), y para las zonas remotas de difícil acceso donde no hay penetración de las redes celulares, los estudios que proponen utilizar el

espacio blanco de la televisión (M. ZAERI-AMIRANI, F. AFGHAH, AND S. ZEADALLY, 2018), (F. ABATE, M. CARRATÙ, C. LIGUORI, AND V. PACIELLO, 2019), sin embargo, las necesidades de un marco regulador del espectro cuidadosamente establecido (M. ZAERI-AMIRANI, F. AFGHAH, AND S. ZEADALLY, 2018).

### **Archivo problemático**

La planificación y el despliegue de una infraestructura de medición inteligente a gran escala requiere antes de resolver varios aspectos técnicos y tecnológicos que permiten maximizar los rendimientos económicos de todos los actores. La medición inteligente del estudio de energía eléctrica, considerando la agrupación de clientes según la demanda de energía y costo en los recursos de comunicación, es vital para conseguir un despliegue ideal de los recursos junto con la calidad y la seguridad en el servicio. Ya hay diferentes modelos que han analizado y que representan una base de referencia bastante robusta que debe adaptarse a la realidad de cada región, país o ciudad que requiere la solución de este problema mediante la aplicación de estas metodologías, sin embargo, los estudios se limitan a tratar un conjunto de determinados factores, dejando de lado otros tenidos en cuenta diferentes estudios, dando lugar a una variedad de soluciones generales, haciendo necesaria una propuesta adaptada a la realidad regional y nacional.

Ante este problema, la asignación de canales para comunicar las estaciones base con las oficinas a través de operador móvil (MVNO) o que incorpore el concepto de radio cognitiva (C-MVNO), junto con la situación ideal de los puntos de agregación de datos con tecnología de comunicación heterogénea, uno para comunicar con los metros y otro con los puntos de agregación, además de los metros con capacidad multilúpulo, se convierte en una oportunidad clave, ya que los estudios prevén una perspectiva de éxito en términos de inversión económica para este tipo de escenarios, donde la demanda de electricidad de los usuarios se convierte en un factor importante a tener en cuenta en los estudios.

### **Análisis de Resultados**

Las redes de medición inteligentes se caracterizan por su bidireccionalidad en el flujo de datos e información es compartida entre todos los usuarios pertinentes de la cadena de conversión energética, junto con sus responsabilidades y beneficios.

Un ejemplo de red abierta común para dispositivos de red inteligente es la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), que es una arquitectura estándar para implementar la

comunicación de datos a gran escala donde los datos recogidos a través de AMI puede almacenar, capturar y enviar. a un sistema de acceso central, presentando ventajas en comparación con el primer medidor de lectura automática (ARM), que sólo permiten recibir información debido a su capacidad unidireccional.

En este contexto, la transición a una red inteligente no es posible con los sistemas ARM, tanto es así que muchos países se han trasladado directamente a AMI y no invierten en ARM (G. DILEEP, 2020). En estos sistemas AMI la detección interconectada elementos son el punto clave para el seguimiento de la energía, ya que aquí es donde todos los datos intercambiados en la red el dispositivo que incluye esta comunicación y detecta las capacidades en la red eléctrica es el contador de energía inteligente (S. BERA, S. MISRA, AND M. S. OBAIDAT, 2014).

Esta infraestructura debe tener en cuenta aspectos como la bidireccionalidad de la información, la cobertura, la escalabilidad y coste del espectro a ocupar (E. INGA, R. HINCAPIÉ, C. SUÁREZ, AND G. ARÉVALO, 2015), y se compone de cuatro elementos básicos: medidor inteligente, concentrador de datos, cableado o red de comunicaciones inalámbricas (directa: del medidor al centro de gestión, indirecta: a través de un concentrador que recibe información de un grupo de metros y la transmite al centro de gestión), y sistema de gestión de la información (S. M. TÉLLEZ GUTIÉRREZ, J. ROSERO GARCÍA, AND R. CÉSPEDES GANDARILLAS, 2018).

Un problema que viene con cualquier instalación de medidores inteligentes es su fiabilidad y seguridad. A pesar de que hay muchos ejemplos de instalación masiva de contadores inteligentes en todo el mundo, todavía hay cierta desconfianza en ciertos sectores, relacionados principalmente con la seguridad de la información y la fiabilidad de la medición. Por esta razón, otro aspecto crítico en la implementación masiva de estos medidores es el establecimiento de estrictas regulaciones y pruebas para certificar el equipo antes de su instalación, incluyendo programas de calibración. Según un estudio realizado por diferentes universidades, a finales de 2016 un gran consumidor detectó errores de lectura bajo ciertas condiciones (F. LEFERINK, C. KEYER, AND A. MELENTJEV, 2016). Este tipo de encontrar, aunque puede mostrar una parte del universo de los metros, pero no todos, pone una alerta sobre la certificación y proceso de normalización que no se puede descuidar.

La permeación de medición inteligente en la red de distribución de energía ha crecido

mucho, así como la diversidad de tipos de dispositivos y complejidad de los sistemas de medición. Sin embargo, la situación mundial es muy desigual. En Europa, América del Norte y algunos países asiáticos, campañas masivas han lanzado para hacer medidores inteligentes, algunos ya han sido los casos exitosos de Italia y Suecia, y otros están muy avanzados, como España, el Reino Unido. y algunos estados de los Estados Unidos, entre otros.

Una perspectiva optimista indica que para 2025 habrá casi un 50% de permeación en todo el mundo, con alrededor de 85 millones de unidades, donde América Latina estaría alrededor del treinta y cinco por ciento (35%) y los países más desarrollados en promedio al setenta por ciento (70%). Según la firma global Navigant Research en sus observaciones al público empresas de servicios, Europa ha experimentado un rápido crecimiento, esto como los servicios públicos en Francia y Gran Bretaña ha despliegues acelerados para cumplir los requisitos adquiridos inicialmente sobre el logro de una tasa de penetración del 80 2020 (J. SCHLEICH, C. FAURE, AND M. KLOBASA, 2016).

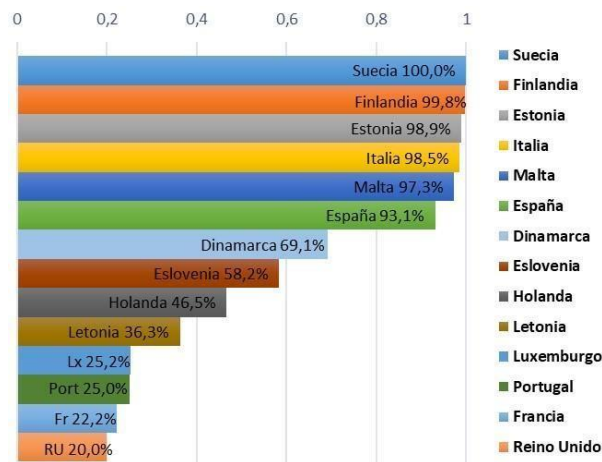
En enero de 2018, el 34% del total de los puntos de medición eléctrica de la Unión Europea metro (99'080,000 unidades), un porcentaje de penetración similar al de América del Norte (90'000,000 unidades). Así, de 28 países que componen la Unión Europea, los resultados de despliegue de contadores eléctricos inteligentes muestran un coste-beneficio análisis con un balance positivo para 17 países, 7 todavía no tienen resultados, y ha sido en general neutral o ligeramente negativo. sólo para 4 de ellos, debido a causas como su nivel de penetración, o no ser parte del grupo con un objetivo de permeabilidad del 80% para 2020, en este contexto se estima que 14 de ellos cumplirán el primer objetivo, mientras que los Otros aún no lo han definido ni tienen planes para completarlo hasta 2030.

Otra región a considerar es Asia del Pacífico, que a pesar de su nivel de permeación de medición inteligente es de alrededor del 20%, hoy en día representa la mayor región en el mercado mundial de contadores inteligentes debido a su densidad de población, donde sólo en China tiene 476 millones de metros instalados, lo que representa hoy más de la mitad de la base instalada en todo el mundo. Así, en todo el mundo, para 2019 la permeación del 14% ha logrado según IOT Analytics.

La incorporación de contadores inteligentes de energía eléctrica en América Latina sigue pendiente, ha quedado muy rezagada Europa, Fig.2, o América del Norte, principalmente

debido a la falta de adopción de políticas que aborden los obstáculos a la adopción (6), además del coste representado por el despliegue de los recursos necesarios. Según Navigant Investigación, los países de la región han permanecido en modo "piloto" durante varios años, con un despliegue limitado de infraestructura de medición avanzada (AMI) y pocos planes inmediatos para intensificarla, en el caso de Ecuador donde sus abonados bordean los 3.359.400 a partir de 2019 (7), sólo hay planes piloto. Sin duda, el progreso está demostrando difícil de encontrar en los mercados de la región.

Fig. 2. Cobertura de contadores inteligentes en los países de la Unión Europea.



Infraestructura de telecomunicaciones nombrada según la zona geográfica que presta servicio, donde protocolos de comunicación para la medición inteligente, se divide en tres áreas: red de área de hogar (HAN), red de área de barrio (NAN), red de área extendida (WAN) (M. G. RUIZ MALDONADO ANDE. INGA, 2019), Tabla1. La red HAN tiene un gran número de dispositivos con comunicaciones y topologías heterogéneas, se encuentra dentro de los hogares y permite dispositivos como interruptores, lavadoras, televisores, coches eléctricos, etc. para comunicarse. Comunicación entre contadores inteligentes y los sistemas de gestión de datos son establecidos por las redes vecinales NAN, donde el hub automáticamente administra medidores inteligentes, realiza el control, transfiere información de diagnóstico y actualizaciones de firmware. Finalmente, la WAN la red transporta la información de los metros a los centros de gestión de la información en cada compañía eléctrica (M. KUZLU, M. PIPATTANASOMPORN, AND S. RAHMAN, 2014).



**Tabla 1.** Tecnologías de la comunicación según área de servicio

Subredes	Tecnologías de comunicaciones
HAN	Ethernet, Wireless Ethernet, Power Line Carrier (PLC), Broadband over Power Line (BPL), ZigBee, WiMax, Wifi.
NAN	PLC, BPL, Metro Ethernet, Long Term Evolution (LTE), WiMax
WAN	LTE, 5G, LoRaWAN, TV White Space, Sigfox

Hoy en día para los sistemas de medición inteligentes, hay varias opciones tecnológicas con sus pros y contras que deben equilibrado para cada caso de una manera particular. La primera pregunta es si la tecnología cableada o inalámbrica, entendida por cableado como la tecnología de comunicaciones a través de la red eléctrica (Power Line Communication, PLC) cuya ventaja radica en el stock de una red cableada preexistente, con opciones de banda estrecha para las comunicaciones de decenas de kilobytes por segundo, y banda ancha, para velocidades de varios megabits por segundo, este último con ciertas limitaciones en distancias muy largas. La opción inalámbrica, sin embargo, abarca diferentes alternativas, como malla inalámbrica, WiMAX, red celular, etc., cada uno con sus propias características, evitando algunos de los problemas de PLC en cierta medida, pero frente a diferentes como la distorsión introducida por el canal.

Actualmente, tres tecnologías compiten para dominar la medición inteligente: comunicación de línea de energía, telefonía móvil y radiofrecuencia. Según el estudio de revisión de la energía renovable y sostenible de (8), los expertos consideran que la comunicación por línea eléctrica tiene una alta probabilidad de convertirse en la dominante, después de evaluar aspectos como: superioridad tecnológica, compatibilidad, flexibilidad, estrategia de precios, hora de entrada, corriente bases instaladas, reguladores y proveedores. El factor más importante que afecta el éxito de la línea eléctrica estándar la comunicación es su superioridad tecnológica. En el contexto nacional, los estudios muestran que la menor inversión en infraestructura se haría al utilizar la red celular ya que proporciona una gran capacidad de cobertura y permite escalabilidad para nuevos dispositivos, evitando gastos en torres de comunicación de logro, concentradores, señal repetidores, y el análisis económico indica que se puede hacer más para invertir en módulos de telecomunicaciones que el reemplazo nacional de medidores de corriente con medidores eléctricos inteligentes, por lo que el conjunto de un módulo adicional a la medidores ya instalados visualiza una perspectiva exitosa.

A continuación, Fig. 3, se muestra una tabla de normas de comunicación que han utilizado los

países de la Unión Europea, un continente que lidera la medición de energía eléctrica.

**Fig. 3.** Normas de comunicación adoptadas en la Unión Europea

Estándar de Comunicación	Austria	Bulgaria	Dinamarca	Estonia	Finlandia	Francia	Alemania	Grecia	Hungría	Italia	Letonia	Lituania	Luxemburgo	Malta	Holanda	Polonia	Portugal	Rumania	Eslovaquia	Eslovenia	España	Reino Unido	
PLC		•																					
2G - GSM				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
2.5G - GPRS		•						•							•			•				•	
Wireless /wM-Bus	•																•						
RS-485			•																				
Ethernet							•						•								•		
4G - LTE								•		•			•										
ZigBee	•																						•
WPAN							•																
3G								•					•										
Wi-Fi																	•				•		
WiMAX																					•		

Teniendo en cuenta que el costo del uso de la red celular, es el más alto de las tres tecnologías principales hoy en día para medición inteligente, la optimización de los recursos junto con una adecuada adopción tecnológica y el nivel de la permeabilidad permitirá obtener resultados positivos en términos de coste-beneficio para cada agente (T. A. ALAQEEL AND S. SURYANARAYANAN, 2019). A tal fin, investigadores de todo el mundo proponen utilizar algoritmos tradicionales, variaciones y heurísticas centradas en el lugar, agrupación, enrutamiento, frecuencia de acceso a la red, entre otros, para resolver este problema.

Algunos estudios consideran una comunicación directa y corta a través de la red celular entre el medidor y el oficina central, a través de un operador móvil virtual (Mobile Virtual Network Operator MVNO), que es caracterizada por utilizar una parte del espectro al menos de un operador primario (E. INGA, R. HINCAPIÉ, C. SUÁREZ, AND G. ARÉVALO, 2015) en otros casos heterogéneos soluciones propuestas para conectar medidores inteligentes con UDAPs (a través de IEEE 802.15.4g por ejemplo), y estos a su vez con el sistema de gestión de datos del contador que finalmente enviará la información a la oficina central (por MVNO) (26). En otros casos, los países están considerando la posibilidad de articular tecnologías celulares junto con anillos de fibra óptica.

La fibra óptica también es considerada por las soluciones FiWi (fibra óptica y Wi-Fi), que inter-comunica la base estaciones a través de fibra, debido a la alta demanda de ancho de banda causada por redes inteligentes, mientras que el uso de Wi-Fi para la comunicación de los medidores a sus concentradores (E. INGA-ORTEGA, A. PERALTA-SEVILLA, R. C. HINCAPIE, F. AMAYA, AND I. TAFUR MONROY, 2015) (J. INGA, E. INGA, Revista Semestral del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui

A. ORTEGA, R. HINCAPIÉ, AND C. GÓMEZ, 2017). En la mayoría de los casos, el hecho de ocupar medidores inteligentes con capacidad de multi-hop se destaca porque ayuda a reducir el tráfico mediante la agregación de datos a lo largo de la ruta donde el nodo se encuentra en el espacio en blanco de la TV se puede utilizar para conectar estaciones base y en áreas remotas con difícil acceso donde no hay penetración de redes celulares (M. ZAERI-AMIRANI, F. AFGHAH, AND S. ZEADALLY, 2018), (D. MAKRIS, G. GARDIKIS, AND A. KOURTIS, 2012), sin embargo, requiere un marco regulatorio cuidadosamente establecido para el espectro (E. INGA, R. HINCAPIÉ, C. SUÁREZ, AND G. ARÉVALO, 2015) también es posible hacer uso de canales infrutilizados de la red celular mediante la reutilización de tecnologías relegadas sin afectar a la red (M. G. RUIZ MALDONADO AND E. INGA, 2019). En este contexto, varios trabajos se han centrado principalmente en la aplicación de técnicas de agrupación de contadores inteligentes (N. CHOWDHURY, F. PILO, AND G. PISANO, 2020), óptimo posicionamiento de puntos de agregación de datos o estaciones base, y encaminamiento a través de árboles extensos, todo esto tomando cuenta la capacidad de los concentradores y los medidores en diferentes escenarios con una cobertura. Algunas propuestas también consideran la interferencia y escalabilidad de la infraestructura de medición, comenzando desde una elección adecuada de tecnologías heterogéneas. También se crean perfiles de usuario basados en la demanda, esto antes agrupados mediante heurísticas o algoritmos propios como k-means, C-means, entre otros (M. G. RUIZ MALDONADO AND E. INGA, 2019), (S. HABEN, C. SINGLETON, AND P. GRINDROD, 2016) (A. HASSAN, Y. ZHAO, L. PU, G. WANG, H. SUN, AND R. M. WINTER, 2017).

Es importante considerar haciendo uso de MVNO o CMVNO para llegar a la red celular junto con el lugar ideal de los puntos de agregación de datos, la inversión y el costo de operación es mucho mejor. Este óptimo posicionamiento también ayuda a mejorar la latencia, el consumo de energía, y la velocidad de transmisión. Por lo tanto, cuanto más altos los recursos capacidad, el costo tiende a aumentar. Además, el número de puntos de agregación va de la mano con el aumento de la latencia y el número de paquetes perdidos. En este contexto, los sistemas de medición avanzados permiten escenarios para nuevos mercados energéticos que resulten beneficiosos para todos los actores del sistema eléctrico: En cuanto al usuario final, se convierte en un decisión activa sobre su consumo y como productor de energía, si procede, permitiéndole interactuar con otras tecnologías

como Home Display para visualizar su consumo y tomar decisiones óptimas frente al precio señales, hay estudios que muestran cuando el usuario tiene una retroalimentación que ha logrado cortar su electricidad consumo en un 5% (J. SCHLEICH, C. FAURE, AND M. KLOBASA, 2016).

Operadores de redes, representa una reducción de costes y recursos, así como la disponibilidad de información en tiempo real de la red de distribución, minimizando el tiempo para detectar fallos y monitorización en línea de la calidad de la energía, permitiendo predicciones de carga. sistema a corto plazo para garantizar la continuidad del servicio. Los programas de gestión de la demanda también son permitidos; Esto disminuye el nivel de carga de los transformadores, mejora la regulación de la tensión en las colas de los circuitos, disminuye la restricción de transmisión de energía y libera la capacidad del sistema (S. M. TÉLLEZ GUTIÉRREZ, J. ROSERO GARCÍA, AND R. CÉSPEDES GANDARILLAS, 2018).

Los vendedores de energía, el nuevo proceso de facturación reduce los errores de lectura de medición y los recursos necesarios para su ejecución, también, puede llevar a cabo un sistema de tasa que no tiene en cuenta sólo la energía eléctrica, sino también la energía; esto representa ingresos por la energía consumida y por la contratada en el mercado minorista (S. M. TÉLLEZ GUTIÉRREZ, J. ROSERO GARCÍA, AND R. CÉSPEDES GANDARILLAS, 2018). Aumento de la eficiencia energética del sistema eléctrico tiene un impactopositivo en el medio ambiente al reducir el dióxido de carbono las emisiones de las plantastérmicas, también, promueve la necesidad de recursos humanos capacitados, lo que niveltecnológico de la sociedad (S. M. TÉLLEZ GUTIÉRREZ, J. ROSERO GARCÍA, AND R. CÉSPEDES GANDARILLAS, 2018). En Arabia Saudí adopta una infraestructura de mediciónavanzada como resultado en un beneficio económico de \$ 12.51 mil millones de unainversión de \$ 3.36 mil millones (T. A. ALAQEEL AND S. SURYANARAYANAN, 2019).

En cuanto a las pérdidas no técnicas, la estimación en \$ 20 Mil millones en todo el mundo, cifras que pueden compararse con la generación capacidades en países como Francia o Alemania, y se deben principalmente al uso clandestino del servicio, ya sea a través de conexiones ilegales o manipulación del medidor de energía, junto con errores administrativos y técnicos. En este tener una medición de infraestructura en la que los contadores inteligentes proporcionen datos en tiempo real, permiten a los distribuidores detectar fraudes con la ayuda del análisis de datos. Tal es el caso de la empresa italiana

ENEL, que, ahorrando 750 millones de euros al año, recuperó la inversión de 33 millones de contadores inteligentes instalados en Italia en sólo cuatro años (T. AHMAD, 2017).

## **CONCLUSIONES**

Minimizar los costos con respecto a los recursos utilizados en los sistemas de medición se centran en la reducción ideal de los puntos de agregación de datos, sin afectar a la cobertura ni a la calidad del servicio.

La planificación del despliegue de una infraestructura de medición inteligente debe considerar el grupo de abonados al servicio ofrecerá debido al costo que la inversión requiere y el beneficio económico que se espera obtener por distribuidores.

El comportamiento variado del consumo de energía eléctrica por los abonados requiere un análisis previo para encontrar practicidad de estar incorporado o no en un sistema de medición inteligente.

Debido a la variedad de metodologías propuestas como propuestas para optimizar los recursos y el funcionamiento en una medición sistema, es necesario encontrar la combinación de técnicas y tecnologías que mejor se adapte a la realidad de la región o escenario en estudio.

## **REFERENCIAS**

- E. Inga, S. Cespedes, R. Hincapie, and C. A. Cardenas, "Scalable Route Map for Advanced Metering Infrastructure Based on Optimal Routing of Wireless Heterogeneous Networks," *IEEE Wirel. Commun* vol. 24, no. 2, pp. 26–33, 2017, doi: 10.1109/MWC.2017.1600255.
- G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 2589–2625, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.08.092.
- S. Bera, S. Misra, and M. S. Obaidat, "Energy-efficient smart metering for green smart grid communication," 2014 *IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM 2014*, pp. 2466–2471, 2014, doi:10.1109/GLOCOM.2014.7037178.
- J. Schleich, C. Faure, and M. Klobasa, "Persistence of the effects of providing feedback alongside smart metering devices on household electricity demand," *Energy Policy*, vol. 107, no. December 2016, pp. 225–233, 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.05.002.
- N. Uribe-Pérez, L. Hernández, D. de la Vega, and I. Angulo, "State of the Art and Trends

- Review of Smart Metering in Electricity Grids,” *Appl. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 1–24, 2016, doi: 10.3390/app6030068.
- S. Zhou and M. A. Brown, “Smart meter deployment in Europe: A comparative case study on the impacts of national policy schemes,” *J. Clean. Prod.*, vol. 144, no. 2017, pp. 22–32, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.031.
- M. G. Ruiz Maldonado and E. Inga, “Asignación óptima de recursos de comunicaciones para sistemas de gestión de energía,” *Enfoque UTE*, vol. 10, no. 1, pp. 141–152, 2019, doi: 10.29019/enfoqueute.v10n1.447.
- G. van de Kaa, T. Fens, J. Rezaei, D. Kaynak, Z. Hatun, and A. Tsilimeni-Archangelidi, “Realizing smart meter connectivity: Analyzing the competing technologies Power line communication, mobile telephony, and radio frequency using the best worst method,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 103, no. December 2018, pp. 320–327, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.12.035.
- D. H. Shin and M. Bartolacci, “A study of MVNO diffusion and market structure in the EU, US, Hong Kong, and Singapore,” *Telemat. Informatics*, vol. 24, no. 2, pp. 86–100, 2007, doi:10.1016/j.tele.2005.11.003.
- N. Chowdhury, F. Pilo, and G. Pisano, “Optimal energy storage system positioning and sizing with robust optimization,” *Energies*, vol. 13, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13030512.
- E. Inga-Ortega, A. Peralta-Sevilla, R. C. Hincapié, F. Amaya, and I. Tafur Monroy, “Optimal dimensioning of FiWi networks over advanced metering infrastructure for the smart grid,” 2015 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Lat. Am. ISGT LATAM 2015, pp. 30–35, 2016, doi: 10.1109/ISGT-LA.2015.7381125.
- J. Inga, E. Inga, A. Ortega, R. Hincapié, and C. Gómez, “Optimal Planning for Deployment of WiFi Networks based on Hybrid Heuristic Process,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 15, no. 9, pp. 1684–1690, 2017, doi: 10.1109/TLA.2017.8015053.
- D. Pérez, E. Inga, and R. Hincapié, “Optimal sizing of a network for smart metering,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 5, pp. 2114–2119, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7530403.
- S. Haben, C. Singleton, and P. Grindrod, “Analysis and clustering of residential customers energy behavioral demand using smart meter data,” *IEEE Trans. Smart Grid*,

vol. 7, no. 1, pp. 136–144, 2016, doi: 10.1109/TSG.2015.2409786.

Y. Wang, Q. Chen, C. Kang, and Q. Xia, “Clustering of Electricity Consumption Behavior Dynamics Toward Big Data Applications,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 5, pp. 2437–2447, 2016, doi: 10.1109/TSG.2016.2548565.

E. Pan, H. Li, L. Song, and Z. Han, “Kernel-based non-parametric clustering for load profiling of big smart meter data,” *2015 IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC 2015*, pp. 2251–2255, 2015, doi: 10.1109/WCNC.2015.7127817.

A. Hassan, Y. Zhao, L. Pu, G. Wang, H. Sun, and R. M. Winter, “Evaluation of clustering algorithms for DAP placement in wireless smart meter network,” *Proc. 2017 9th Int. Conf. Model. Identif. Control. ICMIC 2017*, vol. 2018-March, no. Icmic, pp. 1085–1090, 2018, doi: 10.1109/ICMIC.2017.8321618.

E. Inga, R. Hincapié, C. Suárez, and G. Arévalo, “Shortest path for optimal routing on Advanced Metering Infrastructure using cellular networks,” *2015 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2015 - Conf. Proc.*, 2015, doi: 10.1109/ColComCon.2015.7152078.

M. Zaeri-Amirani, F. Afghah, and S. Zeadally, “A Hierarchical Spectrum Access Scheme for TV White Space Coexistence in Heterogeneous Networks,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 78992–79004, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2885732.

D. Makris, G. Gardikis, and A. Kourtis, “Quantifying TV white space capacity: A geolocation-based approach,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 9, pp. 145–152, 2012, doi: 10.1109/MCOM.2012.6295725.

F. Abate, M. Carratù, C. Liguori, and V. Paciello, “A low-cost smart power meter for IoT,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 136, pp. 59–66, 2019, doi: 10.1016/j.measurement.2018.12.069.

S. M. Téllez Gutiérrez, J. Rosero García, and R. Céspedes Gandarillas, “Advanced metering infrastructure in Colombia: benefits, challenges and opportunities,” *Ing. y Desarro.*, vol. 36, no. 2, pp. 469–488, 2018, doi: 10.14482/inde.36.2.10711.

F. Leferink, C. Keyer, and A. Melentjev, “Static energy meter errors caused by conducted electromagnetic interference,” *IEEE Electromagn. Compat. Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 49–55, 2016, doi: 10.1109/MEMC.2016.7866234.

M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, and S. Rahman, “Communication network requirements  
*Revista Semestral del Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui* 47

- for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN,” *Comput. Networks*, vol. 67, pp. 74–88, 2014, doi: 10.1016/j.comnet.2014.03.029.
- T. A. Alaqeel and S. Suryanarayanan, “A comprehensive cost-benefit analysis of the penetration of Smart Grid technologies in the Saudi Arabian electricity infrastructure,” *Util. Policy*, vol. 60, no. June, p. 100933, 2019, doi: 10.1016/j.jup.2019.100933.
- I. L. Bedhiaf, O. Cherkaoui, and G. Pujolle, “Third-generation virtualized architecture for the MVNO context,” *Ann. des Telecommun. Telecommun.*, vol. 64, no. 5–6, pp. 339–347, 2009, doi: 10.1007/s12243009-0108-z.
- A. Peralta, E. Inga, and R. Hincapié, “Optimal Scalability of FiWi Networks Based on Multistage Stochastic Programming and Policies,” *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 9, no. 12, p. 1172, 2017, doi: 10.1364/jocn.9.001172.
- G. Wang, Y. Zhao, J. Huang, Q. Duan, and J. Li, “A K-means-based network partition algorithm for controller placement in software defined network,” *2016 IEEE Int. Conf. Commun. ICC 2016*, 2016, doi: 10.1109/ICC.2016.7511441.
- T. Ahmad, “Non-technical loss analysis and prevention using smart meters,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, no. January, pp. 573–589, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.100.