

# Medidores y funciones de las redes eléctricas inteligentes

Redes eléctricas inteligentes: el camino a la eficiencia energética. En este escrito, un detalle acerca de las tecnologías que sirven a una red eléctrica inteligente: medidores y aplicaciones.

Dr. Ing. Patricio G. Donato  
pgdonato@conicet.gov.ar

Dr. Ing. Marcos A. Funes  
mfunes@fi.mdp.edu.ar

Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en  
Electrónica (ICYTE)  
CONICET  
Universidad Nacional de Mar del Plata

## Las redes eléctricas inteligentes

Una estrategia diferente para afrontar los problemas derivados de la demanda creciente de energía eléctrica es poner el foco en el consumo racional y la gestión eficiente de la red eléctrica antes que en el aumento de la generación. Aquí es donde entra en juego el concepto de las redes eléctricas inteligentes (REI), las cuales representan un cambio de paradigma en la gestión y control de las redes eléctricas, con especial énfasis en la relación entre consumidores y proveedores de dicha fuente de energía. La definición más simple de las REI es la que dice que se trata de redes eléctricas que incorporan tecnologías de información y comunicaciones (TIC), sistemas de generación eléctrica distribuida basados en fuentes renovables y sistemas de almacenamiento.

---

*Representan un cambio de paradigma en la gestión y control de las redes eléctricas, con especial énfasis en la relación entre consumidores y proveedores*

---

La integración de todas estas tecnologías puede modificar el funcionamiento mismo de la red eléctrica, logrando una gestión y uso más eficiente. En el caso de los dispositivos TIC, estos comprenden un conjunto muy amplio de equipos, que van desde los medidores inteligentes, una pieza clave en la estructura de las REI, hasta actuadores inteligentes, automatización de subestaciones y medidores fasoriales, entre otros. Su incorporación permite implementar estrategias de gestión de la demanda, esquemas de tarifas dinámicas, sistemas de restablecimiento del servicio eléctrico automáticos, reducción de pérdidas en las redes de transmisión y distribución, etc. Por su parte, los sistemas de generación distribuida permiten aprovechar fuentes de energía renovable en forma local y satisfacen parte de la demanda, evitando consumir energía que se transporta desde lugares distantes. Esto permite la reducción de pérdidas en la red, ya sea en los

conductores o en los transformadores, y además tiene la ventaja de que se trata de energía obtenida de fuentes limpias, como puede ser el sol o el viento. Finalmente, la instalación de elementos de almacenamiento de energía permite implementar esquemas de acumulación de energía en los momentos del día donde el consumo es reducido (por ejemplo, la noche), para luego usar esa energía en los momentos del día donde el consumo es máximo, evitando sobrecargar las líneas de transmisión. Además, el uso de elementos de almacenamiento permite compensar los aspectos problemáticos de las fuentes de energía renovables, tanto la intermitencia de la generación como la imposibilidad de hacer pronósticos a largo plazo. Almacenar energía hace posible compensar las caídas de producción que pueden darse durante cambios meteorológicos inesperados.

### Los medidores inteligentes

Las redes eléctricas convencionales están caracterizadas, en su mayoría, por emplear medi-

dores de consumo eléctricos, también denominados “contadores”, de tipo electromecánico, que registran el consumo acumulado de energía del cliente en cuestión. Este tipo de medidores solo registra la energía consumida acumulada en el tiempo, y su lectura se hace en forma manual, proceso denominado “toma de estado”, en el cual un operario consulta en forma presencial cada medidor, con frecuencias mensuales o bimensuales. Claramente la información que proveen estos medidores es muy reducida y solo sirve para la facturación de la energía consumida. Es imposible hacer un control, o al menos un seguimiento, del consumo de energía en bandas de tiempo más reducidas, del orden de días, horas o incluso minutos, y mucho menos se pueden monitorear parámetros eléctricos útiles para la gestión de la red, como puede ser el nivel de tensión, el grado de distorsión de la forma de onda, desfases, etc. Es imposible desplegar una REI basada en estos dispositivos, razón por la cual uno de los primeros pasos a realizar en cualquier

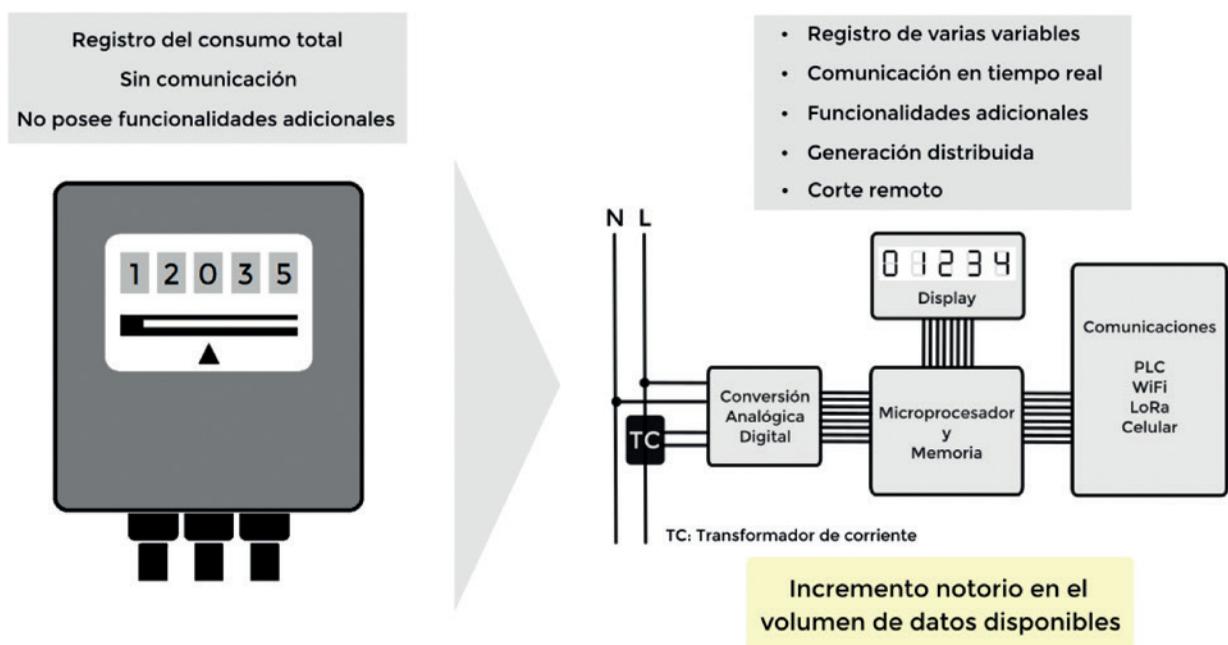


Figura 1. El cambio de los medidores electromecánicos tradicionales por los nuevos medidores inteligentes permite emplear nuevas y mejores herramientas de gestión, pero también implica un incremento notorio en el volumen de datos disponibles que deben ser procesados.

REI es la instalación masiva de medidores inteligentes.

---

*Uno de los primeros pasos a realizar en cualquier REI es la instalación masiva de medidores inteligentes*

---

Cabe aclarar, en primer lugar, que la inteligencia de un medidor inteligente no se halla en el medidor en sí mismo, sino más bien en el procesamiento a posteriori de los datos recopilados por este dispositivo. Constructivamente, ya no se trata de un dispositivo electromecánico, sino que es un dispositivo enteramente electrónico que mide la corriente y tensión en cada fase (una en el caso monofásico, tres en el trifásico) y calcula la energía consumida en forma digital, empleando un microprocesador para esa tarea. La medición de la tensión y corriente se hace a través de algún sensor (resistencia 'shunt', transformador de corriente, etc.) y se digitaliza con conversores analógico-digitales. Finalmente, el medidor cuenta con algún elemento de memoria, que le permite almacenar una cierta cantidad de datos históricos, y un sistema de comunicaciones con el cual reporta la medición a la central o a algún módulo concentrador (figura 1). De esta forma, la empresa distribuidora puede hacer la lectura del consumo de energía de los clientes en forma remota, sin necesidad de desplazar físicamente a ningún operario, con una frecuencia que incluso puede ser de fracciones de hora, y con el agregado de que en el mismo proceso se pueden evaluar varios parámetros eléctricos además del consumo de energía en sí mismo. Los datos obtenidos de las mediciones en tiempo real pueden ser utilizados para generar políticas de tarifas y consumo, gestionar el flujo de energía y mejorar la calidad del servicio eléctrico en general. De esta forma, se puede construir lo que se denomina como una "arquitectura de medición avanzada" (AMI, por sus siglas en inglés), o sea, una red que comunica en tiempo real al proveedor y los clientes del servicio eléctrico.

Los medidores inteligentes son también una pieza clave para la integración eficiente de los generadores de energía distribuidos, como es el caso de aquellos clientes que instalan paneles fotovoltaicos e inyectan el excedente de energía eléctrica a la red. En Argentina está vigente desde el año 2017 (y reglamentada desde el 2018) la Ley 27.424, que habilita que los usuarios del servicio eléctrico instalen su propio sistema de generación de energía eléctrica, inyecten el excedente de energía en la red de distribución en baja tensión y reciban una compensación por ella. En este caso, la existencia de un medidor inteligente que registre el balance de energía consumida e inyectada es fundamental para que funcione este esquema de generación.

### Nuevas funcionalidades vinculadas a las REI

A diferencia de la red de distribución convencional, en una REI se recopila automáticamente información y se actúa en función de ella para gestionar la generación y distribución de manera de lograr la máxima eficiencia. Para ello, se desarrollan e implementan nuevas funcionalidades que permiten hacer eficiente esa gestión mediante diferentes estrategias. A continuación se describen algunas de ellas.

---

*En una REI se recopila automáticamente información y se actúa en función de ella para gestionar la generación y distribución de manera de lograr la máxima eficiencia*

---

### Gestión de la demanda (DSM)

Las estrategias de gestión de la demanda (DSM, por sus siglas en inglés) implican una relación estrecha entre cliente y proveedor del servicio eléctrico, ya que el consumo del cliente se adapta al estado de la red eléctrica (figura 2). Se puede definir como un conjunto de herramientas para la

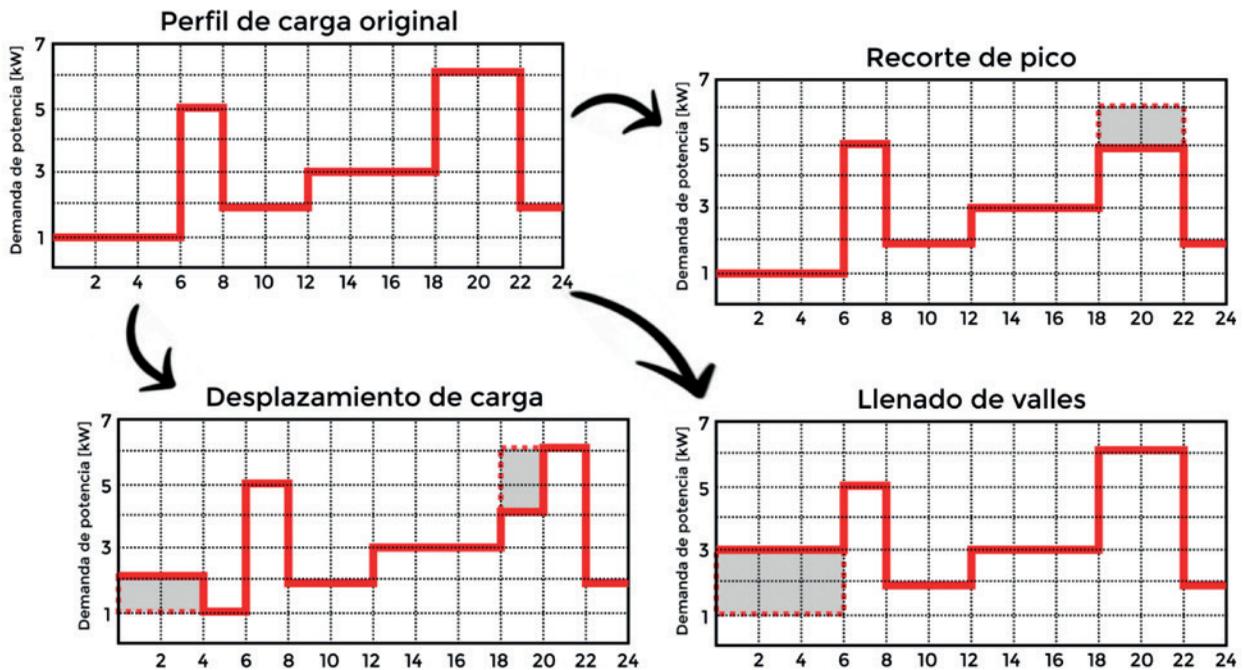


Figura 2. Se pueden implementar diferentes estrategias de gestión de la demanda en el marco de una REI, desde el recorte de consumos en las horas pico hasta desplazamientos de consumos de una banda horaria a otra. El llenado de valles es otra alternativa, donde se combina la capacidad de almacenamiento con el uso de la red en los horarios donde la demanda de energía es menor.

modificación del patrón de consumo de energía del lado de la demanda, con el objeto de aumentar la eficiencia y mejorar la operación de los sistemas de energía eléctrica.

La idea de gestionar las cargas no es nueva, pero ha cobrado un impulso renovado de la mano de las REI. Así, se pueden producir cambios en patrones normales de consumo de la electricidad por parte de los clientes finales en respuesta a cambios en el costo de la energía a lo largo del tiempo o a pagos de incentivos diseñados para inducir un menor consumo en momentos en que los precios del mercado mayorista son altos o cuando la fiabilidad del sistema se ve comprometida. En otras palabras, el cliente “vende” su capacidad de cambiar el perfil de demanda en función de las solicitudes del operador del sistema. De esta manera, una estrategia de DSM sobre una REI podría ayudar a los consumidores a hacer un uso más eficiente del recurso energético, permitiéndoles

utilizarlo en los periodos de menor consumo. Por ejemplo, modificando la configuración de un aire acondicionado, la iluminación o el uso de un lavarropas cuando la tarifa es más cara (en las horas pico), o incluso gestionar el encendido/apagado del compresor de la heladera en función de las mismas tarifas.

*La idea de gestionar las cargas no es nueva, pero ha cobrado un impulso renovado de la mano de las REI*

Un cliente industrial podría tener segmentado el circuito eléctrico de forma tal que haya sistemas para garantizar que las funciones básicas siempre dispongan de energía (por ejemplo, la unidad de cuidados intensivos de un hospital, las cámaras frigoríficas de una empresa de productos alimenticios, etc.), mientras que otros se des-

activen cuando los precios de la energía superan un determinado monto. Esto permitiría lograr un ahorro por reducción de consumo, en el caso de una estrategia de recorte de picos, o por desplazamiento de consumos de bandas horarias con tarifas más elevadas a otras con menores tarifas. Además, se pueden establecer contratos en los cuales se compense económicamente por esta rebaja o desplazamiento parcial del consumo de energía.

Implementar estrategias como DSM implica no solo tener una infraestructura de medición y comunicaciones adecuada, sino que requiere de nuevos modelos de negocios y de la adaptación de las regulaciones del mercado eléctrico.

### Tarifas dinámicas

La implementación de estrategias DSM suele ir acompañada de esquemas de tarifas dinámicas, donde el costo de la energía para el cliente varía

en función de la banda horaria. Si bien este es un esquema que existe y se usa en el caso los grandes consumidores (fábricas, complejos comerciales, etc.), no se emplea para los clientes generales de baja tensión, es decir, residenciales, comercios y pequeños emprendimientos, etc.

Hay diferentes formas de implementar estos esquemas, que pueden ser tan simples como establecer dos bandas horarias (pico y fuera de pico) o más complejas, como es el caso de tarifas que cambian su valor en tiempo real y/o en función de las señales de precio del mercado mayorista.

La existencia de estas tarifas variables, o dinámicas, hace atractivo para el cliente la adopción de alguna estrategia DSM, ya que le permite aprovechar los mejores precios de la energía dentro de sus posibilidades de adaptar el perfil de consumo (figura 3).

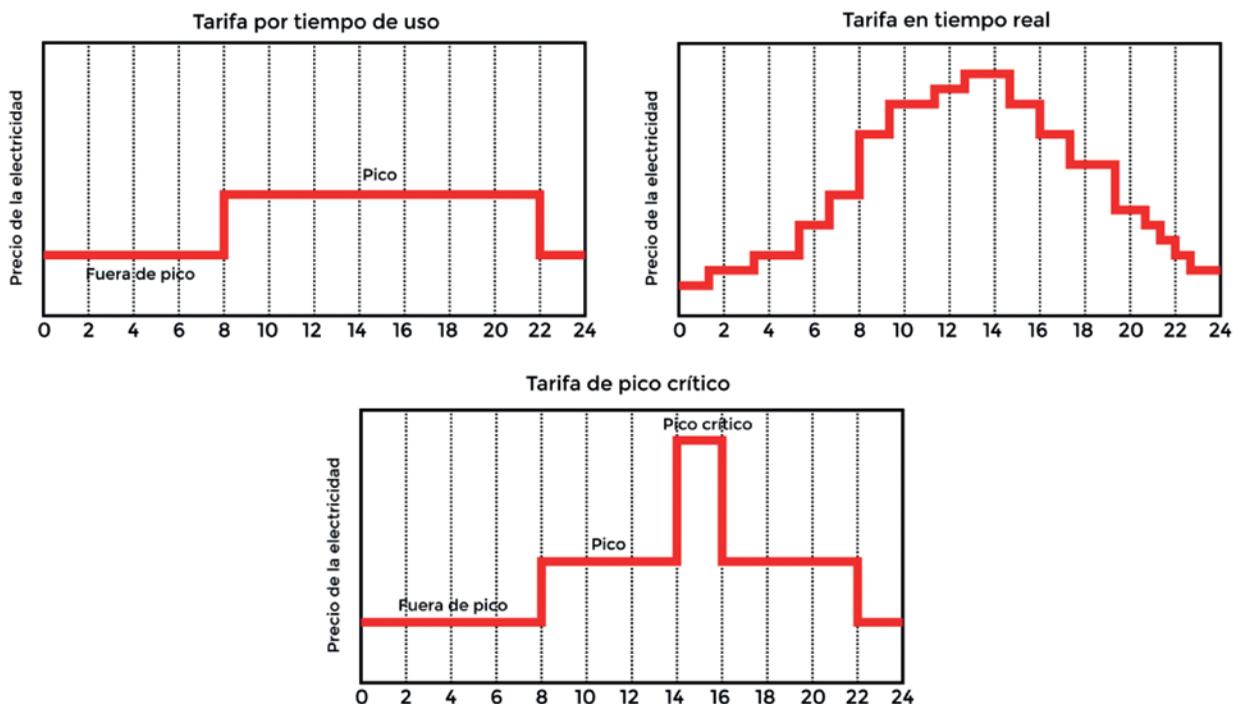


Figura 3. La instalación de medidores inteligentes con capacidad de comunicación en tiempo real o cuasi real habilita la implementación de políticas de tarifas dinámicas, las cuales pueden combinarse con DSM para mejorar la eficiencia en la gestión de la red.

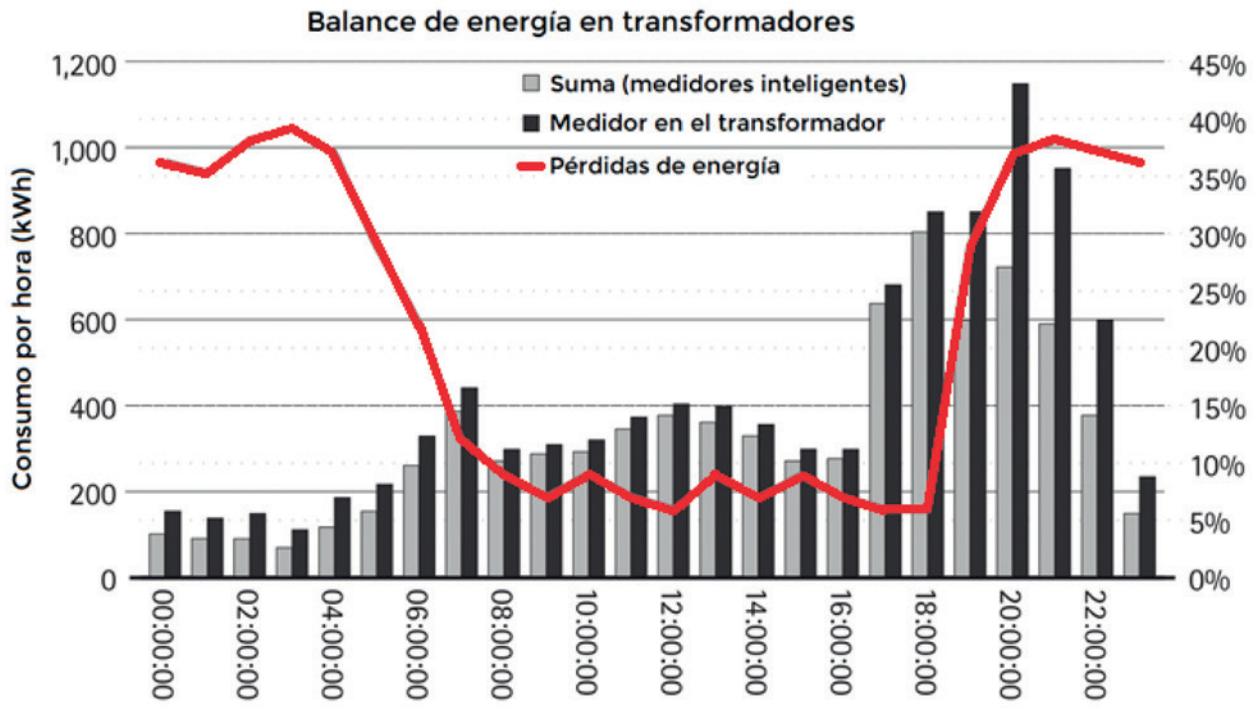


Figura 4. Balance de energía en un transformador, donde se calcula la diferencia entre la energía entregada en bornes del transformador con la suma de los consumos individuales de los clientes.

### Reducción de pérdidas en transformadores

Las pérdidas de energía en los transformadores tienen un impacto importante en la calidad del servicio y en los costos de mantenimiento de la red. Mediante el cálculo de balances energéticos en tiempo real, que permitan identificar en qué puntos de la red hay una pérdida de energía no facturada, es posible hacer un control inteligente de dichas pérdidas.

En la figura 4 se muestra un balance de energía en tiempo real, donde se computa la energía entregada en bornes del transformador por un lado, mientras que por otro se suman los consumos de energía reportados por los medidores inteligentes de todos los clientes conectados a dicho transformador. La diferencia entre ambas magnitudes indica la pérdida de energía, la cual podrá luego identificarse si corresponde a un problema de la instalación o si se está produciendo un robo de energía.

### Monitoreo no intrusivo de cargas

El concepto de monitoreo no intrusivo de cargas (NILM, por sus siglas en inglés) se puede resumir como el desagregado del consumo de energía de diferentes dispositivos a partir de la medición de consumo en un solo punto (por ejemplo, la acometida de una instalación). A través de diferentes tipos de técnicas y algoritmos se pueden construir modelos de las contribuciones de dispositivos individuales a una señal de energía eléctrica agregada a lo largo del tiempo.

El desagregado de consumos permite identificar posibles causas de consumos anormales, hacer un control eficiente de dispositivos que no se utilizan en forma permanente e identificar rutinas de uso ineficientes, entre otras cosas. En el ámbito doméstico esto incluye controles de iluminación y climatización (reacción a la presencia en lugar de la temperatura ambiente) y el disparo de alarmas predictivas por posibles fallos en dispositivos.

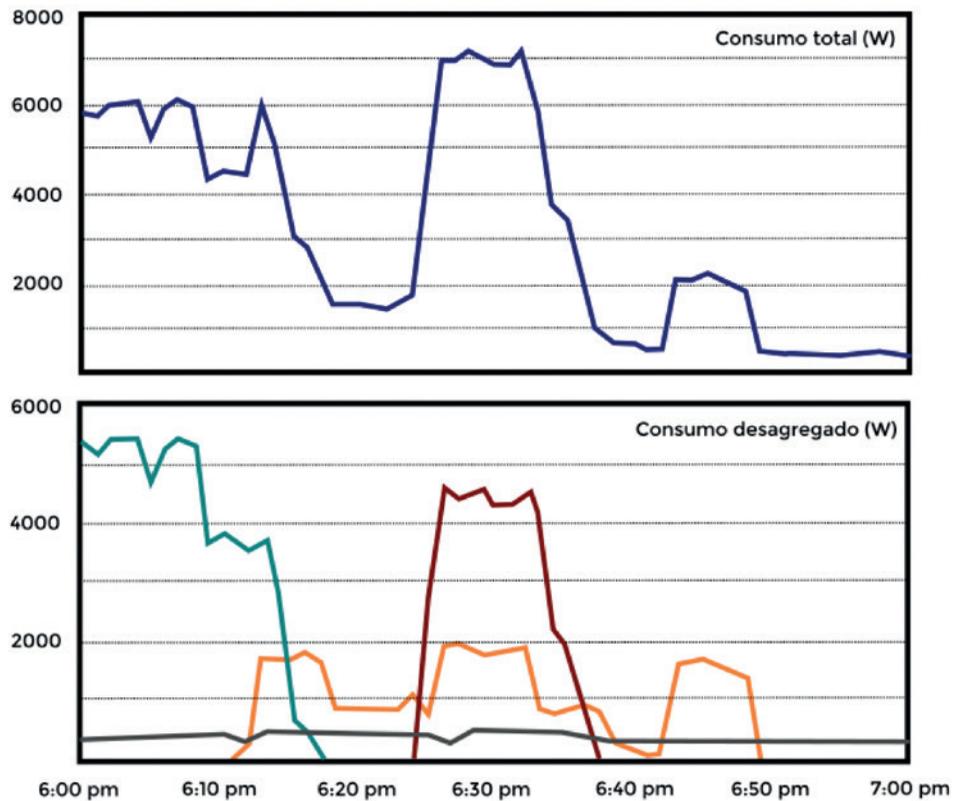


Figura 5. El consumo total de un cliente (arriba), puede desagregarse como la suma de diferentes consumos individuales de los equipos vinculados a esa instalación eléctrica (abajo).

Esto tiene un potencial impacto en el desarrollo de nuevas aplicaciones relacionadas con el consumo de energía inteligente, gestión de la demanda, detección de fallas, e incluso como herramienta de apoyo para la asistencia de personas. El uso de medidores inteligentes en conjunto con técnicas NILM también introduce nuevos desafíos que antes no existían y que exceden lo meramente eléctrico, ya que el desagregado de consumos pone a la vista rutinas privadas que deben protegerse. La privacidad de la información de consumo se vuelve crítica en este caso, en un contexto donde los datos se generan casi en tiempo real, un problema que no existía en el esquema tradicional donde la lectura de los medidores era manual y no permitía discriminar comportamientos sociales con una base diaria ni horaria. ■

Nota de la Edición

Este artículo forma parte de una serie titulada “Redes eléctricas inteligentes: el camino a la eficiencia energética” elaborada por los mismos autores especialmente para AAECA y Editores SRL en base a la presentación que llevaron a cabo en el marco del encuentro AAECA 2023.

Las serie está conformada por los siguientes artículos:

- Redes eléctricas inteligentes en contexto
- Medidores y funciones de las redes eléctricas inteligentes
- Redes eléctricas inteligentes: situación en el mundo y en Argentina
- Redes eléctricas inteligentes: ¿qué hace?