

DE CÓMO LOS SISTEMAS SE FUERON  
HACIENDO “INTELIGENTES”:  
REPASO CONCEPTUAL E IMPLICACIONES  
SOBRE EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA



**Cuadernos de la Conuee**  
**Número 7 (versión modificada)**



## **1. Introducción**

Un aspecto clave en el diseño y funcionamiento de sistemas electromecánicos desde los inicios de la Revolución Industrial, ha sido el de la medición y control de procesos. El cambio tecnológico de las últimas décadas, sin embargo, le ha dado nuevas dimensiones y hoy día los equipos y sistemas han integrado, a través de la electrónica digital y las telecomunicaciones, tecnología que ha generalizado la medición y control de procesos, y la ha ampliado con un alcance que parece no tener límites.

En muchos sentidos, las bases y elementos para los llamados “sistemas inteligentes” (tales como edificios o ciudades) que, entre otras características, operan con mayor eficiencia energética, parten de la capacidad creciente de medir, transmitir y procesar datos en tiempo real, lo que hoy es posible por la evolución de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Por lo mismo, y para establecer una referencia conceptual sobre estos temas, en este reporte se hace un repaso de conceptos generales, avances tecnológicos relevantes y aplicaciones que son posibles con la tecnología de que disponemos hoy día y que seguirá evolucionando rápidamente en el futuro cercano.

## **2. Procesos básicos: medir, registrar y procesar.**

En un sentido simple, los llamados “sistemas inteligentes” miden, registran, transmiten, almacenan y procesan los datos de variables medidas en millones de puntos en tiempo real. Hasta hace relativamente poco tiempo, esto se realizaba manualmente y su transformación tiene implicaciones muy relevantes en el operar de nuestra economía y nuestras vidas diarias.

### **a. Medición**

Desde la perspectiva del uso eficiente de la energía, para poder establecer el comportamiento de un material, equipo o sistema en cuanto a demanda y consumo de energía, es preciso determinar las magnitudes de un conjunto amplio de características y fenómenos físicos, tales como tiempo, longitud, velocidad, masa, temperatura, energía o peso.

Dichas magnitudes se determinan a partir de la medición, que consiste en comparar la dimensión de un objeto o fenómeno dado con el de una unidad establecida como referencia, generalmente mediante algún instrumento graduado de acuerdo al patrón acordado para dicha unidad.

Por supuesto, para que la medición sea correcta y los resultados sean comparables, el instrumento graduado para ello tiene que estar calibrado, es decir, debe reproducir, con el mínimo de error posible, lo que resultaría de hacerlo con un patrón de medida certificado para obtener, fijar o contrastar el valor de otros patrones de la misma magnitud.

La medición puede ocurrir, como en una balanza, en una comparación directa entre lo que se mide y un patrón o patrones que lo igualan en peso.

Sin embargo, la mayoría de las mediciones depende de procesos que transforman fenómenos físicos para llegar a establecer una magnitud dada de manera indirecta. Un ejemplo es el termómetro de mercurio, donde primero se establece un balance térmico entre el objeto al que se le hace la medición y el mercurio, que se expande o se contrae de acuerdo a la temperatura; esta expansión o contracción se refleja en un desplazamiento que, a través de una regla integrada en su superficie, indica la temperatura del objeto medido.

Para los propósitos de lo que se anota en el presente documento, la transformación de una magnitud en una señal eléctrica es uno de los procesos fundamentales que hacen posible que hayamos llegado hoy día a los sistemas inteligentes, y esto se lleva a cabo a través de los llamados transductores, que son aquellas partes de una cadena de medición que transforman una magnitud física en una señal eléctrica.

## **b. Registro**

En un sentido básico, registrar es anotar o consignar un dato en un documento o papel para su posterior consulta o referencia. Estos datos pueden mostrarse en el propio instrumento de medición en un valor puntual o en registros gráficos que muestran variaciones respecto a otro parámetro (generalmente, el tiempo). Sin embargo y para propósitos de su procesamiento – por muchos años y antes de los procesos modernos de digitalización y manejo de datos– se integran en tabulados en los que, de “su puño y letra”, una persona anota el valor que registra el dispositivo de medición junto con aspectos relacionados a tiempo y espacio de la medición y a otros aspectos, como la propia identificación de quien llena la tabla.

La referencia al “puño y letra” es relevante en la medida que muchos registros de parámetros relevantes en la operación de una gran variedad de sistemas se han hecho, y se siguen haciendo, a mano sobre papel. Inclusive y como ejemplo, todavía se lleva el registro a mano de los consumos de usuarios eléctricos en ciclos de uno o dos meses, que es una labor que, con el cambio tecnológico, dejará de existir muy pronto.

## **c. Procesamiento**

El procesamiento de los datos registrados en las mediciones ha cambiado radicalmente a través de los años; hasta hace cerca de cincuenta años, dependía de su manejo manual apoyado en dispositivos mecánicos (como máquinas calculadoras simples movidas con electricidad) o mediante el uso de reglas de cálculo, que son instrumentos que actúan como computadoras analógicas por medio de varias escalas numéricas móviles que facilitan la rápida realización de operaciones aritméticas, como multiplicaciones, divisiones, cálculo de logaritmos y otras operaciones matemáticas complejas. Asu vez, este procesamiento era registrado en cuadernos que integraban la información y servían de referencia para la toma de decisiones, ya sea de diseño o de operación de equipos y sistemas.

Hoy día este procesamiento se lleva a cabo con grandes volúmenes de datos, con cálculos muy sofisticados, en tiempo real y a gran velocidad, en computadoras que aprovechan el desarrollo tecnológico que se describe a continuación.

## **3. Los desarrollos tecnológicos relevantes.**

Todas las acciones anotadas arriba han sido transformadas por el acelerado cambio tecnológico de los últimos setenta años en cuanto al desarrollo de la electrónica, la digitalización, el almacenamiento de datos y los sistemas de comunicación.

- **Los semiconductores.** Un avance fundamental para la electrónica es el desarrollo de dispositivos basados en semiconductores, los cuales son elementos que se comportan como conductores o como aislantes, dependiendo de diversos factores, como por ejemplo, el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre.
- **El transistor.** De los dispositivos basados en semiconductores, el transistor, que aparece en 1948, es de los más importantes y se utiliza para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada, y cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador.
- **Los circuitos integrados.** En 1958, llegaron los circuitos integrados, que incluyen varios transistores en una sola pieza (un “chip”).
- **Los microprocesadores.** Los circuitos integrados dan lugar, en 1970, a la aparición de los microprocesadores, que son elemento central de las computadoras actuales y son capaces de ejecutar un conjunto de instrucciones integradas en un programa a partir de la realización de operaciones aritméticas y de lógica simple.
- **La digitalización.** El desarrollo central en los sistemas modernos de manejo, procesamiento y transmisión de información son los sistemas digitales, que utilizan una base numérica binaria, que permite manejar y almacenar la información en pulsos, interruptores de encendido/apagado o cualquier forma de un registro básico de “sí o no”.
- **Sistemas de almacenamiento de datos.** Los sistemas de almacenamiento de datos aparecen asociados a las computadoras, que requieren de un almacenamiento primario o principal (que guarda el código que

permite arrancar y hacer funcionar a la computadora) y el secundario o auxiliar, que ha tenido muchas formas: primero, con discos y cintas magnéticas y, luego, con discos apoyados en equipos de rayos láser.

Otro conjunto de tecnologías clave que hacen posibles las ciudades inteligentes, son las asociadas a las comunicaciones, que evolucionan desde la aparición del telégrafo a mediados del siglo XIX; el teléfono, que aparece en la segunda mitad del siglo XIX; la transmisión inalámbrica, reflejada en la aparición del radio en 1906; la automatización de procesos y la expansión del servicio telefónico a lo largo de la primera mitad del siglo XX; y la comunicación vía satélite, que arranca en 1957 con la puesta en órbita por la Unión Soviética del primer satélite y que toma forma en 1962 con la emisión de la primera señal de televisión utilizando un satélite.

Finalmente y como la pieza final de este ecosistema tecnológico, aparece la red Internet, que nace en 1962 como un concepto que llevaría, a partir de finales de los ochentas, a una red de computadoras interconectadas globalmente para acceder desde cualquier lugar a datos y programas.

#### **4. Las redes inalámbricas de sensores (RIS)**

Uno de los elementos fundamentales en las transformaciones tecnológicas más recientes y que conjunta el desarrollo de los microprocesadores y la electrónica digital son las redes inalámbricas de sensores (RIS), cuya existencia es relativamente reciente (de 2000 a la fecha) y que son claves en el funcionamiento de una gran cantidad y variedad de equipos y sistemas en el presente y, mucho más aún, en el futuro cercano [1].

Este rápido crecimiento de las posibilidades de medición y actuación ha traído consigo nuevos conceptos como el "Internet de las cosas" y el "Big data." El Internet de las Cosas se refiere a todo lo que se puede monitorear y operar a través de Internet, mientras que el "Big data" remite a la existencia, manejo y aprovechamiento de grandes volúmenes de datos que pueden ser utilizados más allá de los sistemas de donde se obtienen los datos.

Las RIS pueden describirse como un conjunto de nodos que cooperan para medir y controlar un ambiente dado, permitiendo la interacción entre personas y/o máquinas y el contexto físico que los rodea. Estos sensores operan dentro de un campo de acción y capturan información que envían a través de otros nodos, que llevan los datos hasta un nodo de salida común, donde se envían por Internet o se envían al satélite que los hace llegar al administrador de los datos [1].

Un nodo en una RIS se compone de cuatro elementos: (a) el sensor, (b) el micro controlador, (c) un transmisor-receptor y (d) un módulo de potencia (que incluye su administración y que puede operar con energía solar, térmica y la de las vibraciones). El sensor es responsable de coleccionar y transformar las señales tales como luz, vibración o señales químicas en señales eléctricas que son transferidas al micro controlador que procesa los datos de acuerdo a su programación y que son, a su vez, transferidos por el transmisor hacia donde son almacenados y administrados y de donde, al final, se envía una señal al nodo para alguna acción [1].

#### **5. Las aplicaciones**

La generalización de los sistemas digitales y de la infraestructura para las telecomunicaciones digitales, junto con la presencia cada vez más ubicua de las RIS, está íntimamente ligada a los llamados sistemas inteligentes (que van desde edificios hasta redes eléctricas y ciudades completas), a la transportación autónoma (sin operador) y a los servicios médicos, donde el monitoreo continuo y a distancia de personas con problemas de salud puede implicar grandes cambios en los sistemas que las atienden.

##### **a. Sistemas de suministro eléctrico**

La medición es un proceso clave de los sistemas de energía eléctrica que permite, a las empresas prestadoras del servicio, cuantificar la cantidad de energía que se genera, transmite, distribuye y se factura. El proceso tradicional de medición es periódico y genera valores acumulados (mensuales o bimestrales) que únicamente muestran la cantidad de energía consumida, pero que no proporcionan información de la forma de uso de la misma, ni de los niveles de carga

en tiempo real de los consumidores, particularmente de los que consumen energía en baja tensión, ni permiten tener el control de los consumos ni acciones de reacción inmediata en presencia de eventos que perturban la operación de la red [2].

La infraestructura avanzada de medición (AMI, por sus siglas en inglés) es una aplicación de la electrónica digital asociada a las telecomunicaciones y una tecnología habilitadora que permite incrementar la eficiencia en el proceso de distribución de las empresas eléctricas e incluye el hardware, el software, las comunicaciones, los sistemas asociados con la distribución de energía, los asociados con el consumidor y el software de gestión de datos de medidores inteligentes. La infraestructura AMI permite la configuración de medidores inteligentes, manejo de tarifas dinámicas, monitoreo de calidad de la energía, control de carga y reducción de pérdidas [2].

La AMI tiene el potencial de transformar la forma en que los servicios públicos, los clientes y terceros administran la generación, entrega y uso de electricidad. Según los datos más recientes de la Administración de Información de Energía de los Estados Unidos, hay cerca de 58 millones de medidores avanzados residenciales instalados en los Estados Unidos, que representan más del 40% de todos los hogares y sigue en crecimiento [3].

Esta infraestructura permite analizar patrones de uso de clientes y desarrollar recomendaciones personalizadas en tarifas o sistemas de generación distribuida que producirán los mayores ahorros para las circunstancias de cada cliente. La funcionalidad asociada a estos sistemas también puede capacitar a los clientes para que tomen el control de sus facturas de energía mediante información oportuna e individualizada [3].

En México, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene planeada la instalación de más de dos millones de medidores tipo AMI para 2018 a fin de sustituir medidores electromecánicos en los estados de Querétaro, Guanajuato, Aguascalientes, Tabasco, Chiapas, Zacatecas, Hidalgo, Coahuila, Chihuahua, México y la Ciudad de México [4].

## **b. Industria**

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) ha publicado un reporte donde perfila las características más importantes de los procesos industriales del futuro. Para la IEC las “Fábricas del futuro” están diseñadas y organizadas para garantizar la disponibilidad de toda la información pertinente en tiempo real a través de la conectividad de todos los elementos que participan en la cadena de valor, así como por la capacidad de obtener el valor óptimo en los procesos a partir de los datos de un cliente individual. Mediante la interacción entre seres humanos, objetos y sistemas en una dinámica en tiempo real, se tendrá una cadena de valor optimizada y auto-organizada [5].

En esta perspectiva, se espera un crecimiento en el uso de RIS en la industria de más de 500% entre 2011 y 2016 para llegar a más de 24 millones de sensores/actuadores operando de manera inalámbrica en aplicaciones como la gestión de energía y de activos, que incluye el monitoreo en tiempo real de variables que permiten definir el estado de equipos y de los sistemas donde operan y, en su caso, actuar sobre los mismos [1].

## **c. Alumbrado público**

En el ámbito urbano, las RIS están transformando el uso de la infraestructura de postes de alumbrado público (y del propio servicio) y donde el creciente uso de luminarias de diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés) facilita la integración de RIS e, inclusive, permite nuevos usos de los postes, como son la propia optimización del alumbrado, la inclusión de sensores acústicos, monitoreo de la calidad del aire y, de manera inminente, el apoyo a la navegación de vehículos autónomos [6].

De acuerdo con un estudio llevado a cabo por la consultora Navigant, la integración de lámparas LED con controles de red e inteligentes pueden llevar a ahorros en la facturación eléctrica mayores al 50% respecto de lo instalado actualmente, aumentar la eficiencia y la funcionalidad de la iluminación, proporcionar una plataforma para futuras aplicaciones de ciudades inteligentes y convertirse en una fuente de nuevos ingresos para la ciudad [7].

#### **d. Edificios**

En la actualidad los edificios pueden contar con tecnología que permite controlar remotamente y en tiempo real a varios dispositivos automatizados, lo que permite a los operadores y a los ocupantes del edificio el operar y regular para tener confort, eficiencia energética y seguridad, principalmente.

Entre los sistemas que pueden ser medidos y controlados remotamente se incluyen:

- Control de clima
- Control de iluminación eléctrica
- Control de elevadores y puertas
- Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)
- Control de acceso
- Detección de humo y alarma de intrusión

#### **e. Transporte**

Las aplicaciones de la tecnología digital y del desarrollo de las comunicaciones que se le asocian en el transporte, son múltiples en variedad y alcance, ya que pueden ir integradas a los vehículos en lo individual, pero también mejorar la eficiencia del transporte público ofreciendo alternativas e información a usuarios en tiempo real, gestionar el tráfico a través de semaforización inteligente o sistemas automatizados de parquímetros, o bien, reducir los costos de logística de las empresas (de transporte de pasajeros y mercancías), entre otras estrategias.

### **6. Las preocupaciones asociadas al desarrollo de las Ciudades Inteligentes.**

Un aspecto clave en las Ciudades Inteligentes es el que involucra la integración de diversas plataformas de datos de actores y sectores diversos para generar un efecto sinérgico, es decir, la posibilidad de compartir datos de manera que se integren en aplicaciones orientadas a los ciudadanos a través de sus dispositivos digitales.

Estas posibilidades traen consigo preocupaciones relacionadas con la seguridad en el manejo de la información y el riesgo de que los sistemas sean operados por terceros con propósitos distintos a la adecuada operación de los sistemas.

Además de las anteriores, existen inquietudes alrededor de la gobernanza asociada a las Ciudades Inteligentes, lo cual incluye la capacidad de los gobiernos locales para identificar sus necesidades; la de tener capacidad técnica de interlocución ante proveedores de sistemas de alta complejidad tecnológica a la hora de diseñar, especificar y adquirir los equipos y sistemas asociados; el tener capacidad para operar adecuadamente los sistemas; y el trabajar de manera abierta y en cooperación con la gran variedad de actores relacionados con el adecuado diseño y operación de estos sistemas.

### **7. Sobre el valor de las normas internacionales.**

Dado el acelerado cambio tecnológico de los sistemas asociados a Ciudades Inteligentes es de gran importancia el que se haga uso de normas técnicas aceptadas por los principales actores internacionales, muy particularmente para que se pueda tener interoperabilidad entre dispositivos y marcas, lo que incluye una semántica compartida hasta arquitecturas de referencia comunes, utilizando una terminología bien definida que sea comprendida por todos los actores del mercado.

### **8. Conclusiones.**

Con el desarrollo de la electrónica y la digitalización, el registrar, almacenar y procesar los datos que vienen de mediciones de variables en todo tipo de equipos y sistemas se ha vuelto práctica común y creciente en volumen y complejidad, y hoy día sirve para operar todo tipo de equipos y sistemas, incrementando la automatización de procesos y haciendo más eficiente su operación.

Por lo mismo, el concepto de Ciudades Inteligentes viene de la evolución de tecnologías que se han agregado para convertirse en nuevos “eco sistemas” que integran a otros existentes.

Sin embargo, el aprovechar adecuadamente estos desarrollos tecnológicos trae consigo varios retos para la política pública de los tres niveles de gobierno y que incluyen:

- **Su complejidad.** Las Ciudades Inteligentes operan a partir de la suma de varios sistemas complejos (la electricidad, el transporte, los servicios urbanos, la seguridad).
- **Su carácter integral.** Es un asunto de varias agendas, que incluyen la de suministro de electricidad, las telecomunicaciones y el transporte y a los tres niveles de gobierno
- **Su alta velocidad de evolución.** Esto complica el darle seguimiento regulatorio, además de que puede generar rápida obsolescencia en sus soluciones y, también, hacer obsoletos sistemas tradicionales de servicios.
- **Las dificultades para valorar sus beneficios no cuantificables.** Esto afecta su adecuada valoración a la hora de tomar decisiones de inversión y puede obstaculizar el desarrollo de los mercados asociados de productos y sistemas.

En muchos sentidos y de maneras muy diversas, los desarrollos tecnológicos descritos arriba seguirán transformando el comportamiento de la economía y la sociedad. Sin embargo, es necesario que como sociedad regulemos la calidad y la eficiencia en el funcionamiento de estos sistemas, para lo cual es necesario que quienes son responsables de su aprovechamiento, diseño, instalación y/o regulación, tengan conocimientos e información actualizada, que permitan apoyar a la sociedad para obtener los beneficios que estos desarrollos prometen.

## Referencias

1. IEC, Internet of Things: Wireless Sensor Networks. , in White Paper2017, International Electrotechnical Commission. p. 78.
2. José M. Gómez L., et al., Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas, in Boletín IIE2015. p. 11.
3. UtilityDive. Advanced metering: Making the most of connectivity for a modern grid. 2017 [cited 2017 Septiembre]; Available from: <http://www.utilitydive.com/news/advanced-metering-making-the-most-of-connectivity-for-a-modern-grid/505283/>.
4. Financiero, E. CFE avanza en instalación de medidores. 2016 [cited 2017 Septiembre]; Available from: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/cfe-avanza-en-instalacion-de-medidores.html>.
5. IEC, Factory of the future, 2015, International Electrotechnical Commission. p. 51.
6. World., S.C. Smart pole lights the way. . [cited 2017 Septiembre]; Available from: <https://smartcitiesworld.net/energy/smart-pole-lights-the-way-2098>.
7. Richelle Elberg and E. Woods, Smart Street Lighting as a Smart City Platform. Applications and Connectivity Best Practices, 2017, Navigant. p. 32.