

► La evolución de las redes eléctricas inteligentes: presente y futuro

Las redes eléctricas inteligentes (REI) han pasado de ser un tópico futurista a convertirse en una realidad tangible, al menos en los países más desarrollados. El concepto de las REI se puede resumir, según la definición de la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA, 2013), como la conjunción de la red eléctrica tradicional con tecnologías modernas de la información y comunicaciones. Otros organismos, como el Departamento de Energía estadounidense, tienen una visión más amplia de las REI, ya que incluyen bajo esta definición a los sistemas de generación distribuida y a las microrredes. Pero independientemente de la definición, que puede tener sutiles diferencias de interpretación según el enfoque adoptado, aún hay que recorrer un gran trecho para lograr que el grado de inteligencia de la red eléctrica sea significativo. Al día de hoy, las millonarias inversiones realizadas en los países más desarrollados están enfocadas en la automatización en la distribución, la lectura remota de los medidores de energía y la implantación de generadores de energía basados en fuentes renovables. Sin embargo, aún no se ha avanzado lo suficiente en las cuestiones relativas al manejo dinámico, e inteligente, de la demanda, o el almacenamiento de energía en grandes cantidades y por periodos prolongados de tiempo. En el caso de los países en vías de desarrollo y, en particular, de Latinoamérica, el panorama de las REI está más rezagado, pero hay una tendencia positiva a fomentar la implementación de proyectos afines a esta temática.

Para poder entender el panorama actual y el escenario de los próximos años es necesario, en primer lugar, describir la idea de una REI a través del desarrollo de un modelo conceptual.

Un modelo conceptual para las REI

El Instituto Nacional de Normas y Tecnología (*'National Institute of Standards and Technology', NIST*) de Estados Unidos ha promovido un esquema conceptual para las REI que sirve de base para su caracterización, uso, comportamiento, requerimientos y estándares (figura 1). Se trata de un esquema conceptual de alto nivel que define a las REI como un conjunto de sistemas (denominados "dominios") relacionados por flujos de energía e información bidireccionales. No se trata de un diagrama de diseño que defina una solución y su implementación, sino que define actores y medios de comunicación para identificar potenciales relaciones inter- e intradominios, así como las aplicaciones y capacidades de esas interacciones. En otras palabras, se trata de un modelo descriptivo pero no prescriptivo. Los dominios identificados en este modelo son:

- » Usuarios: bajo esta denominación se engloba a todos los usuarios finales de la energía eléctrica, tradicionalmente clasificados como residenciales, comerciales e industriales. Pueden generar, almacenar y gestionar el uso de la energía.

- » Distribución: en esta clasificación se hallan las empresas distribuidoras. En el marco de las REI su función es distribuir el flujo de energía hacia o desde los clientes, así como almacenar y generar electricidad.
- » Transmisión: aquí se agrupan las empresas encargadas de transportar la energía en grandes volúmenes y distancias, desde los puntos de generación intensiva de energía hasta los grandes centros de consumo. También, en el marco de las REI, pueden almacenar y/o generar energía.
- » Generación: en este grupo se encuentran los generadores de energía eléctrica en grandes volúmenes: represas hidroeléctricas, centrales térmicas, nucleares, grandes parques eólicos, etc. También a este nivel se espera que se pueda almacenar energía para su posterior consumo.
- » Operaciones: son los gestores o administradores del despacho de energía. Su función es garantizar el adecuado funcionamiento de la red. Tienen funciones de planificación de la operación, evaluación de las contingencias, restauración del servicio, medición de los consumos, etc.

- » Mercados: los operadores y participantes del mercado eléctrico, donde se establecen los precios de la energía y las operaciones de compra y venta.
- » Proveedores: son las organizaciones proveedoras de servicios a los clientes del servicio eléctrico y las empresas proveedoras de electricidad.

La hoja de ruta de las REI

Convertir la red eléctrica actual en una verdadera REI es una tarea que demandará mucho tiempo e inversiones. Además, implica una variedad de acciones a realizar que deben ser ordenadas según una secuencia lógica. En forma cualitativa se puede visualizar este proceso mediante una hoja de ruta genérica que segmenta la implantación de una verdadera REI en cinco conjuntos de acciones (figura 2), que se describen a continuación.

Automatización de la red: el primer paso para implantar una REI es adecuar el sistema eléctrico actual para hacer frente a las exigencias futuras. Para ello es necesario automatizar todas las subestaciones de distribución y

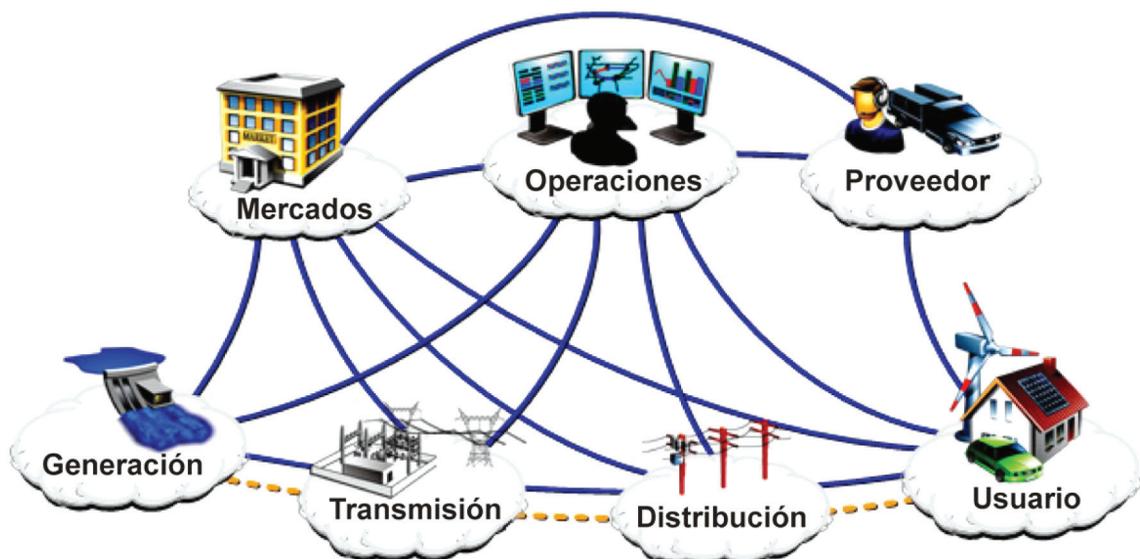


Figura 1. Modelo conceptual de una REI según el Instituto Nacional de Normas y Tecnología de Estados Unidos. Nótese que, además del vínculo eléctrico entre los dominios típicos de la red eléctrica (generación, transmisión, distribución, consumidor), existen numerosos vínculos cruzados (azul) que señalan las comunicaciones entre un área y otra. En este caso se plantea una bidireccionalidad total entre todos los sectores

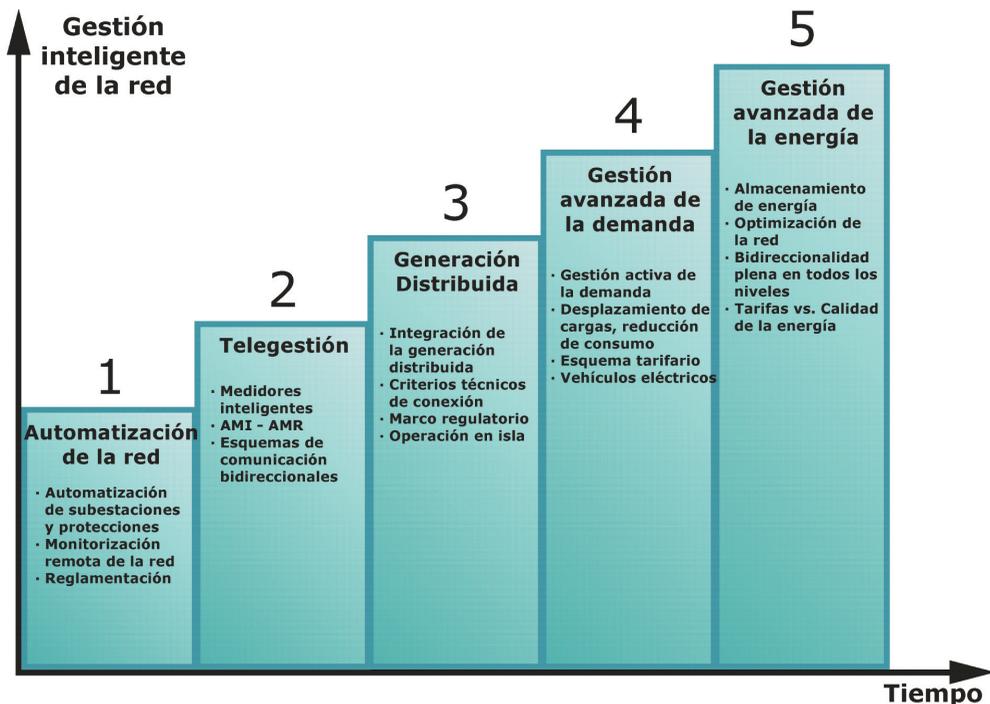


Figura 2. Hoja de ruta para la implantación de una REI

las protecciones, tanto en baja como en media tensión, incluyendo la implementación de esquemas de monitorización a distancia. Adicionalmente, es necesario adecuar las regulaciones del sector eléctrico para preparar el terreno para las siguientes etapas.

Telegestión: este es uno de los aspectos que tiene más impacto visible para el usuario y el sistema en general, y a su vez, el que incorrectamente se asocia con el concepto de REI en sí mismo. Básicamente, se trata de la implantación masiva de medidores inteligentes (MI) que permitan no solo la lectura remota de los consumos, sino que también proporcionen al usuario una información en tiempo real sobre su propio consumo. Si bien esta es una de las acciones "bisagra" en el camino a la implementación de una REI, ya que establece una comunicación bidireccional entre proveedor y usuario, y proporciona información en tiempo real, no provee ningún tipo de inteligencia al sistema eléctrico. Es un paso fundamental para las siguientes etapas, donde esa información de consumo en tiempo real va a servir para adecuar tarifas, políticas de consumo y gestión del flujo de energía. En esta etapa, también se puede incluir la instalación masiva de

medidores sincrofasoriales (*Phasor Measurement Units*, *PMU*) en las redes de media y alta tensión, a fin de prevenir situaciones anómalas o colapsos.

Generación distribuida: la incorporación de una gran cantidad de pequeños generadores, principalmente en la red de baja tensión y basados en fuentes de energía renovables (eólica y fotovoltaica), permitirá ampliar la matriz energética y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, existen importantes escollos técnicos y regulatorios que es necesario superar para avanzar en este sentido. Por esta razón, la implantación efectiva de sistemas de generación distribuida a nivel usuario se hará realidad en la medida en que las regulaciones se adecuen para permitir al usuario comprar y vender energía en el mercado eléctrico, y que el sistema de distribución en baja tensión se adecue al nuevo esquema, por ejemplo, modificando todo lo relativo a la coordinación de protecciones, entre otros temas. Esta etapa puede intercambiarse con la segunda, o ejecutarse en paralelo, tal como ocurre en muchos de los proyectos piloto que se desarrollan en el mundo.

Gestión avanzada de la demanda: llegados a este punto, la red eléctrica debería estar fuertemente

automatizada, con comunicación bidireccional entre proveedores y usuarios y con sistemas de generación de energía de baja potencia inyectando en la red de baja tensión. El siguiente paso es actuar sobre la demanda a través del concepto de la gestión activa de la demanda, que incluye acciones como desplazamientos de consumos horarios, reducción de consumo, implantación de tarifas dinámicas, con actualización por horas o bandas horarias, etc. En esta cuestión, también entran en juego los vehículos eléctricos, que a esta altura deberían ser un porcentaje no despreciable del parque automotor. Los vehículos eléctricos impactan en las REI en dos cuestiones fundamentales. Por un lado, la movilidad de las cargas, y por otro, su capacidad de almacenamiento de energía. La movilidad de los vehículos hace que el consumo se desplace en forma estacional entre distintos puntos de la red eléctrica (por ejemplo, durante las vacaciones y fuera de ellas), sobrecargando secciones de la red en esos desplazamientos. Su capacidad de almacenamiento de energía tiene interés desde el punto de vista de la gestión activa de la demanda, ya que permite almacenar energía en horarios donde el consumo es menor a la generación (bandas horarias denominadas “valle”) y entregarla en horas pico.

Gestión avanzada de la energía: el último paso de la hoja de ruta es la red eléctrica con un manejo avanzado de la energía. Aquí entran en juego cuestiones como el almacenamiento de energía en grandes volúmenes y largos periodos de tiempo, la bidireccionalidad plena de energía en todos los niveles de tensión y la implementación de esquemas tarifarios no solo dinámicos, sino que estén vinculados a la calidad de la energía consumida. Si bien en todos estos aspectos entran en juego cuestiones tecnológicas, el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía es uno de los más demandantes en este sentido. La cuestión de los esquemas tarifarios dinámicos que también contemplen la calidad de la energía provista es algo que tiene una vinculación directa con los medidores inteligentes y con la medición de calidad de la energía. Teniendo en cuenta la existencia de medidores inteligentes y de dispositivos de medición de calidad de la energía, no sería extraño que este ítem en particular pueda ponerse en práctica mucho antes, integrado en la etapa de gestión activa de la demanda.

Evolución de las REI en el mundo

La evolución de las REI es dispar. Los países más desarrollados han realizado grandes avances, mientras que



Figura 3. Programa de inversiones en las REI de Estados Unidos en el decenio 2008-2017

en el resto del mundo se están dando tibios, pero concretos, pasos en el sentido de las primeras etapas de la hoja de ruta. Entre los países más avanzados se destacan Estados Unidos y los de la Unión Europea. Tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos se ha hecho una gran inversión en las REI. La mayor parte del esfuerzo, tanto económico como de desarrollo, se ha realizado en las primeras tres etapas de la hoja de ruta mencionada en la sección anterior. Por ejemplo, la Unión Europea se propuso el reemplazo masivo del 80% de los medidores de energía eléctrica para el año 2020. Según un reporte de la Comisión Europea del año 2014, esto significa cerca de 200 millones de medidores inteligentes (MI) de energía eléctrica y otros 45 millones para gas, con un costo promedio de 200-250 euros cada uno y una inversión potencial de 45.000 millones de euros. Por su parte, en Estados Unidos la inversión en REI desde 2008 a 2017 alcanzará los 30 mil millones de dólares. La mitad de esa inversión está destinada a la instalación de medidores inteligentes, mientras que la otra mitad está orientada a la automatización de la red de distribución. Se han destinado casi tres mil millones al desarrollo de proyectos avanzados de REI (figura 3).

Existen otros ejemplos exitosos y avanzados en la implementación de las REI, como los que se llevan a

cabo en Japón, Canadá, Australia y China. En el otro extremo se hallan el resto de los países asiáticos, África y Latinoamérica. En particular, en la región latinoamericana hay algunos pequeños avances e iniciativas en el sentido de sistemas de medición inteligente y generación distribuida. Se pueden mencionar, a modo de ejemplo, algunas iniciativas en marcha en Argentina y Brasil, tales como:

- » Proyectos piloto de REI en Armstrong, Centenario, General San Martín y Salta (Argentina)
- » Instalación masiva de medidores inteligentes en Brasil, que podría llegar hasta 27 millones de unidades para el año 2030
- » Sistemas de monitoreo basados en PMU (Brasil y Argentina)
- » Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica en Argentina (reglamentada el 31 de marzo de este año)
- » Instalación de sistemas de generación basados en energías renovables, con los que se cubre un porcentaje cada vez mayor de la demanda de energía (en la tabla 1, se puede ver el caso particular de Argentina según la información proporcionada por CAMMESA)

Fuente de energía	2011	2012	2013	2014	2015	Total GWh	Total MW medio
Biodiésel	32	170	2	2	0	206	4,7
Biomasa	98	127	134	114	155	626,9	14,3
Eólica	16	348	447	613	593	2.017,5	46
Hidroeléctrica (menor a 50 MW)	1.350	1.566	1.376	1.543	1.713	7.548,4	172,2
Solar	2	8	15	16	15	55,3	1,3
Biogás	0	36	108	103	84	330,8	7,5
Total	1498,2	2.255,2	2.082,9	2.390	2.559,1	10.785,4	246,1
Demanda MEM	116.349	121.293	125.166	126.397	131.995	621.201	28.350
Porcentaje de demanda cubierto con energía renovable	1,3	1,9	1,7	1,9	1,9	1,7	1,7

Tabla 1. Evolución de la demanda del mercado eléctrico mayorista argentino (MEM) cubierta por fuentes de energía renovables (CAMMESA, 2015)

La evolución de las REI en el curso de la próxima década

Está claro que en el curso de la próxima década se completará y consolidará definitivamente la primera parte de la hoja de ruta (etapas 1, 2 y 3), al menos en los países más desarrollados. El desafío estará en la gestión activa de la demanda, el almacenamiento de energía, la bidireccionalidad plena de la energía, los esquemas tarifarios dinámicos y la calidad de la energía suministrada o consumida. En la región latinoamericana, la prioridad es avanzar con la implementación de sistemas de medición inteligente, a través de diferentes proyectos pilotos, y posteriormente a través de planes de instalación masivos. En este sentido, algunas consultoras hablan de que se invertirán en la región unos 38 mil millones de dólares en el período 2015-2025, de los cuales 22 mil estarán destinados solo a infraestructura de medición inteligente.

Por otro lado, también es necesario avanzar en la generación de energía a partir de fuentes renovables, pero sin limitarse a los grandes parques eólicos o solares, sino haciendo hincapié en pequeños generadores de uso urbano/suburbano por parte de los consumidores finales. Para ello, es necesario adecuar las reglamentaciones nacionales y, en lo posible, armonizarlas entre los países de la región para aunar esfuerzos en la misma dirección. En ese sentido, la reciente reglamentación en Argentina de la Ley 27.191 sobre el régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica es un indicador muy positivo. Otra de las reglamentaciones de interés para el desarrollo de una REI con bidireccionalidad plena de energía es la cuestión de la inyección de energía a la red por parte de usuarios particulares. La Argentina aún no cuenta con una ley nacional que contemple esta situación, pero algunas provincias están realizando avances concretos en el tema. Por ejemplo, Chubut sancionó una ley en 2013 que contempla un sistema de créditos sobre lo consumido por 36 meses (esquema similar al existente en Brasil), Salta sancionó en 2014 una ley denominada "de balance neto" para generadores residenciales,

industriales y/o productivos, y en Santa Fe existen antecedentes de sistemas de medición neta aislados. Incluso la provincia de Buenos Aires está tratando de avanzar en este aspecto, con un proyecto de ley propio sobre balance neto.

Conclusiones

El paradigma de las REI se ha puesto en marcha en el curso de la última década y su evolución se ha acelerado notoriamente. En la región latinoamericana, y en particular en Argentina, es necesario avanzar simultáneamente con varios frentes para no perder el tren de las REI. Los pasos inmediatos son la instalación, gradual al principio, masiva después, de medidores inteligentes, que permitan una mayor participación del usuario en el mercado eléctrico, a través de una gestión más eficiente de su propio consumo y de la futura implementación de esquemas tarifarios variables. El otro frente es la incorporación de más sistemas de generación de energía basados en fuentes renovables. Ambos aspectos deberán estar acompañados de cambios reglamentarios, algunos de los cuales ya están en marcha, como el régimen de fomento para el uso de fuentes renovables de energía y las leyes de balance neto de algunas provincias. El avance sobre estos aspectos no solo traerá beneficios desde el punto de vista energético y económico, sino que tendrá implicancias productivas y sociales, ya que se van a generar oportunidades de desarrollo de equipamientos y servicios que tendrán impacto en todo el país. ■

Referencias

Nota del editor: la nota técnica aquí publicada está respaldada por una extensa bibliografía cuyas referencias no se publican por normas editoriales. Por consultas de esta índole, o cualquier otra acerca de la temática tratada, consultar al autor.

**Por Patricio Donato - Investigador Adjunto CONICET
Laboratorio de Instrumentación y Control
Fac. Ingeniería - Universidad Nacional de Mar del Plata
donatopg@fi.mdp.edu.ar**