

# Desafíos para la energía eléctrica

## PATRICIA LILIANA ARNERA

Ingeniera Electricista, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Prosecretaria de Vinculación y Transferencia, UNLP. Directora del Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos, Laboratorio de Alta Tensión (IITREE-LAT), Instituto de Investigación y Desarrollo, Facultad de Ingeniería (FI), UNLP. Consejera directiva, FI, UNLP. Profesora en el Área Sistemas de Suministro de Energía Eléctrica en materias de las carreras de Ingeniería Electricista e Ingeniería Electromecánica. Profesora de cursos de posgrado para las carreras de maestrías y doctorado, FI, UNLP. Miembro de la Academia de Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires (desde 2004). Miembro de la Academia Nacional de Ingeniería (desde 2009). Fue prosecretaria de Políticas en Ciencia y Técnica (2004-2007), UNLP.

En los próximos años se vislumbran importantes cambios en el sector eléctrico, en vistas a las nuevas características de consumo y generación, originadas por restricciones a la utilización de hidrocarburos, ya sea por falta de disponibilidad de este recurso como por restricciones vinculadas a los efectos asociados al cambio climático.

Frente a la sensibilización del público sobre el medio ambiente y las restricciones a la posibilidad de utilización de hidrocarburos como fuentes primarias de energía, se están planteando nuevos desafíos y factores de cambio para el sector eléctrico, desde modificaciones en el tipo y características del consumo, como de la disponibilidad de fuentes de generación y los valores de los módulos que se presenten. Así es que pequeños módulos de generación podrán estar incorporados en las redes de media o baja tensión, haciendo que se modifique drásticamente la actual estructura del sistema.

Respecto a la demanda, se prevé que los cambios en los tipos y características del consumo, hará que los usuarios desempeñen un rol protagónico planteando lo que se considera como “gestión de la demanda.

Para estas nuevas exigencias, se han propuesto líneas estratégicas a desarrollar como son: análisis de los futuros sistemas eléctricos; mejor uso de los sistemas de potencia existentes; contemplar el medio ambiente y sustentabilidad; mejorar la comunicación para el público y los responsables de decisiones.

## LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Las fuentes de energía primaria, permiten ser utilizadas directamente, para generar calor, vapor, iluminación y/o producir energía mecánica, como tales citamos a los combustibles fósiles, la energía nuclear, contemplando también las energías renovables como hidráulica, solar, eólica, mareomotriz, etcétera. Las fuentes secundarias de energía, en general no se encuentran en la naturaleza y se obtienen a partir de fuentes primarias, actúan de intermediarias transportando la energía al punto de consumo o bien sirven para almacenar energías primarias. Actualmente podemos considerar como energías secundarias, a la electricidad y el hidrógeno.

Resulta significativo destacar que no se puede realizar un uso directo de la energía eléctrica, sino que la misma es un vector que permite el transporte y distribución de energía, con el objeto de satisfacer los requerimientos de los usuarios en la oportunidad y cantidad que estos la requieran, permitiendo ser nuevamente transformada en otras formas de energía (luz, calor, mecánica, etcétera).

Partiendo de dichos conceptos, los objetivos que se deben considerar en el suministro de energía eléctrica son: a) debe estar disponible en forma permanente y absoluta, para cada usuario en la cantidad requerida, esta disponibilidad debe ser permanente y absoluta; b) el suministro debe cumplir normas de calidad, las cuales se evalúan a través de las magnitudes físicas que deben ser prácticamente constantes (tensión, frecuencia, forma de onda sin perturbaciones, etcétera) y c) fundamentalmente el suministro debe realizarse de manera económica y eficiente, respetando el medio natural y social.

Los objetivos enunciados anteriormente, se sintetizan con las siguientes características: a) confiabilidad, b) calidad y c) economía, palabras vigentes en todas las actividades de la ingeniería.

Si analizamos la forma en que se han desarrollado los sistemas eléctricos, veríamos que su estructura es bastante jerárquica, encontrándose conformada por generación, transporte y distribución.

La generación está constituida por centrales de tipo hidráulica, nuclear, térmica donde las principales fuentes son los hidrocarburos, o bien energías no convencionales como son los recursos eólico, solar, biomasa, etcétera.

El sistema de transporte y distribución está constituido principalmente por líneas, cables, estaciones transformadoras, en diversos niveles de tensión, elementos de control, sistemas de compensación, etcétera. Finalmente se encuentra el usuario quien utilizará la energía eléctrica transformándola en otra forma de energía.

El principal uso que se le da a este tipo de energía es a instancias de la tecnología como uno de sus pilares fundamentales, teniendo para el ser humano, salvo en aplicaciones muy complejas y singulares, una utilidad directa. Las variaciones en el consumo de electricidad se las relaciona en forma directa a las fluctuaciones en el crecimiento de la población y principalmente a los índices de producción del país.

## CARACTERÍSTICAS DE GENERACIÓN Y CONSUMO EN ARGENTINA

El sistema de transmisión de energía eléctrica en alta tensión de Argentina, posee un diseño similar al del sistema de transporte ferroviario, prevaleciendo una estructura principalmente radial que confluye al área de Gran Buenos Aires, desde regiones distantes del país (NOA, Comahue, NEA, Cuyo, Patagonia, etcétera).

Los datos suministrados por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA<sup>1</sup>), indican que considerando diciembre de 2010, el consumo anual de energía ha sido 110775 GWh, teniendo una potencia instalada de 28665 MW. El consumo de las áreas de Gran Buenos Aires, Litoral y Provincia de Buenos Aires (GBA-LIT-BAS), representan el 64% del consumo del total del país, mientras que en las mismas se encuentra instalado el 44% del total del parque generador, lo cual demuestra que estas áreas son deficitarias en el abastecimiento propio requiriendo para ello el aporte de energía desde otras áreas. Por otra parte, la región que se presenta principalmente como exportadora es el COMAHUE, que posee un 21% de la potencia instalada, mientras que su consumo es del 4% de la energía total.

La distribución de generación y demanda en regiones geográficas, demuestra una alta concentración de demanda en el área de Gran Buenos Aires y el Litoral, haciendo que el sistema de transporte resulte limitado en la posibilidad de garantizar el suministro con los niveles de calidad, confiabilidad y optimización de recursos como se espera de los sistemas eléctricos.

---

<sup>1</sup> CAMMESA (2011). *Datos relevantes del Mercado Eléctrico Mayorista*. Consultado el 27 de abril de 2011 en <portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>.

Por otra parte, en los últimos años se ha incrementado la generación del tipo térmica convencional, con dependencia de los hidrocarburos. En el año 2006 se interconecta el sistema patagónico al resto del sistema argentino. En dicho año la potencia instalada era de 24350 MW, constituida por 41% hidráulico, 4% nuclear y 55% térmico convencional (19% turbo vapor, 9% turbo gas y 27% ciclos combinados). En el año 2010, la potencia instalada es 28665 MW, constituida por 37% hidráulico, 4% nuclear y 59% térmico convencional (16% turbo vapor, 12% turbo gas, 29% ciclos combinados y 2% unidades diesel).

A fin de realizar una comparación de la evolución del consumo y la oferta de generación, se consideran los datos de potencia máxima consumida y potencia instalada para los años 2006 y 2010, correspondiendo 16718 MW y 20843 MW como valores de potencia máxima consumida, mientras que las potencias instaladas fueron 24350 MW y 28665 MW, respectivamente. Para dichos valores se determinan las tasas medias de crecimiento anual, lo cual implica para el período de cuatro años que la tasa de crecimiento anual de la potencia consumida ha sido de 5,66%, mientras que para el mismo período la potencia instalada se ha incrementado con una tasa anual del 4%, evidenciando un retraso en el seguimiento del crecimiento que ha tenido la demanda.

Con el mero objetivo de visualizar lo que estamos diciendo, planteamos un sencillo ejercicio de considerar al mediano plazo, que la tasa media de crecimiento de la demanda es del 5% y se plantea determinar la generación necesaria a futuro, contemplando que la relación entre potencia instalada y máxima potencia consumida, mantenga la misma relación que la existente en el año 2010.

Bajo dichas premisas, en el año 2015 sería necesario incorporar generación del orden de 7900 MW, mientras que para el año 2020, el incremento de generación debería ser del orden de 18000 MW. Se debe destacar que resultan muy importantes los módulos de generación a instalar en pocos años. Por otra parte no se ha considerado que parte del parque generador actual pueda ser retirado del servicio por obsoleto, lo cual implicaría mayor generación a incorporar.

Los módulos de generación que se requieren a futuro implican un serio desafío para evaluar el tipo de generación que se debe instalar, contemplando que la mayor área deficitaria es principalmente la del Gran Buenos Aires, la cual se encuentra alejada geográficamente de posibles recursos energéticos existentes en el país.

Sin embargo, sobre otro elemento en el que se puede trabajar para que resulten más razonables los emprendimientos a ejecutar, es operar sobre la propia demanda.

A lo largo del día, el consumo resulta variable, de acuerdo a las características propias del tipo de carga que se posea. En el caso de consumos residenciales la variación entre la demanda de la madrugada que constituye un valle y la demanda máxima del día, que ocurre en horarios vespertinos, puede ser en una relación de 1 a 2. En demandas del tipo industrial las variaciones no resultan tan importantes.

De considerar un esquema de carga medio, se encontrarían diferencias horarias en el consumo, reconociendo en la curva de demanda un valle y una punta bien diferenciados.

Si se pretende tratar de controlar la tasa de crecimiento de la demanda, se debería actuar contemplando el ahorro de energía, así como la optimización de equipos y procesos, de manera de hacerlos más eficientes, esto permitiría la disminución total de la curva de demanda.

Otra forma de actuar sobre la curva de demanda es desplazar consumos del horario de la punta hacia el valle, lo cual se logra con una discriminación tarifaria horaria, que penalice los consumos en el pico de carga. Esta debe ser reconocida y aceptada por los usuarios, debiendo ser significativa para ellos de modo que modifiquen sus hábitos de consumo. En este caso no se modifica la energía consumida, sino que se disminuye el valor máximo de la potencia demandada.

A su vez se puede disminuir la relación valle/punta, realizando consumos específicamente en los horarios de valle. Esto ocurre actualmente con las centrales del tipo de bombeo, en las cuales en este horario se transforman en demanda para luego generar en el horario de punta. En estos horarios es en los cuales deberían conectarse las futuras tecnologías de almacenamiento, o bien los vehículos eléctricos.

Finalmente otra acción a contemplar es la reducción de la punta, contemplando cargas interrumpibles e implementando lo que se considera como gestión automática de carga.

## **DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN EN ALTA TENSIÓN**

El sistema de transmisión en alta tensión, ha funcionado en forma radial durante casi cuarenta años, si bien se encuentran en construcción nuevas líneas en 500 kV que tienden a formar una malla (líneas Comahue-Cuyo y NOA-NEA), la red que se conforma es débil.

El desarrollo de la infraestructura de nuestra red ha sufrido serios retrasos, lo cual ha llevado a que el sistema de transporte se encuentre muy exigido ya que existen corredores saturados. Se han presentado problemas para mantener el nivel de tensión en valores admisibles, además de la falta de capacidad de transformación en varias regiones. Bajo estas circunstancias, la operación de la red se torna compleja. Se requiere realizar adaptaciones a la misma, para lo cual se ha recurrido al uso de automatismos, que permiten la conexión/desconexión de equipos de compensación de reactivo o bien el corte de generación y/o de demanda.

La implementación de automatismos permite ampliar la transmisión con inversiones menores, pero la complejidad que estos introducen en la operación hace que disminuya la confiabilidad del sistema e incrementa la potencia cortada ante falla en los equipos existentes. Bajo dichas condiciones se objeta fuertemente el nivel de confiabilidad con el que opera el sistema.

Para revertir la situación planteada se requiere la incorporación de obras de ampliación del sistema para transformarlo con la robustez que el mismo amerita. Las obras a realizar implican la construcción de líneas e incorporación de nuevos transformadores.

Para los niveles de transmisión que se están analizando, considerando la existencia de fuentes de energía primaria que deberán abastecer demandas lejanas en forma puntual, deberán incorporarse otras tecnologías en lo que se refiere a la generación de energía eléctrica, a la transmisión de la misma y al control del crecimiento de la demanda de energía.

Por otra parte, las últimas centrales que se han incorporado a la red dependen de la disponibilidad de combustibles fósiles, mientras que los futuros proyectos de generación contemplando recursos renovables se encuentran muy distantes de la demanda, lo cual introduce un gran desafío al sistema de transmisión, debiendo evaluarse la incorporación de vínculos en corriente continua, los cuales a su vez introducen ciertos beneficios para las condiciones de control en los sistemas eléctricos.

Una importante discusión deberá plantearse, a fin de comenzar a considerar en el mediano y largo plazo la incorporación de grandes aprovechamientos hidráulicos e incrementar la generación nuclear. Por otro lado resulta una incógnita importante evaluar si la demanda continuará con las actuales características.

## FACTORES DE CAMBIO PARA EL SECTOR

Debido a su facilidad de uso y bajo impacto del medio ambiente, en el punto de uso final, el consumo eléctrico está creciendo constantemente.

Este crecimiento se produce a nivel mundial con características que dependen de la región y del desarrollo de la sociedad a la cual se abastece, por lo cual se observa un crecimiento con diferentes ritmos.

Por un lado se debe prestar especial atención a que, en numerosos países, aún hay dos millones de personas que no tienen acceso a la electricidad, esto requiere acciones inmediatas para lo cual resulta necesaria la adopción de respuestas técnicas específicas, como por ejemplo la utilización de generación distribuida del tipo fotovoltaica, biomasa o bien pequeños aerogeneradores.

Por otra parte, en otros países en desarrollo con altos estándares de confort, se observa la utilización de la electricidad en nuevas aplicaciones, o bien el reemplazo de otras formas de energía por electricidad, resultando en un consumo cada vez mayor. Se vislumbran en los hogares nuevos consumos ya sean por nuevos electrodomésticos, como por la inserción del transporte eléctrico (conexión de vehículos eléctricos para su carga), con gran tendencia a la incorporación de otros servicios basados en tecnología de la información.<sup>2</sup>

Resultarán más exigentes los requerimientos del suministro, exigiendo mayores estándares en calidad, confiabilidad y economía.

Es un hecho indiscutible que con estos nuevos usuarios, veremos un significativo desarrollo y cambio en el consumo de electricidad, evidenciando estas modificaciones en el volumen, en la naturaleza y en el espacio físico que debe ser abastecido.

Como contrapartida a este crecimiento de la demanda, un problema que resulta importante es la aceptación pública de la infraestructura que requiere el sistema eléctrico, especialmente para las nuevas obras. La escasez de espacio disponible para nuevas infraestructuras en lugares de alta concentración de población, los problemas de ocupación e impacto visual que generan estas obras, la preocupación de la población por el hi-

---

<sup>2</sup> Ungar, E. y Fell, K. (2010). "Plug In, Turn On, and Load Up". *IEEE Power & Energy Magazine*, (pp. 30-35), 8(2).



potético efecto de campos magnéticos en la salud, la existencia de perturbaciones eléctricas, ruido, etcétera, generalmente originan en la población el rechazo y oposición a la realización de nuevas obras, las que resultan fundamentales para poder brindar el servicio eléctrico.

Se vislumbra para el mediano y largo plazo que la electricidad es la forma preferida de energía para abastecer los requisitos de la sociedad moderna.

Sin embargo, los principales puntos adversos que se han planteado para este tipo de insumo es la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles, a los que se asocia un impacto importante sobre el calentamiento global por la emisión de carbono y, al mismo tiempo, el rechazo al desarrollo de la infraestructura de transmisión, distribución y generación (particularmente las centrales nuevas que no contemplan fuentes primarias renovables). En consecuencia, los retos para el sector son sustanciales.

Con el fin de satisfacer las demandas de los consumidores, se debe contemplar todo tipo de recurso para la generación de energía eléctrica, en particular las fuentes de energía renovables, como por ejemplo, la energía solar y eólica, las que tendrán que estar totalmente desplegadas e integradas en la alimentación del sistema. Por otra parte, este tipo de energía se caracteriza por la falta de flexibilidad para su despacho y ante la intermitencia del recurso primario, surge la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías para prever el almacenamiento de energía.

La eficiencia energética tendrá que ser mejorada en cada nivel, lo que implica reformas en la generación, transmisión, distribución y consumo de electricidad. Se han incorporado nuevas y estrictas normas ambientales que rigen de manera significativa el desarrollo futuro del sistema.

Otros aspectos son el desarrollo del mercado energético considerando las transacciones de venta al por mayor y al por menor, requiriendo la compatibilización de normativa entre países, considerando aspectos técnicos, económicos, regulatorios y ambientales, a fin de optimizar recursos e intercambios regionales.

En consecuencia, el sistema de energía eléctrica del futuro será diferente.

### **Líneas estratégicas**

CIGRÉ “Conseil International des Grands Réseaux Électriques” es una sociedad internacional permanente no gubernamental creada en 1921, sin fines de lucro, con sede central en París, reconocida mundialmente como una organización líder en sistemas eléctricos de potencia, que cubre aspectos técnicos, económicos, de medio ambiente, de organización y regulatorios.

CIGRÉ tiene comités nacionales que la representan en 57 países, y posee 16 comités de estudios (CE) en los que participan especialistas afines a la temática que se evalúan en cada uno de ellos. Su objetivo es el desarrollo y difusión del conocimiento técnico en las áreas de generación y transmisión de energía eléctrica en alta tensión y en algunos aspectos de distribución, que hacen al funcionamiento del sistema. Trata todos los temas de principal interés en el campo de electricidad, como por ejemplo, organización de empresas de servicios públicos, desarrollo y adecuación de redes, optimización de mantenimiento, expectativa de vida útil de equipamiento, impacto en el medio ambiente, etcétera.

Ante los nuevos cambios que se avizoran en el sector eléctrico, CIGRÉ ha definido cuatro líneas estratégicas a desarrollar para el período 2010-2020, las cuales se encuentran íntimamente vinculadas entre sí.<sup>3</sup> Ellas son:

- a) los sistemas de energía eléctrica del futuro.
- b) Mejor uso de los sistemas de potencia existentes.
- c) Enfoque sobre el medio ambiente y sustentabilidad.
- d) Comunicación para el público y los responsables de decisiones.

Desarrollaremos estas líneas estratégicas:

a) *Los sistemas de energía eléctrica del futuro*

Considerando los escenarios, visiones y tendencias presentadas por los diversos órganos científicos y técnicos sobre el tema de los sistemas eléctricos en el futuro, básicamente se pueden señalar dos áreas clave para el desarrollo de las redes:

- Los sitios donde se ubican fuentes renovables de generación de energía a granel, como la eólica y la solar o bien recursos hidráulicos de gran porte, suelen encontrarse muy alejados de las ubicaciones de los centros de carga. En nuestro país los recursos hidráulicos (Comahue-cuenca del río Limay, Yacyretá-río Paraná, Salto Grande-río Uruguay, sur patagónico, etcétera) y eólicos (patagonia) se encuentran a miles de kilómetros del centro de carga de Gran Buenos Aires. Con el fin de aprovechar estos recursos “verdes”, es decir, no perder esa energía renovable, se requiere el transporte de energía a granel a grandes distancias (ya sea por tierra, o bien submarino), pudiendo ser estos vínculos en corriente alterna o bien corriente continua. En todos los casos la variabilidad temporal y estacional del recurso, es un factor significativo, exigiendo fuertes interconexiones entre los sistemas para que se operen en forma segura.

- Por otra parte, los actuales sistemas de energía eléctrica no se encuentran bien equipados para enfrentar al creciente número de pequeños generadores que se vinculan a la red. Con el uso creciente de estos recursos distribuidos, la interacción entre la carga y el sistema de suministro se hace cada vez más complejo. Será necesario en un futuro a mediano y largo plazo nuevas arquitecturas para el sistema: sistemas inteligentes en media y baja tensión (microrredes, celdas de combustible); sistemas de almacenamiento de energía de acción rápida; garantizar el acceso a la electricidad a toda la población; ampliación del uso de sensores con capacidad de cómputo, medición y control.

b) *Mejor uso de los sistemas de potencia existentes*

---

<sup>3</sup>Fröhlich, K. (2010). “Technical activities strategic Directions 2010-2020”. *ELECTRA*, (pp. 6-12), 249.



Paralelamente a los nuevos desarrollos de la red y sus dinámicos cambios, se debe considerar al sistema actual, contemplando la gestión y uso eficiente de los activos; extensión de la vida del equipamiento crítico, asociado ello a metodologías de mantenimiento y monitoreo; optimizar el desempeño de la red, mejorando la estabilidad del sistema y su recuperación; mejor aprovechamiento de los actuales derechos de paso en los electroductos existentes, mediante el uso de nuevos conductores, aumento de la tensión o vínculos en corriente continua.

*c) Enfoque sobre el medio ambiente y sustentabilidad*

Al referirnos a eficiencia no solo se contemplan los dispositivos de uso final que consumen energía, sino también se considera la eficiencia general del sistema eléctrico.

Deben ser estudiados el rendimiento y las pérdidas inherentes a los diferentes principios de transmisión (por ejemplo, corriente alterna/continua/híbrido) y en los distintos equipos y elementos que constituyen el sistema eléctrico.

La interrupción del suministro eléctrico ante condiciones extremas del clima o bien ante desastres naturales, agrava los problemas de prestación de servicios esenciales. Por lo tanto se imponen nuevas consideraciones de diseño para la infraestructura, debiendo ser más robusta, menos vulnerable y con posibilidad de adaptación ante estas situaciones.

Las normativas nacionales, las nuevas normas y el grado de estandarización entre los distintos países directamente o indirectamente influyen en el desarrollo de la red eléctrica. Bajo la influencia del medio ambiente, consideraciones técnicas y/o los aspectos económicos pueden no tomarse plenamente en cuenta en las decisiones políticas.

Cuando el sistema es controlado y operado por sofisticadas herramientas de tecnología de la información, mayor es su complejidad y vulnerabilidad a influencias externas, tales como sabotaje. La seguridad cibernética es por tanto otro de los temas a garantizar.

*d) Comunicación para el público y los responsables de decisiones*

Con la creciente conciencia del público sobre temas ambientales y económicos relacionados con los sistemas eléctricos, la posibilidad de malos entendidos entre los servicios públicos y los grupos ecologistas, es cada vez mayor.

En general está disminuyendo la aceptación del público a nuevas instalaciones en zonas densamente pobladas. Un buen ejemplo es la no aceptación de una mayor utilización de los electroductos existentes, y el rechazo a la creación de nuevos, en particular en lo que respecta a las líneas aéreas. En muchos casos las soluciones tecnológicas existen, aunque ello signifique aumentar los costos.

Sin embargo, los problemas subyacentes de los debates sobre los sistemas de alimentación por lo general, no están adecuadamente respaldados por hechos científicos-técnicos que posean un objetivo nivel de análisis.

Resulta imprescindible disponer de información técnico-científica imparcial, que resulte comprensible para información del público y los políticos responsables de las tomas de decisión.

## **Evolución de los sistemas eléctricos**

Analizando el desarrollo de los sistemas eléctricos durante el siglo xx y lo que se vislumbra del siglo xxi, se observan cambios estructurales en varias áreas.<sup>4</sup>

En los aspectos tecnológicos se destaca el cambio de estructura de la red, dejando de ser un sistema jerárquico para transformarse en un sistema complejo. Las protecciones que eran electromecánicas son digitales. Los pocos sensores que se utilizaban para la operación y el control se han ampliado en cantidad y prestaciones que brindan, permitiendo el auto-monitoreo, autorrecuperación, adaptación con posibilidad de conformación de islas ante contingencias en el sistema, el control generalizado y el seguimiento en forma remota.

Además de estos significativos cambios tecnológicos, lo que genera el mayor impacto en los nuevos sistemas eléctricos es el tipo de relación que tendrá el usuario con el sistema.

Mientras que en el siglo pasado los usuarios eran únicos, no participaban en el sistema, se encontraban en un mercado que les resultaba restringido, la evaluación de la calidad del servicio eléctrico se realizaba por resultados (ex post), la respuesta a las posibles contingencias era orientado a la recuperación del servicio “post-falla”, pudiendo ser el sistema vulnerable al terrorismo o bien a desastres naturales. En las futuras redes inteligentes los usuarios estarán involucrados con el sistema, contarán con mayor información e intervendrán activamente en las tomas de decisiones. Existirán mercados integrados con nuevos mercados para los usuarios; si bien la calidad del suministro eléctrico resulta prioritaria y con mayores estándares, habrá diversos niveles de calidad asociados a los correspondientes niveles tarifarios, lo cual permitirá que el usuario opte por el nivel de calidad que desee en el servicio. La medición generalizada de parámetros en la red estará orientada a la prevención y minimización del impacto en los usuarios, fortaleciendo el nivel de seguridad resultando resistente a ataques y desastres naturales. El sistema eléctrico se caracterizará por el automatismo en la detección e inmediata respuesta a los problemas.

Por otra parte y como lo hemos señalado precedentemente, existirán nuevos tipos de demandas, las cuales serán abastecidas en forma automática dependiendo de las prioridades que defina el usuario. Esto implica equipamiento que cuente con posibilidades de comunicación a un controlador centralizado que actúe en forma inteligente. El usuario define el consumo dependiendo de la tarifa.

---

<sup>4</sup> Santacana, E., Rackliffe, G., Tang, L. y Feng, X. (2010). “Getting Smart”. *IEEE Power & Energy Magazine*, (pp.41-48), 8(2) y Horowitz, S., Phadke, A. y Renz, B. (2010). “The Future of Power Transmisión”. *IEEE Power & Energy Magazine*, (pp. 34-40), 8(2).

Este controlador corresponde a los nuevos tipos de medidores que se tendrán a nivel domiciliario, los que actuarán dependiendo de la información propia del usuario y la que reciba desde la red de suministro. De esta manera, los electrodomésticos con inteligencia incorporada podrán reducir su demanda ante señales externas que indiquen que la red eléctrica está sobrecargada, o bien se activan cuando los índices de energía están más bajos.

Estas posibilidades de conexión/desconexión permitirán reducir exigencias extremas a la infraestructura de la red eléctrica incrementando drásticamente su seguridad.<sup>5</sup>

Accionar directamente sobre la demanda permite lograr el mayor impacto en la reducción de las pérdidas del sistema. Para ello resulta imprescindible la interacción entre compañías eléctricas y de comunicaciones, requiriendo la estandarización y certificación de los dispositivos inteligentes de energía y las interfaces de comunicaciones, para permitir el control del uso de la energía.

Respecto a la evolución de la generación de electricidad, uno de los aspectos más importantes de los sistemas basados en energías renovables es la correlación temporal entre demanda y generación, porque cambian los conceptos básicos de los sistemas de generación convencionales. La clave para aprovechar estos recursos es la adaptación de la demanda al suministro (control de demanda) y no al contrario.

Indudablemente lo que hemos señalado en la evolución de los sistemas eléctricos requiere el acercamiento integrado o convergente entre los sistemas eléctricos y de comunicaciones.

Un nuevo desafío es combinar los sistemas de energía eléctrica y comunicaciones en un entorno unificado de control y gestión para la utilización eficiente y efectiva de los recursos.

Las compañías eléctricas, que ya tienen desplegadas redes de fibra óptica, están buscando nuevas formas de utilizar toda su capacidad. También se pueden utilizar como infraestructura para el despliegue de fibras las redes de distribución de gas, de agua o las carreteras.

Por lo tanto aquí es donde está la clave, el cambio de paradigma del sistema energético apoyado en el cambio de paradigma que ya se ha producido en el sistema de comunicaciones.

Respecto al objetivo de optimizar los recursos naturales y sociales se ha observado en las últimas décadas que han sido priorizados en manera diversa los factores denominados AEI (Ambiente, Economía e Ingeniería).

En los países que requieren aún desarrollarse, el orden de prelación es que la Ingeniería precede a los temas de Economía y finalmente queda el Ambiente. En los países industrializados antecede a todos la Economía para luego contemplar el Ambiente y concluir con Ingeniería. Los órdenes citados anteriormente no resultan compatibles con la responsabilidad a futuro, para lo cual se deberá priorizar Ambiente, por encima de la Economía concluyendo con la Ingeniería.

---

<sup>5</sup> Lui, J., Stirling, W. y Marcy, H. (2010). "Get Smart". *IEEE Power & Energy Magazine*, (pp. 66-78), 8(3).

## DESAFÍOS PLANTEADOS

Los cambios que hemos señalado para el sistema eléctrico se orientan fundamentalmente a: reducir los costos mejorando los negocios y la eficiencia en la operación; mejorar e incrementar los objetivos de confiabilidad/seguridad/calidad; minimizar posibles impactos adversos al ambiente; migrar hacia sistemas “inteligentes”.

Planteados en forma resumida estos desafíos, los mismos requieren: el desarrollo de un amplio rango de nuevas tecnologías; la creación de nuevos equipamientos, contemplando la exploración e incorporación de nuevos materiales.

Para concretar estos desafíos, se requieren fuerzas de trabajo altamente informadas, capacitadas y con poder de decisión, por lo tanto la formación de recursos humanos se transforma en un tema estratégico.

A pesar de ello, es un problema generalizado el no contar en la población activa con la suficiente oferta técnica que permita satisfacer los requerimientos impuestos por el sector. En este sentido se deben evaluar distintos aspectos: por un lado el déficit de egresados en carreras de ingeniería, contemplando en ello cuestiones “vocacionales” y de abandono de estudios y por otra parte la rápida obsolescencia de algunos conocimientos de aplicación, que experimentan quienes ya se encuentran en el sector productivo.

Esta situación planteada en forma general para las distintas ramas de la ingeniería, resultan aún más críticas en el área de Ingeniería Eléctrica, la cual se enfrenta a una gran merma en el capital humano vinculado a esta carrera. Por un lado la falta de nuevos profesionales basado esto principalmente en la falta de reconocimiento social que posee la carrera y a su vez en preconceptos de los jóvenes que consideran a la temática de la carrera como antigua, con limitadas oportunidades para innovar o bajo desarrollo de empleo. Por otra parte, además de los rápidos cambios tecnológicos que requieren una constante formación de los profesionales activos, se suma en un futuro cercano el retiro de un importante porcentaje de quienes hoy se encuentran en actividad.

Indudablemente, la manera de revertir esta situación es invirtiendo en educación y ciencia, investigación y desarrollo y fundamentalmente en el apoyo al desarrollo de los jóvenes.

No se concibe desvincular el desarrollo socioeconómico y cultural de un país de sus avances en ciencia y tecnología, o de su aplicación para resolver sus problemas más importantes.

Las transformaciones que la economía mundial ha sufrido en las últimas décadas han hecho que el éxito, y aún la viabilidad, de las naciones, dependan fundamentalmente de la calidad del conocimiento puesto en juego en sus procesos productivos.

## ELECTRICIDAD Y COMUNICACIONES

Hemos señalado la fuerte vinculación que se tendrá entre los sistemas eléctricos y las comunicaciones, por lo tanto podríamos plantear una hipotética evaluación del desarrollo que han tenido ambos sistemas.



Supongamos que Thomas Alva Edison y Alexander Graham Bell fueran transportados de alguna manera al siglo XXI, y se les presentaran sus respectivas invenciones, lo que encontraría cada uno de ellos resultaría muy distinto.<sup>6</sup>

Por una parte, los sistemas eléctricos se han desarrollado en forma similar a la planteada por Edison, con generadores y conductores para la transmisión de energía para abastecer la demanda. Sin embargo las comunicaciones han sufrido fuertes modificaciones, ya no resultan necesarias las líneas telefónicas, reconozcamos que tenemos comunicaciones interoceánicas en forma inalámbrica, con transmisiones de texto, imágenes y datos en general.

Por lo tanto es de esperar que para Bell, le resultaría muy dificultoso reconocer su invención y seguramente estaría deslumbrado con la tecnología desarrollada en los últimos años. A su vez Edison estaría familiarizado con el actual sistema eléctrico, ya que le resultaría muy similar a su creación.

Aunque este experimento mental dice mucho respecto a las apariencias de lo que ha sido el impacto de estos sistemas en la sociedad moderna, debemos señalar que al celebrar el comienzo del siglo XXI, la Academia Nacional de Ingeniería de USA, pretendió identificar los más importantes logros de la ingeniería del siglo XX.<sup>7</sup>

La academia ha compilado una lista de veinte estimables logros que han afectado a casi todos en el mundo desarrollado, evaluando el impacto que han tenido en mejorar el estándar de vida de la población en general.

Ante estos criterios de evaluación, se podría considerar que tanto el teléfono, como las computadoras o el uso de internet, han sido emblemáticos en la sociedad moderna, habiendo modificado además de las características de ejecución del trabajo, los hábitos de comunicación (correos electrónicos, chat, redes sociales, etcétera). Sin embargo en el listado de los veinte logros del siglo XX, el teléfono figura 9º, las computadoras 8º, mientras que internet figura en el 13º lugar.

Si estos desarrollos tuvieron esas posiciones en el listado, resulta significativo el que ocupa el primer lugar, habiéndose considerado que el mayor logro de la ingeniería en el siglo XX, ha sido la electrificación.

Esta elección no resulta sorprendente, basta con tratar de imaginar alguna actividad en la sociedad moderna, en la cual no se encuentre involucrada la utilización de la energía eléctrica. Sin ella no sería posible la vida moderna, en la forma en la que actualmente la concebimos.

Finalmente, los veinte mayores logros de la ingeniería en el siglo XX han sido:

1. la electrificación, 2. el automóvil, 3. el avión, 4. el abastecimiento y la distribución de agua, 5. la electrónica, 6. la radio y la televisión, 7. la mecanización agrícola, 8. las computadoras, 9. el teléfono, 10. el aire acondicionado y la refrigeración, 11. las carreteras, 12. la astronave, 13. la Internet, 14. las imágenes, 15. los electrodomésticos, 16. las tecnologías de salud, 17. las tecnologías de petróleo y petroquímica, 18. el láser y la fibra óptica, 19. las tecnologías nucleares y 20. los materiales de alto rendimiento,

<sup>6</sup> Department of Energy U.S. *The SMART GRID: an introduction*. Consultado el 26 de abril de 2010 en <[www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia](http://www.oe.energy.gov/DocumentsandMedia)>.

<sup>7</sup> National Academy of Engineering (2011). "Greatest Engineering Achievements of the 20th Century". Consultado el 26 de abril de 2011 en <[www.greatachievements.org](http://www.greatachievements.org)>.

## REFLEXIONES FINALES

La ingeniería eléctrica se ha convertido en una de las mayores industrias existentes. El sistema eléctrico es la mayor máquina que haya construido el hombre, ya que su extensión ocupa países y continentes. Esta máquina debe funcionar con altos estándares de calidad y confiabilidad, durante las 24 hs del día, los 365 días del año, y ante cualquier inconveniente o falla en su funcionamiento queda inmediatamente en evidencia ante terceros.

Resulta oportuno recordar la definición de “sistema” como *conjunto estructurado de elementos concebibles en forma independiente, que tienen un objetivo en común el cual no pueden lograr en forma individual*. El objetivo de los sistemas eléctricos de potencia es abastecer la demanda en la cantidad que la misma es requerida, con altos estándares de calidad y confiabilidad, optimizando los recursos naturales y sociales.

Indudablemente, durante el siglo xx, la ingeniería eléctrica ha hecho un excelente trabajo en satisfacer las necesidades energéticas, convirtiéndose en una necesidad básica en la sociedad moderna. Es uno de los principales pilares de nuestra civilización, junto con alimentos, agua, salud y educación, brinda una contribución sustancial al desarrollo social y económico de la humanidad.

Con humildes comienzos en la década de 1880, con incertidumbre respecto a lo que significaba su aparición y sobre todo su desarrollo, ha sido considerada el mayor logro de la ingeniería en el siglo xx.

Por lo tanto, el nuevo y gran desafío que se presenta para la energía eléctrica, en el siglo xxi, es *superarse a sí misma*.

