



Sistemas eléctricos de potencia

La visión de CIGRE

sobre desafíos y tendencias

Por Jorge A. Nizovoy y Klaus Fröhlich

El Consejo Internacional en Grandes Redes Eléctricas (CIGRE) expone los desafíos que se le presentan a la hora de operar y desarrollar estos sistemas eléctricos, en un contexto condicionados por la demanda de competitividad, calidad, sustentabilidad y respeto al medio ambiente.

Sin lugar a dudas, las condiciones de operación y el desarrollo de los sistemas eléctricos de potencia están condicionados por requerimientos crecientes de competitividad y de calidad de servicio. A la vez, se va tornando más compleja la sustentabilidad de estos, habida cuenta de la limitación y de los efectos de la utilización de los recursos energéticos disponibles, en un contexto de oposición pública a afectaciones del medio ambiente, aunque sean debidamente controladas, lo que le quita racionalidad a la posibilidad de satisfacer todas las demandas.

A efectos de describir estos problemas y las tendencias que se vislumbran para resolverlos en esta década, a continuación se transcribe un texto traducido al español, publicado originalmente en inglés por el CIGRE, Consejo Internacional en Grandes Redes Eléctricas. En este, el presidente de su Comité Técnico reseña cómo dicha organización internacional, que tiene su sede central en Francia, y comités nacionales en 57 países (entre ellos el argentino), está visualizando el tema.



Precisamente, es a partir de este diagnóstico que el CIGRE orienta sus trabajos, para contribuir de manera eficaz en el proceso de elaboración de recomendaciones sobre soluciones para los desafíos actuales y sobre el futuro de los sistemas eléctricos de potencia¹.

Actividades técnicas del CIGRE Direcciones Estratégicas 2010-2020

Debido a la facilidad de su utilización y al bajo impacto ambiental en el punto final de uso, el consumo de electricidad está creciendo a ritmo constante. Por eso, a mediano y largo plazo, es la forma de energía preferida para satisfacer las necesidades de la humanidad. Desde el punto de vista de la generación, se considera que la electricidad producida a

partir de combustibles fósiles tiene hoy un importante impacto en el calentamiento global y, al mismo tiempo, que las infraestructuras de transmisión y distribución son cada vez menos aceptadas. En consecuencia, los desafíos para el sector de la energía eléctrica son considerables. Con el fin de satisfacer las demandas de los consumidores, cada recurso para la generación de energía eléctrica, en particular las fuentes de energías renovables por ejemplo, energía eólica y solar, deberán estar completamente desarrolladas e integradas al sistema de potencia. La eficiencia energética tendrá que ser mejorada en cada nivel, lo que involucra a la generación, a la transmisión, a la distribución y al consumo de energía eléctrica. Además, el mayor desarrollo del mercado de la energía al por mayor y al por menor y las cada vez más restrictivas regulaciones ambientales regirán significativamente el desarrollo futuro del sistema de potencia. En consecuencia, el sistema eléctrico de potencia del mañana será diferente.

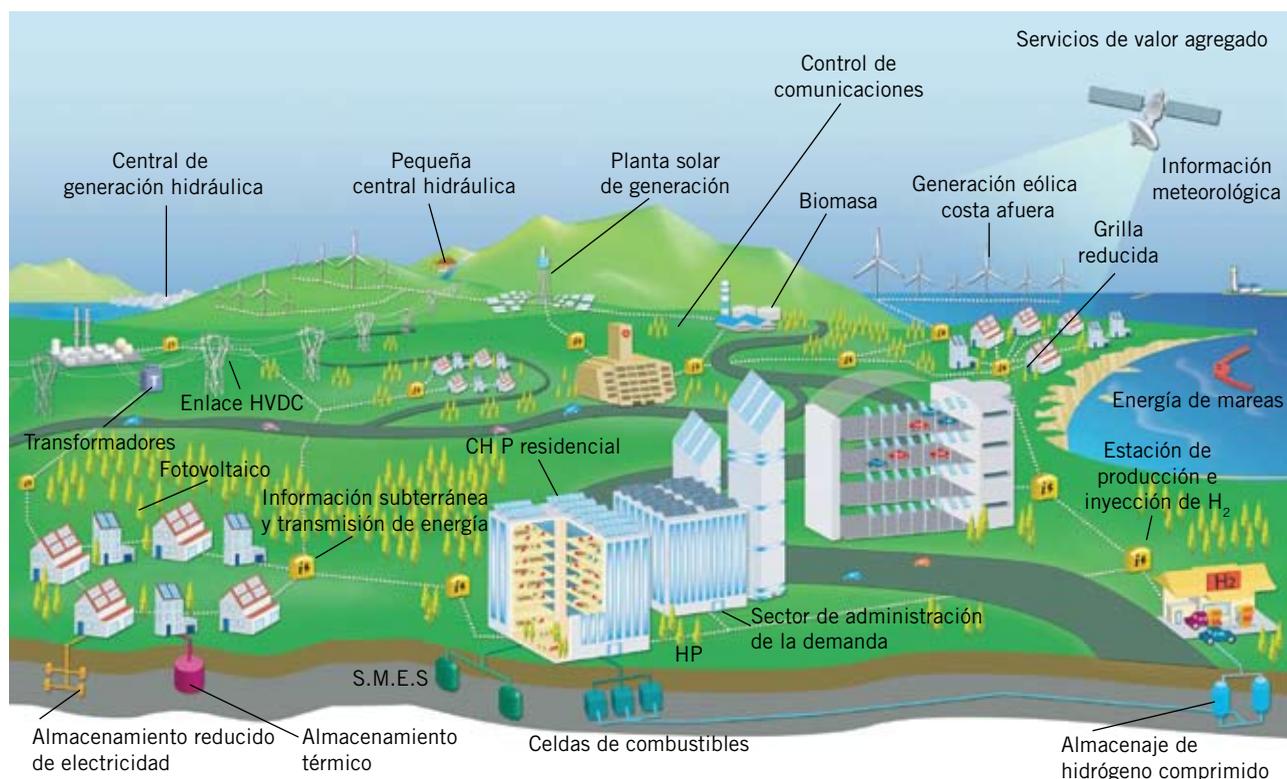


Figura 1. Visión de redes futuras. Fuente: *European Technology Platform Smart Guide*

Los desarrollos tecnológicos y las potentes herramientas de la tecnología de la información, metodologías y herramientas de desarrollo inimaginables veinte o incluso diez años atrás, ayudarán a hacer frente a estos desafíos.

El CIGRE, que actúa como la mayor plataforma internacional de intercambio y preparación de información técnica para la industria de la energía eléctrica, con sus miembros en la industria, las compañías de servicio eléctrico, universidades y otras instituciones relacionadas, está, por consiguiente, exactamente en el corazón de estos desarrollos.

Por esta razón, el Comité Técnico del CIGRE ha analizado cuidadosamente estos desafíos, para identificar las orientaciones estratégicas de las actividades técnicas del CIGRE para los próximos 10 años.

Factores que condicionan el futuro del sector de la energía eléctrica

Cambios en la demanda de la energía eléctrica

En el presente, la demanda de electricidad está creciendo en todas partes del mundo a diferentes ritmos y continuará creciendo. Unos dos mil millones de personas todavía no tienen acceso a la electricidad en numerosos países, y se requerirán respuestas técnicas específicas en muchos casos. En otros países, el desarrollo en el nivel de vida, nuevas aplicaciones, o el reemplazo de otras formas

de energía por la electricidad, dan como resultado un mayor consumo: nuevos electrodomésticos, computadoras, transporte eléctrico (por ejemplo, vehículos eléctricos recargables –que se enchufan–, la electrificación de trenes).

Es un hecho indiscutible que veremos un desarrollo y un cambio significativo en el consumo de electricidad, es decir, en volumen, en su naturaleza, en el espacio –nuevos usuarios con servicio–, con el uso de la generación más barata en todo momento, con la gestión de la carga a nivel de hogares, con condiciones de entrega específicas como calidad de onda, continuidad, con recarga de alta velocidad de las baterías.

Adicionalmente, el desarrollo continuo de los mercados de energía al por mayor y al por menor, y la necesidad de los consumidores de estar más estrechamente vinculados al sistema de potencia, requerirán la utilización de tecnologías tales como medidores inteligentes y otros servicios basados en la tecnología de la información.

Cambios causados por las necesidades ambientales

Una cuestión importante es la aceptación pública de la infraestructura del sistema de potencia, sobre todo de las nuevas instalaciones. La escasez de espacio disponible para nueva infraestructura, el efecto hipotético de los campos eléctricos y magnéticos (CEM), las perturbaciones eléctricas, el ruido, las cuestiones estéticas y de necesidad de espacio, están en la raíz de la mayoría de las preocupaciones públicas.

Las respuestas tecnológicas las han de dar, por ejemplo, los sistemas de transmisión subterránea o de cable submarino, el mejor uso de los derechos de paso. Es imperativo que se dé información técnico-científica concisa e imparcial para el público y los políticos en una forma fácilmente entendible.

La búsqueda de mayor eficiencia o de ahorro de energía será de interés a lo largo de la cadena. Las tecnologías de los sistemas de potencia desempeñarán un papel importante en esta búsqueda.

Como el cambio climático es hoy motivo de gran preocupación, el desafío para el sistema eléctrico de potencia (y, por lo tanto, del CIGRE) es la forma de integrar el creciente número de fuentes de electricidad sin emisión de carbono, ya sea como energía a granel, a larga distancia de la carga, (grandes centrales hidroeléctricas, nucleares, parques eólicos) o como pequeñas y muy pequeñas unidades distribuidas (millones de pequeñas turbinas de viento, unidades solares, plantas de biomasa, pilas de combustible, energía de las olas y conjuntos motor-generador Stirling). Las dos características distintivas de estas fuentes son la intermitencia o falta de flexibilidad y su condición remota. Esto implica la necesidad de almacenamiento, de interconexiones fuertes y de grandes capacidades de transmisión a larga distancia, con las tecnologías asociadas como vínculos de alta tensión en corriente continua (ATCC; HVDC en inglés), sistemas de transmisión flexibles en corriente alterna (STFCA; FACTS en inglés), controles avanzados, locales y, sobre todo, de sistema.

Los cambios climáticos pueden dar lugar a las condiciones climáticas más extremas, lo que significa nuevas condiciones de diseño de la infraestructura: más robusta y más intrusiva o recurrir a tecnologías menos vulnerables: instalaciones subterráneas, subestaciones metal clad.

Influencia de la regulación, la legislación y los objetivos de distintos países

Las regulaciones nacionales, las nuevas normas y el grado de estandarización entre los distintos países, directa o indirectamente influirán en el desarrollo de los sistemas eléctricos de potencia. Bajo la influencia de las consideraciones ambientales, los aspectos técnicos y/o económicos pueden no ser tenidos plenamente en cuenta en las decisiones políticas. Un papel importante para CIGRE es proporcionar las bases adecuadas para tomar decisiones y analizar las reglas y normas involucradas.

Las tecnologías nuevas y emergentes son las facilitadores de cambios significativos

Las nuevas tecnologías que satisfagan las necesidades técnicas, socioeconómicas y ambientales influirán en el desarrollo y el funcionamiento del sistema eléctrico de potencia. Nuevos materiales, tales como superconductores, los aislantes basados en nanopartículas, un mejor tratamiento de los polímeros, los sustitutos del aceite aislante, etc., darán lugar a un equipo más optimizado y amigable con el medio ambiente.

Un mayor poder de cómputo, telecomunicaciones, sensores, electrónica de potencia, contribuirán a un mejor diseño y control a nivel de equipos, así como a nivel

del sistema. El sistema y la seguridad cibernética tienen que abordarse por completo en este contexto. Cables de potencia avanzados y líneas aisladas con gas (LAG; GIL en inglés) pueden ser una alternativa aceptable a un costo razonable en un futuro próximo.

Tal vez las herramientas más importantes a disposición de CIGRE sean la enorme experiencia y el conocimiento en todas las disciplinas técnicas y científicas que se encuentran encarnadas en los miembros del CIGRE.

Mantenimiento y expansión de los sistemas de potencia existentes

Las secciones anteriores se centraron principalmente en el desarrollo futuro del sistema de potencia y en los desafíos asociados. Sin embargo, el sistema actual con todos sus problemas económicos, ecológicos y técnicos tiene que mantenerse y operarse con seguridad. En muchos países industrializados, para el sistema o partes de él que alcanzan el final de la vida útil (prevista originalmente cuando el equipo se instaló), deben desarrol-



Fuente: European Technology Platform Smart Guide

larse estrategias de mantenimiento óptimo, rehabilitación, rejuvenecimiento y reemplazo. La pregunta clave es cómo mantener o mejorar la fiabilidad/disponibilidad del sistema, sin dejar de dar cumplimiento a los requisitos de la regulación y de hacer frente a los problemas propios de la evolución de los mercados de la electricidad.

Cuatro direcciones estratégicas principales del Comité Técnico

A partir de este análisis de la industria de la energía, de los desafíos y facilitadores, se han identificado cuatro orientaciones estratégicas, que se desarrollan en lo que sigue.

- Dirección 1: El sistema eléctrico de potencia del futuro.
- Dirección 2: Hacer el mejor uso del sistema de potencia existente.
- Dirección 3: Hacer foco en el medio ambiente y en la sustentabilidad.
- Dirección 4: Comunicación de los problemas del sistema de potencia para responsables de la toma de decisiones.

Dirección 1: El sistema eléctrico de potencia del futuro

Considerando los escenarios actuales, las visiones y tendencias presentadas por los diversos órganos científicos y técnicos sobre el tema de las redes de energía del futuro, básicamente se pueden resumir en dos áreas clave de la siguiente manera:



Fuente: *European Technology Platform Smart Guide*

Alimentación de energía a granel: recursos renovables variables en el tiempo como eólica y solar, y plantas hidroeléctricas y de energía nuclear remotas

Los sitios de las fuentes renovables de generación de energía a granel, como la eólica y la solar están a menudo muy alejadas de la localización de los centros de carga. Un ejemplo es la energía eólica en el medio oeste de los EE. UU. que tiene que ser entregada en los centros de carga de la costa este y oeste. Otro ejemplo es el enorme potencial eólico de producción de energía en las zonas

del Mar del Norte y del Báltico desde donde la energía tiene que ser transportada a los centros de carga en Europa (en donde están disponibles numerosas centrales hidráulicas de acumulación por bombeo). Con el fin de aprovechar todos estos recursos “verdes”, es decir, no perder esta energía renovable, se requiere el transporte seguro de energía a granel a gran distancia (ya sea por transporte terrestre o submarino). En todos los casos, la variabilidad en el tiempo y estacional es un factor significativo que requiere fuertes interconexiones entre sistemas de transporte.

Temas clave son:

- Sistemas de ultra alta tensión en corriente alterna (CA; AC en inglés), es decir, redes troncales, redes de superposición,
- Redes de alta tensión en corriente continua (ATCC; HVDC en inglés).
- Combinación de los sistemas de CA y ATCC (híbridos).
- Aumento del flujo de potencia en los corredores de transmisión, incluidas las consideraciones de modernización de las líneas de CA con CC (corriente continua), manejo de la vegetación, emisiones de ruido, dimensiones del corredor y efectos de campo.
- Transmisión subterránea y cables submarinos como facilitadores para los nuevos corredores.
- Subestaciones en alta mar y conexiones desde alta mar hasta la costa.
- Centrales hidroeléctricas de acumulación por bombeo, almacenamiento de energía por aire comprimido y baterías.
- Mejorar significativamente la complejidad (inteligencia) en lo que concierne a automatización, control, operación y medición.
- Monitoreo y protección del sistema en su conjunto.
- Nuevas regulaciones, estándares y objetivos de los distintos países están sujetos a cambios evolutivos. Son necesarios intercambios de experiencias e información sobre las consecuencias de tales cambios para los propietarios. También es necesaria la realimentación de los reguladores.

Todos estos aspectos tienen que ser vistos a la luz de una compatibilidad socioeconómica y ambiental.

Alimentación de millones de pequeñas fuentes dispersas de energía con niveles de tensión medios y bajos

El sistema eléctrico de potencia actual todavía no está bien equipado para hacer frente al rápido aumento del número de pequeñas fuentes de energía, por ejemplo, turbinas eólicas pequeñas y dispositivos fotovoltaicos. Con el uso creciente de estos recursos distribuidos, la interacción entre la carga y el sistema de suministro se hace cada vez más compleja. Serán necesarias nuevas arquitecturas para el sistema a mediano y largo plazo.

Los temas clave serán:

- Sistemas de distribución inteligentes de media y baja tensión (microrredes, celdas activas, centros de energía, etcétera).
- Gestión de la demanda y aumento del desempeño inteligente de la carga.
- Almacenamiento de pequeñas fuentes de energía eléctrica dispersas, generación de rápida respuesta y respuesta de la demanda para complementar los recursos variables.
- Electrificación (suministro de electricidad para todo el mundo).
- Cambios del comportamiento de la carga, por ejemplo, conexión a la red de vehículos eléctricos alimentados por el cliente, aumento de la sustitución de la electricidad por combustibles fósiles en el punto de uso final.
- Ampliación significativa del uso de sensores, comunicación y capacidad de cómputo incluyendo medidores avanzados y otros dispositivos basados en la tecnología de la información.

En general, las fronteras entre la distribución y la transmisión serán menos claras, y es una de las decisiones estratégicas más importantes del Comité Técnico del CIGRE ver el sistema eléctrico de potencia de manera integral. En los campos de las actividades comunes, la cooperación con otras organizaciones tales como CIRED (Congreso Internacional de Redes Eléctricas de Distribución), la CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), en otras, se seguirá desarrollando.

Dirección 2: Hacer el mejor uso del sistema de potencia existente

Mientras se hace frente a los cambios dinámicos del sistema de potencia del futuro, debe considerarse la evolución del sistema actual:

- Gestión y uso eficiente de los activos:
 - » Extensión de la vida útil del equipamiento, muy a menudo relacionada con la condición de monitoreo y con las metodologías de mantenimiento.
 - » Métodos de análisis de la toma de decisiones para la planificación y desarrollo del sistema de potencia, incluyendo la implementación de nuevas tecnologías y principios en el sistema existente.
- Mejora de la operación del sistema, de la estabilidad y del reestablecimiento de la demanda del sistema (por ejemplo, gestión de la demanda, gerenciamiento de restricciones de transmisión).
- Mejor uso de los derechos de paso existentes mediante el uso de nuevos conductores, aumento de la tensión de operación, enlaces de CC, reemplazo de la transmisión de CA por CC.

Dirección 3: Hacer foco en el medio ambiente y en la sustentabilidad

Es evidente que el acuciante problema del CO₂ se convertirá probablemente en el motor principal de la arquitectura de los sistemas de potencia en el futuro (Dirección 1). Sin embargo, existen otros problemas ambientales que deben tenerse en cuenta.

Materiales amigables con el medio ambiente

Si bien el alcance del CIGRE no incluye el desarrollo de nuevas tecnologías, sí es su responsabilidad entregar información objetiva sobre el desempeño de las nuevas tecnologías.

Eficiencia del sistema de potencia

La cuestión de la eficiencia se ha extendido ahora más allá de los dispositivos de uso final que consumen energía a la eficiencia general del sistema eléctrico. El aumento de pérdidas de potencia puede resultar del flujo de energía de fuentes renovables intermitentes (y de carga). Tienen que ser estudiados el rendimiento y las pérdidas inherentes a los principios de transmisión diferentes (por ejemplo, CA, CC, híbrido, líneas aéreas, subterráneas y control de tensión coordinado).

Impacto de condiciones climáticas severas

La responsabilidad del CIGRE es y será proporcionar el intercambio de experiencias en las medidas y las mejores prácticas de prevención de daños/salidas de servicio en condiciones climáticas severas y el logro de un rápido restablecimiento.

Seguridad del sistema

La seguridad física sigue siendo un tema que impregna todas las actividades técnicas del CIGRE. Además, cuando el sistema de potencia está más controlado y es operado por sofisticadas herramientas de tecnología de la información, mayores son su complejidad y su vulnerabilidad a influencias externas, tales como el sabotaje. La seguridad cibernética es, por tanto, una de las principales tareas del CIGRE.

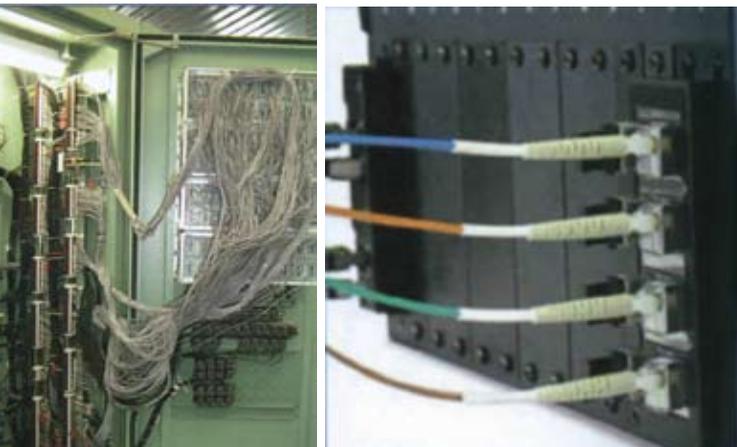


Figura 3. Pasado y futuro de protección de subestaciones y automatización de sistemas

Dirección 4: Comunicación de los problemas del sistema de potencia para responsables de la toma de decisiones

Con la creciente conciencia del público sobre temas ambientales y económicos relacionados con el sistema de potencia, aumenta la posibilidad de malos entendidos entre las compañías de servicio, los encargados de formular políticas y los grupos ecologistas. En general, la aceptación del público de nuevos activos para las instalaciones está disminuyendo en las zonas densamente pobladas. Un buen ejemplo es la no aceptación actual de una mayor utilización de los corredores de transporte existentes, ni de que otros nuevos se creen, en particular en lo que respecta a las líneas aéreas.

En muchos casos las soluciones tecnológicas existen, aunque con incremento de los costos. Sin embargo, los problemas subyacentes en los debates sobre los sistemas de potencia por lo general no están adecuadamente respaldados por los hechos científico/técnicos en un nivel muy objetivo. Temas como la integración de las energías renovables, los campos eléctricos y magnéticos, emisiones sonoras, daños al terreno, y las líneas aéreas frente a las líneas subterráneas, etc., se debaten a menudo emocionalmente con polarización no fácil de resolver.

La reputación del CIGRE es la de una institución objetiva e imparcial y como tal es confiable para todas las partes. Por lo tanto, uno de los objetivos más importantes del CIGRE en el futuro es servir de ayuda a través del aumento de la publicación de documentos técnicos y publicaciones de forma objetiva.

Comentarios finales

Hay que destacar que la estructura actual del Comité Técnico del CIGRE está bien establecida para hacer frente a los retos y cumplir con la hoja de ruta estratégica. En total más de 200 grupos de trabajo divididos en dieciséis comités de estudio están operando y manejando temas ambientales y económicos de carácter técnico avanzado.

Se puede observar en la actualidad un hecho muy preocupante: existe un dramático vacío de conocimiento entre los jóvenes entrando ahora a su vida profesional y la gente con mucha experiencia ya próxima a la jubilación. En muchos países se han producido recortes en los puestos de facultades y empresas, y las compañías de servicio han reducido su personal de ingeniería. Por tanto, es una decisión estratégica del Comité Técnico motivar a los ingenieros jóvenes, aún sin suficiente experiencia, a participar en los grupos de trabajo del CIGRE. ■

1. Referencias de la publicación original: K. Fröhlich, "CIGRE Technical Activities, Strategic Directions 2010-2020"; CIGRE, *ELECTRA* N° 249, abril 2010.

Jorge A. Nizovoy es presidente del Comité Nacional del Centro de Investigación de Grandes Redes Eléctricas Asociación Civil (CIGRE) en la Argentina; *Klaus Fröhlich* es presidente del Comité de Actividades Técnicas de esa institución.