

MATRIZ ENERGÉTICA Y SISTEMA ELÉCTRICO: ESTRATEGIA E INTEGRACIÓN

Patricia L. Arnera¹, M. Beatriz Barbieri¹, Mario Beroqui¹, Santiago Barbero¹

RESUMEN

La disponibilidad energética constituye un requisito indispensable para el crecimiento y el desarrollo de los países. Los cambios ocurridos en los últimos años y los desequilibrios en el sistema energético global, obligan a repensar los criterios con que se sustenta el diseño del sector energético de la región, con el objeto de que su evolución contribuya al desarrollo de ventajas competitivas para las actividades productivas y evite restricciones al crecimiento. En los próximos años se vislumbran importantes cambios en el sector, en vistas a las nuevas características del consumo y la generación. 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, desde modificaciones en el tipo y características del consumo, como de la disponibilidad de fuentes y tipo de generación. Se prevé que los cambios en el consumo, harán que los usuarios desempeñen un rol protagónico, planteando lo que se considera como “gestión de la demanda”. De este

¹ IITREE-FI-UNLP.

modo, el sistema eléctrico se transforma en el elemento integrador entre la oferta y la demanda.

Palabras clave: Energía eléctrica, Generación no convencional, Matriz Energética

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de toda sociedad se observa en función de su posibilidad para acceder a los beneficios que brinda la tecnología principalmente en la solución de problemas habitacionales, de salud y alimentación. Este acceso a la tecnología se encuentra directamente vinculado al creciente uso de recursos energéticos, con una fuerte tendencia a incrementar la utilización de los recursos primarios para la generación de energía eléctrica. El consumo de recursos energéticos a nivel mundial en el período 1973 a 2014, pasó de 6101 Mtoe a 13.699 Mtoe. Para el mismo período los recursos energéticos utilizados en la generación de energía eléctrica, variaron de 6131 TWh a 23.816 TWh [1]. A nivel mundial para el año 2014, si bien el consumo de recursos energéticos tuvo un aumento que significó 2,24 veces lo consumido en el año 1973, el incremento para la generación de energía eléctrica fue de 3,88, lo cual evidencia la mayor dependencia de la sociedad a la utilización de energía eléctrica en el consumo final. No obstante este crecimiento, la generación de energía eléctrica solo representa entre el 17 a 19 % de la matriz energética total de un país, siendo el transporte el sector que mayores requerimientos energéticos evidencia.

Debido a su facilidad de uso, y bajo impacto sobre el medio ambiente, en el punto de uso final, el consumo eléctrico está creciendo en forma constante. Este crecimiento se produce a nivel mundial con características que dependen de situaciones específicas de cada región y del desarrollo de la sociedad a la cual se vincula, por lo cual se observa un crecimiento con diferentes ritmos [2], [3]. En países 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 así un consumo cada vez mayor. Se vislumbran en los hogares mayores consumos, ya sean por el uso de nuevos aparatos, como por la inserción del transporte vehicular eléctrico, y la tendencia creciente a la incorporación de otros servicios basados en las tecnologías de la

información. De este modo, progresivamente resultarán más exigentes los requerimientos del suministro eléctrico, exigiendo mayores estándares en calidad, confiabilidad y economía.

PERSPECTIVA

Los sistemas eléctricos enfrentan nuevos desafíos para su desarrollo y operación, en vistas a las nuevas características que posee el consumo, así como la generación, entre las que se destacan aquellas originadas por restricciones a la utilización de hidrocarburos, ya sea por falta de disponibilidad de este recurso, como por restricciones vinculadas a criterios ambientales, de sustentabilidad, eficiencia y calidad.

La integración segura de las energías renovables es uno de los grandes desafíos para la operación del sistema eléctrico. Esta integración supone grandes retos y una elevada complejidad en el sistema en el territorio nacional debido, entre otras particularidades, a un marcado retraso en el desarrollo de la infraestructura de la red de transporte eléctrico, así como una limitada capacidad en las interconexiones con los países limítrofes.

A su vez la transformación en los tipos y características que tendrá el consumo de energía eléctrica, lleva a que los consumidores adopten un rol protagónico en el sector energético.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo fundamental del trabajo es el análisis del desempeño de los sistemas de generación, transmisión y distribución que constituyen los sistemas eléctricos de potencia considerando la operación, ampliación y la integración de nuevas tecnologías que se incorporen. Se evalúan y establecen propuestas y estrategias que permitan el correcto desempeño técnico y ambiental, contemplando los exigentes requerimientos de calidad y eficiencia que se imponen.

En dicho proceso, resulta fundamental transferir los conocimientos generados al ambiente electrotécnico nacional mediante la vinculación con empresas del sector, realización de cursos de postgrado, publicaciones, presentaciones en simposios, informes técnicos, formación de recursos humanos tanto de pre, como de postgrado, ya sea con capacitaciones a empresas según sus requerimientos, como la formación de postgrado en Maestrías y Doctorados.

Otro objetivo es contribuir a la formación de criterios para la normalización de técnicas de ensayo, calidad de equipamiento y servicio eléctrico, confiabilidad y eficiencia, continuando con la participación en organismos nacionales e internacionales, ya sea universitarios, instituciones profesionales y normativas, agrupaciones privadas como estatales e incluso empresariales.

ANTECEDENTES NORMATIVOS

En diciembre de 2007 se sancionó la Ley Nacional n.º 26190, correspondiente al “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinadas a la Producción de Energía Eléctrica”. La ley, en el artículo 1º indica:

Declárase de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación del servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

El objetivo que se establece es lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el ocho por ciento (8 %) del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de diez (10) años a partir de la puesta en vigencia de la ley. Esto se cumpliría el 31 de diciembre de 2016.

En el marco de lo dispuesto en dicha ley, el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, en su carácter de accionista mayoritario, instruyó a ENARSA a instrumentar un proceso licitatorio, por el cual se convocó a la presentación de ofertas de disponibilidad de generación de energía eléctrica proveniente de

distintas fuentes de origen renovable. En cumplimiento de ello se realizó en su oportunidad el llamado a la Licitación Pública Nacional e Internacional ENARSA n.º EE 01/2009 de generación de energía eléctrica que utiliza recursos renovables (“Licitación GENREN”). Se realizó la licitación, convocando a la presentación de hasta un total de 1000 MW de generación, basada en fuentes renovables. Las ofertas realizadas totalizaron 1465 MW, siendo adjudicados final-mente un total de 895 MW.

En la tabla n.º I se indica el detalle de cada tipo de fuente y las potencias correspondientes que se consideraron en las diversas etapas de esta licitación.

Tabla n.º 1. Resumen de la Licitación GENREN- 2009

	Convocatoria	Oferta	Adjudicación
Eólica	500	1200	754
Biocombustible	150	155	110,4
Residuos Urbanos	120		
Biomasa	100	51	
Hidroeléctricas (< 30 MW)	60	12,5	10,6
Geotermia	30		
Solar	20	22,5	20
Biogás	20	24	
TOTAL	1000	1465	895

Fuente: La hora de las Energías Renovables en la matriz eléctrica argentina - Informe Ejecutivo 2015 - CADER - Cámara Argentina de Energías Renovables.

Si bien la licitación aparentó ser exitosa, las obras no se realizaron debido a problemas asociados a su financiamiento.

Ante la falta del cumplimiento de los objetivos de la Ley n.º 26190, en septiembre de 2015 se sanciona la Ley n.º 27191, la cual modifica a la anterior. Las principales consideraciones que introduce la nueva ley son alcanzar el ocho por ciento (8 %) del consumo de energía eléctrica nacional al 31 de diciembre de 2017 en lugar del 31 de diciembre de 2016; definir como Fuentes Renovables de Energía a aquellas fuentes no fósiles idóneas para ser aprovechadas de forma sustentable en el corto, mediano y largo plazo, tales como: energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, de las corrientes marinas, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, biogás y biocombustibles, con excepción de los usos previstos en la Ley n.º 26093 y considerar como hidráulica renovables las centrales de hasta 50 MW, en lugar de 30 MW. A su vez, la ley incorpora nuevas

consideraciones, tales como: alcanzar el veinte por ciento (20 %) del consumo de energía eléctrica nacional con energías renovables, al 31 de diciembre de 2025; instituye un régimen de inversiones para la construcción de nuevas obras destinadas a la producción de energía eléctrica con fuentes renovables; establece la creación del FODER “Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables”; quienes sean beneficiarios de este régimen gozarán de beneficios fiscales (devolución anticipada del impuesto al valor agregado, amortización acelerada respecto del impuesto a las ganancias, exención de impuestos y de los derechos de importación para bienes de capitales y equipos) para las inversiones realizadas antes de la fecha prevista en la ley. Otro aspecto de la ley es la obligación a los Grandes Usuarios (consumo igual o superior a 300 kW) a comprar energía limpia a fuentes renovables, pudiendo darse también la ejecución de proyectos propios, por un 8 % de su consumo eléctrico al 31 de diciembre de 2017, 12 % al 31 de diciembre de 2019; 16 % al 31 de diciembre de 2021; 18 % al 31 de diciembre de 2025, llegando al 20 % al 31 de diciembre de 2025. Un punto también de importancia es que el aporte de reserva de potencia para respaldar la potencia generada con este tipo de fuentes, será soportada por todo el sistema.

Mediante la Resolución MEyM n.º 136/2016 del 25 de julio del 2016, el Ministerio de Energía y Minería instruyó a CAMESA a realizar la Convocatoria Abierta Nacional e Internacional “Programa RenovAr Ronda 1” para la calificación y eventual adjudicación de ofertas para la celebración de contratos de abastecimiento de energía eléctrica conforme lo prescripto por las Leyes n.º 26190 y 27191 y el Decreto n.º 531/2016.

En la tabla n.º 2 se vuelcan los detalles de las ofertas y proyectos adjudicados en Renovar Ronda-1 -2016 [4].

Tabla n.º 2. Resumen de la Licitación RenovAr- Ronda 1 - 2016

	Cantidad de Ofertas	Potencia Ofertada [MW]	Cantidad de Proyectos Adjudicados	Potencia Proyectos Adjudicados [MW]	Precios promedios [u\$/MWh]
Eólica	49	3468,7	12	708	59
Solar	58	2813,1	4	400	60
Biomasa	5	44,5	2	15	110
Biogas	6	8,6	6	9	154
Hidráulica (< 50 MW)	5	11,4	5	11	105
Total	123	6346,3	29	1143	63

Fuente: Resolución n.º 2016-213- Energías Renovables Adjudicación y Redistribución, 7 de octubre de 2016. Ministerio de Energía y Minería]- citada como Ref. [4].

De los proyectos que no fueron adjudicados, se realizó una nueva convocatoria correspondiente a Renovar Ronda 1,5, cuyos resultados se describen en la tabla n.º 3 [5].

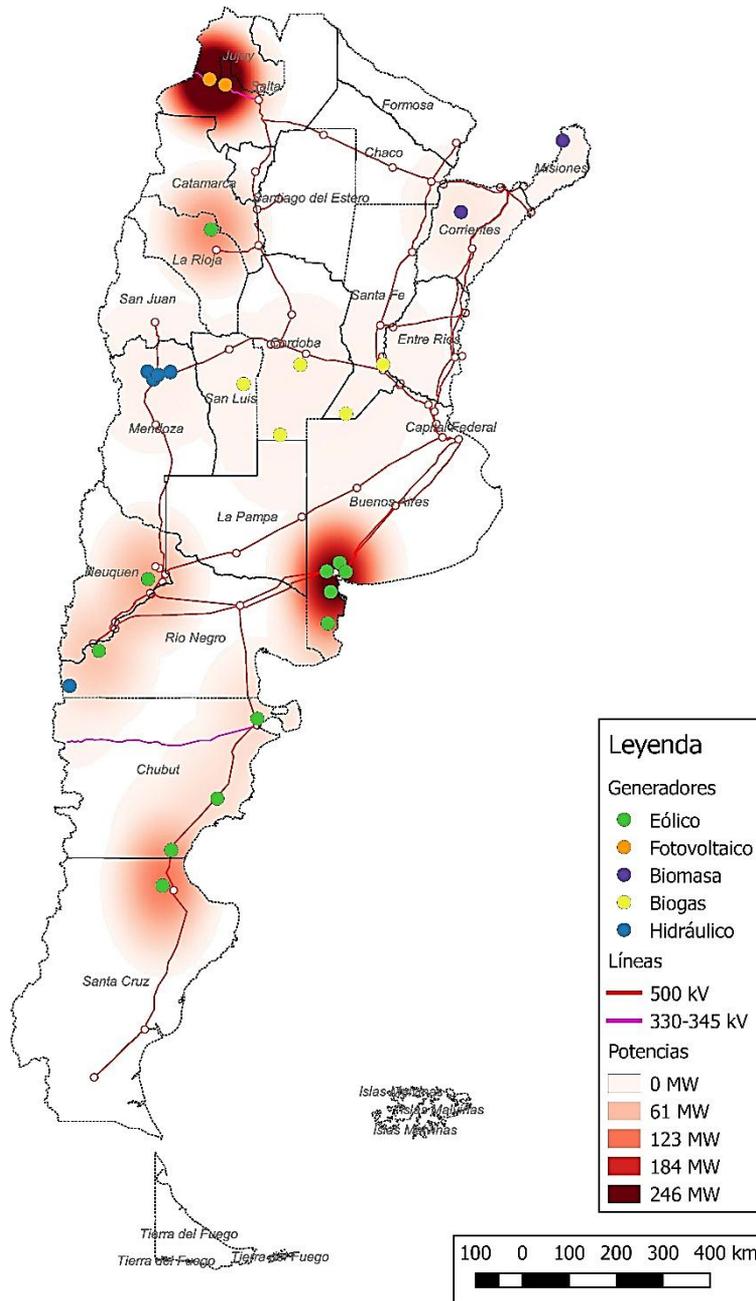
Tabla n.º 3. Resumen de la Licitación RenovAr- Ronda 1,5 - 2016

	Cantidad de Ofertas	Potencia Ofertada [MW]	Cantidad de Proyectos Adjudicados	Potencia Proyectos Adjudicados [MW]	Precios promedios [u\$/MWh]
Eólica	19	1561,3	10	765,4	53,34
Solar	28	925,1	20	516,2	54,94
TOTAL	47	2486,4	30	1281,6	53,98

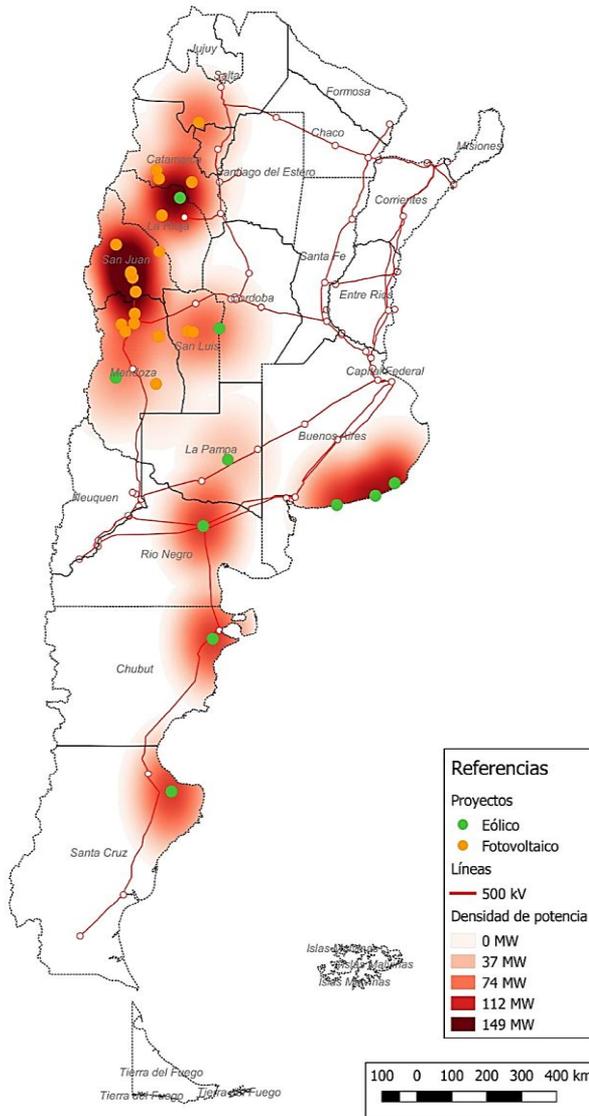
Fuente: Resolución n.º 2016-281- Resolución de Adjudicación de Ofertas del Programa RenovAr Ronda 1.5- 25 de noviembre de 2016. Ministerio de Energía y Minería]. Citada como Ref. [5].

En la figura n.º 1 se encuentra la ubicación geográfica de los proyectos que han sido adjudicados en ambas licitaciones.

Figura n.º 1. Ubicación de los proyectos adjudicados en licitaciones RenovAr Ronda 1 y Ronda 1,5
a) Proyectos Adjudicados Renovar Ronda 1



b) Proyectos Adjudicados Renovar Ronda 1,5



Tecnología	Cantidad de proyectos	Potencia adjudicada MW	Precio promedio USD/MWh	Energía anual GWh/Año
Eólica	10	765,4	53,34	3037
Solar	20	516,2	54,94	1274
Total	30	1281,5	53,98	4311

Fuente: CAMESSA.

El Ministerio de Energía y Minería ha señalado que en el año 2018 habrá instalados un total de 3 GW correspondientes a generación renovable, cubriendo un total del 9 % de la demanda de energía nacional proyectada para dicho año. En este monto se contemplan los 700 MW instalados a diciembre de 2016, conformados por Solar 8 MW, Eólico 187 MW, Biogas 17 MW e Hidráulico (< 50 MW) 488 MW. A su vez prevé que en el año 2025 habrá instalados un total de 10 GW en generación renovable.

SITUACIÓN DEL SISTEMA ARGENTINO DE INTERCONEXIÓN SADI

Con el objeto de visualizar el impacto de la energía eléctrica en la matriz energética de la Argentina, se indica en la tabla n.º 4, el resultado del Balance Energético Nacional 2014, la relación que se observa para cada tipo de usuario final, los recursos utilizados (en MTep), en el consumo de electricidad, combustibles fósiles (líquidos, gas natural y gas licuado de petróleo) y otros recursos primarios.

Tabla n.º 4. Consumo para usuarios finales, expresados en MTep

Sector/Consumo	Total	Electricidad	Comb. fósiles	Otros
Industrial	15,3	4,74	9,18	1,38
Residencial	15,9	3,82	11,77	0,32
Comercial y Público	4,8	2,54	2,11	0,14
Transporte	16,9	0	16,9	0
Agropecuario	4,3	0,09	4,09	0,13
Total	57,2	11,19	44,04	1,97

Fuente: Balance Energético Nacional 2014- Ministerio de Energía y Minería de la Nación.

Por otra parte, la potencia instalada para generación eléctrica en el Sistema Argentino de Interconexión (SADI), a diciembre de 2016, totaliza 33.901 MW, de los cuales 540 MW se encuentran en proceso de habilitación comercial. La oferta de generación se conforma, según su tecnología, del siguiente modo: 20.764 MW Térmicos (4451 MW Turbinas de Vapor, 5251 MW Turbinas a Gas, 9227 MW Ciclos Combinados y 1834 MW Diesel), 10.682 MW Hidráulicos, 1755 MW Nuclear y 700 MW en Renovable, cuya conformación ya se ha indicado [6].

Respecto a la demanda, el máximo en diciembre de 2016 fue de 23.266 MW, mientras que el máximo histórico se registró en febrero del mismo año con 25.380 MW. En

energía, la demanda durante el mismo mes fue de 11.751 GWh. La composición acumulada de la misma a lo largo del año fue 43 % residenciales, 29 % comercial y 28 % Industrial y Comercial grande (≥ 300 kWh). La distribución geográfica es: 39 % en Gran Buenos Aires, 12 % en Litoral; 11 % en provincia de Buenos Aires; 9 % en Centro; 8 % en Noroeste; 7 % en Noreste, 6 % en Cuyo; 4 % en Comahue y 4 % en Patagonia.

La actual distribución de las fuentes de generación de energía eléctrica y los futuros proyectos de energías renovables a incorporar en la red, se encuentran muy distantes del principal centro de demanda representado por Ciudad de Buenos Aires, provincia de Buenos Aires y sur del Litoral.

Debido a la variabilidad de las fuentes renovables, se presentan además nuevos desafíos para el operador del sistema, cuyo objetivo es mantener la calidad del producto eléctrico y velar por la seguridad operacional del mismo.

En este sentido, resulta necesario realizar estudios que analicen el funcionamiento del sistema eléctrico ante la incorporación de estas nuevas tecnologías. Para ello, resulta primordial utilizar modelos que representen adecuadamente el comportamiento de la generación renovable (ya sean generadores eólicos, módulos fotovoltaicos, etc) en distintas condiciones de servicio y su respuesta ante posibles perturbaciones.

A esta nueva situación del sector de suministro de energía eléctrica se suma el hecho de que los contratos de concesión de los servicios están siendo adecuados a los costos a través de procedimientos que eviten grandes aumentos en las tarifas a los usuarios del servicio eléctrico, circunstancia que requiere optimizar soluciones.

Respecto a esta problemática, las autoridades del sector eléctrico son conscientes del riesgo que se asume en la prestación del servicio eléctrico —cantidad y calidad de la energía— con condiciones previas de no inversión, lo que obliga a intensificar el control de la calidad del servicio.

Los aspectos señalados precedentemente refuerzan la estrategia de considerar también el fortalecimiento de la red eléctrica en la región, es decir incrementar las interconexiones internacionales con los países vecinos. Las interconexiones son el respaldo instantáneo más significativo a la seguridad del suministro, y a su vez aumentan la eficiencia de los sistemas interconectados, incrementando la integración

de energías renovables. A medida que aumenta la capacidad de interconexión, se maximiza el volumen de producción renovable que un sistema es capaz de integrar en condiciones de seguridad, dado que la energía renovable que no tiene cabida en el propio sistema se puede enviar a otros sistemas vecinos, en lugar de ser desaprovechada. Al mismo tiempo, ante la falta de producción renovable o problemas en la red, un alto grado de capacidad de intercambio permite recibir energía de otros países.

Respecto del rol del usuario quizás la no adecuada comprensión del funcionamiento del sistema eléctrico ha dificultado su participación en el sistema y lo ha mantenido en un segundo plano, como un consumidor pasivo. En la actualidad, la búsqueda de un consumo más eficiente y respetuoso del medio ambiente hace necesario que la relación entre energía y sociedad evolucione hacia un papel más activo por parte de los consumidores y para ello el consumidor debe contar con un mayor conocimiento de la electricidad y de cuáles son las buenas prácticas para un consumo eficiente.

PRINCIPALES CONTRIBUCIONES AL TEMA POR PARTE DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

La operación de los sistemas de transmisión cerca de sus límites, característica de nuestros sistemas de potencia, así como en la integración de nuevas tecnologías a la red, exige el uso de modelos más precisos del equipamiento relevante, en estudios de operación y/o planificación de la expansión.

Una parte importante de los modelos del SADI, utilizados en la base de datos de CAMMESA han sido desarrollados por el IITREE, para lo cual se han implementado metodologías de ensayos específicos para obtener los modelos y parámetros validados por mediciones en campo, de generadores sincrónicos y sus sistemas de control, ya sea regulación de velocidad, de tensión y sistemas estabilizantes que los caracterizan.

Las obras de interconexión en 500 kV que se han incorporado al SADI (NOA-NEA, Comahue-Cuyo y línea patagónica), han modificado su configuración de fundamentalmente radial a otra mallada. Dicho cambio estructural del SADI modifica su comportamiento dinámico ya que se alteran los modos dominantes de oscilaciones

electromecánicas, o sea los modos de oscilación entre máquinas sincrónicas con más bajos amortiguamientos.

A efectos de obtener un conocimiento acabado de dichos modos de oscilación electromecánicos, se ha desarrollado una innovadora herramienta informática para analizar, de manera rápida y confiable, los modos de oscilación que pueden esperarse en el SADI, ante distintos escenarios simulados en el programa PSS/E (Power System Simulator). Dicha herramienta informática se denomina Sistema Informático de Análisis Modal (SIAM) y es única en su tipo ya que utiliza como datos de entrada los resultados del flujo de carga realizados en el programa PSS/E y la base de datos nacional que también se encuentra cargada en el programa PSS/E (administrada por CAMMESA). El programa SIAM, en su versión original permite predecir los modos de oscilación de las distintas unidades generadoras del Sistema Eléctrico Argentino, clasificar al modo de oscilación (interárea, local, intraplanta, etc.) y obtener su frecuencia y su amortiguamiento.

En la continuidad de esta línea de investigación y desarrollo, está previsto ampliar las capacidades del SIAM a los efectos de determinar, la Observabilidad de los modos de oscilación (es decir determinar en qué variables del sistema de alta tensión son más observables los modos de oscilación) y la Controlabilidad de los modos de oscilación (es decir, identificar las variables del sistema sobre los que se debe actuar para amortiguar dichos modos de oscilación). Los resultados obtenidos con estas nuevas capacidades del SIAM serán de fundamental importancia para definir la necesidad, la ubicación y la potencia de los compensadores de energía reactiva a instalar, a fin de amortiguar convenientemente las oscilaciones de baja frecuencia que podrían presentarse en el SADI.

La operación en tiempo real del SADI —tendiente a su conservación en estado de equilibrio— requiere mejoras en las cadencias de tiempos de exploración y actualización de datos, debiendo actualizarse el Sistema Operativo de Tiempo Real (SOTR). Por lo tanto para acompañar el desarrollo actual de la tecnología a nivel mundial, se requiere emplear una base de tiempos de milésimas de segundo, lo que se logra con la utilización de Sincrofasores. Esta tecnología involucra el sensado simultáneo de las variables de interés en diversos nodos del Sistema, el envío en alta velocidad al Centro de Control Único, el procesamiento y la presentación a los

operadores en forma de diagramas fasoriales, tal como si estuvieran operando una red local. Se ha colaborado con CAMMESA en la experimentación en laboratorio de equipos terminales para mediciones fasoriales (Phasor Measurement Units - PMU) utilizados para la medición en campo.

El IITREE participa en un proyecto FONARSEC, junto con otros grupos de investigación para el desarrollo de los PMU, a su vez participará con otras universidades nacionales para implementar un sistema de monitoreo experimental en el SADI, al estilo de los que actualmente se desarrollan en Brasil, consistente en estaciones terminales (PMU) emplazadas en nodos del Sistema, el transporte de la información por canales de alta velocidad hacia el nodo concentrador, el tratamiento informático y la presentación a los operadores en forma de diagramas fasoriales, tal como si estuvieran operando una red local. Este proyecto piloto permitirá el desarrollo de aplicaciones, tales como el análisis de contingencias ocurridas simultáneamente en diversos puntos del Sistema, utilizando una base de tiempo universal (sincronismo con una señal proveniente de un GPS). Este significativo hecho de disponer de una base de tiempos única, permite determinar, ante la ocurrencia de fallas o eventos en el SADI, los tiempos de actuación de las protecciones, la correcta coordinación y escalonamiento de las mismas y una eficaz técnica o acción correctiva.

La oferta de unidades generadoras basadas en energías alternativas, ha generado serias inquietudes en el ambiente de las compañías eléctricas y de las empresas encargadas de la operación y seguridad del sistema eléctrico nacional (CAMMESA). Entre estas inquietudes se encuentran las consecuencias sobre la seguridad y operación del sistema que implican la conexión de estos dispositivos, el nivel de perturbaciones que los mismos originan y el comportamiento dinámico del sistema frente a una masiva utilización de este tipo de generación.

En esta línea de trabajo, y con la finalidad de contribuir al conocimiento sobre el nivel de perturbaciones producidas por las unidades generadoras basadas en energías alternativas (eólica, solar, etc), se han realizado mediciones remotas de las perturbaciones a partir del sensado del campo eléctrico, empleando un sensor diseñado y construido por el IITREE. Esta innovadora técnica propuesta por el IITREE, ha sido expuesta, validada y reconocida en importantes foros y congresos internacionales.

Por otra parte, la evolución del control en las empresas concesionarias de la distribución de la energía eléctrica debe ser contemplada a su vez por el impacto social que reviste dicha actividad, teniendo en cuenta los aspectos de calidad requeridos (confiabilidad, producto técnico, servicio, seguridad, etc.) y su vinculación final a las tarifas eléctricas y a las obras de expansión para mejorar la calidad y seguridad.

Las tendencias internacionales para mejorar el servicio eléctrico público en la actualidad, hacen foco sobre la automatización de la red de Media y Baja Tensión y la conexión a los clientes. Esta aplicación del telecontrol se denomina "Smart Grid" y su introducción requiere de ingentes esfuerzos en la experimentación y el desarrollo, tareas muy típicas de integración universidad-empresas prestadoras-autoridades eléctricas.

En las líneas de trabajo señaladas se contemplará a su vez desarrollar acciones en los aspectos de comunicación con el público, para concientizar a la población considerando dos aspectos. Por un lado, respecto a las necesidades del sector en cuanto a la incorporación de nuevas instalaciones de infraestructura o mejoras en la red existente, y por otra parte en la necesidad de modificar hábitos de consumo, considerando el ahorro energético.

PRODUCCIÓN DEL GRUPO

Si bien las actividades de transferencia enunciadas anteriormente, se formalizan con informes técnicos que son confidenciales y reservados para quienes requieren dicha actividad, los avances logrados en las líneas de trabajo suelen presentarse en congresos y publicaciones del sector, siempre que esto sea factible.

Las publicaciones realizadas en los últimos años han sido:

- 1) J. Agüero, P. Issouribehere, D. Esteban, F. Issouribehere, G. Barbera, H. Gastón Mayer (2015) "Grandes parques eólicos y su vinculación con el sistema de potencia en términos de compatibilidad electromagnética". XVI ERIAC. Trabajo: C4- 11. Puerto Iguazú, Argentina, 17 al 21 de mayo de 2015.

- 2) J. Agüero, G. Barbera, F. Issouribehere, H. G. Mayer, J. Diaz, N. Castro. “Determinación del impacto de la inclusión de paneles fotovoltaicos sobre la calidad del servicio eléctrico”. XVI ERIAC. Trabajo: C4-10. Puerto Iguazú, Argentina, 17 al 21 de mayo de 2015.
- 3) P. Issouribehere, J. Barbero, G. Barbera, F. Issouribehere, H. Mayer, P. Capechi “Desbalance en la tensión. Medición en el área metropolitana y verificación de equipos de registro”. Congreso y Exposición Internacional de Distribución Eléctrica, CIDEL 2014. Buenos Aires, Argentina, 22 al 24 de septiembre de 2014.
- 4) J. Agüero, P.E. Issouribehere, D.A. Esteban, F. Issouribehere, G.A. Barbera, H.G. Mayer. “Impact of large wind farms on power quality. First experiences gained in the argentinian power system”. Biennial CIGRE Session 2014, Trabajo: C4-102. Paris, Francia, 24 al 29 de agosto de 2014.
- 5) G. Barbera, M. Dalla Costa, F. Issouribehere, H. Mayer “Los nuevos sistemas de iluminación y su vinculación con las redes de suministro eléctrico”. XV ERIAC. Trabajo: C4.70. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 6) P. Issouribehere, J. Barbero, G. Barbera, F. Issouribehere, H. Mayer “Desbalances en sistemas de distribución. Evaluación experimental de los métodos existentes para su determinación”. Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia - 2013. Trabajo: FI-IE2. La Plata, Argentina, 21 al 23 de mayo de 2013.
- 7) G. Barbera, F. Issouribehere, M. Aly. “Proyecto e implementación de sistema para mitigación de huecos de tensión en planta industrial”. III Congreso de las Américas de Distribución Eléctrica. Córdoba, Argentina, 3 al 5 de octubre de 2016.
- 8) V. F. Corasaniti, M. B. Barbieri, P. L. Arnera “Filtro activo adaptado a diferentes configuraciones operativas de una planta industrial”. Reunión Bienal de IEEE en Argentina, ARGENCON 2014, 6. Artículo en CD: AGC77. San Carlos de Bariloche, Argentina, 11 al 13 de junio de 2014.
- 9) V. F. Corasaniti, M. B. Barbieri, P. L. Arnera. “Compensation with hybrid active power filter in an industrial plant”. *IEEE Latin America Transactions*. Trabajo: Vol. 11, n.º 1. , 2013

- 10) V. F. Corasaniti, M. B. Barbieri, P. L. Arnera. “Análisis de la ubicación y diseño conveniente de un filtro activo en una planta industrial ante diferentes escenarios de operación”. XV ERIAC. Artículo en CD: B4.46. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 11) S. Barbero, B. Barbieri, M. Beroqui, C. Biteznik. “Metodología para los estudios de reacceleración y re arranque de motores de inducción correspondiente a una planta industrial”. Expositor: Biteznik, Carlos E. Segundas Jornadas de Investigación y Transferencia - 2013. Trabajo: FI-IE3. La Plata, Argentina, 21 al 23 de mayo de 2013.
- 12) R. Bianchi-Lastra, B. Barbieri, J. Agüero, M. Lagleyze “Conversion of PSSE data file to ATP format for a study of voltage sags in an aluminum factory”. International Conference on Power System Transients IPST 2013. Vancouver, Canada, 07/2013.
- 13) P. Issouribehere, D. Esteban, F. Issouribehere, G. Barbera, H. Mayer. “Perturbation measurements on HV overhead lines using electric field sensors”. 2013 IEEE *Power & Energy Society General Meeting.*, 1 a 5. Vancouver, EEUU, 07/2013.
- 14) J. L. Agüero, R. D. Molina, J. C. Barbero, F. Issouribehere. (2016) “Poorly damped electromechanical oscillation in the 345 kV inter-connection between Argentina and Chile. Identification based on a sliding PRONY analysis”. Biennial CIGRE - Conseil International des Grands Reseaux Electriques. Paris, Francia, 21 al 26 de agosto de 2016. Artículo en CD: C2-205.
- 15) S. Barbero, M. Beroqui, M. B. Barbieri, P. Arnera (2015).”Wind power integration on interconnected or isolated upstream facilities”. 14th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Plants (WIW 15). 5. Trabajo: 175. Cód. Artículo en CD: 175. Bruselas, Bélgica, 20 al 22 de octubre de 2015.
- 16) M. B. Barbieri, R. Bianchi Lastra, M. Beroqui, V. F. Corasaniti, S. Barbero, P. Arnera “Comportamiento dinámico de motogeneradores funcionando en paralelo con la red o en isla”. XVI ERIAC. Trabajo: C2-13. Puerto Iguazú, Argentina, 17 al 21 de mayo de 2015.

- 17) J. L. Agüero y M. C. Beroqui. "Sistemas de excitación. Excitatriz rotante versus estática. Comparación parámetros de desempeño". XVI ERIAC, Trabajo: C2-14. Puerto Iguazú, Argentina, 17 al 21 de mayo de 2015.
- 18) C. Biteznik, J. Agüero, M. Beroqui."Herramienta flexible para análisis de estabilidad de pequeña señal". Terceras Jornadas de Investigación y Transferencia (ITE 15). Trabajo: IE3. La Plata, Argentina, 20 al 22 de abril de 2015.
- 19) C. E. Biteznik, J. L. Agüero, M. C. Beroqui. "Flexible tool for small signal stability analysis". 2014 IEEE Power & Energy Society General Meeting. 5. Trabajo: 947. Washington, DC Metro Area, EEUU, 27 al 31 de julio de 2014.
- 20) R. Bianchi Lastra, J. L. Agüero, M. B. Barbieri. "Generación de un modelo digital en el ATP a partir de un archivo de datos del PSSE para estudios de barridos de frecuencia". XV ERIAC. Trabajo: C4.71. Bianchi.1. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 21) C. Biteznik, J. Agüero, M. Beroqui, R. Canalis, S. Barbero "Sistema informático para análisis modal. Cálculo de la matriz a usando modelos de generadores, AVR y PSS". XV ERIAC. Artículo en CD: C2.60. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 22) P. E. Issouribehere, J. C. Barbero, F. Issouribehere. Expositor: F. Issouribehere. "Desarrollo de una herramienta computacional para la detección de modos de oscilación en sistemas de potencia basada en el análisis de PRONY". XV ERIAC. C4.71. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 23) M. Beroqui, M. B. Barbieri, P. Arnera, V. Sinagra, G. Amico. "Acceso a GBA a largo plazo. Alternativas de abastecimiento 2033". XV ERIAC. Trabajo: C1.54. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 24) V. F. Corasaniti, J. L. Agüero, R. Bianchi Lastra. "Modelo para estudios de estabilidad de calderas de recuperación de calor (HRSG) y turbina de vapor". XV ERIAC. C4.71. Corasaniti. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 25) J. L. Agüero, C. Tubello (NASA), F. Issouribehere."Central Nuclear Embalse. Modelos validados por ensayo de: regulador automático de ten-

- sion, limitadores de sobre y sub excitación y estabilizador de potencia”. XV ERIAC. A1.03. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 26) S. Barbero, J. L. Agüero, C. E. Biteznik “Modelado de generadores eólicos para estudios de estabilidad de pequeña señal”. XV ERIAC. C2.60. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 27) M. Beroqui, R. Canalis “Análisis de la generación conjunta una central hidráulica y un parque eólico”. XV ERIAC. C2.58. Foz de Iguazú, Brasil, 19 al 23 de mayo 2013.
- 28) L. Agüero, C. Tubello (NASA), F. Issouribehere. “Central Nuclear Embalse. Modelos validados por ensayo de: regulador automático de tensión, limitadores de sobre y sub excitación y estabilizador de potencia”. *Revista Ingeniería Eléctrica*, 8. Trabajo: 280. Buenos Aires, Argentina, septiembre 2013.
- 29) C. Biteznik, J. Agüero, M. Beroqui. “Power system linear modeling. Application for small signal stability analysis”. 13th Spanish Portuguese Conference on Electrical Engineering (13CHLIE). ISSN: 2172-1246, 6. Cód. Artículo en CD: 194. Valencia, España, 3 al 5 de julio 2013

FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Las actividades enunciadas permiten consolidar el grupo de trabajo existente en el Instituto, produciendo avances significativos en el conocimiento de las temáticas involucradas. Por otra parte, redundará en un mejoramiento de la calidad de enseñanza de grado en la Facultad de Ingeniería de la UNLP, ya que los integrantes del grupo son docentes de esta Facultad, en las Carreras de Ingeniería Electricista, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Electromecánica.

Además se transferirán estos conocimientos adquiridos en cursos de postgrado, seminarios, etc. con aporte de investigadores de otros centros nacionales y extranjeros, destinados a profesionales de empresas, investigadores, alumnos, etc., según el tipo de curso a desarrollar. La mayoría de estos cursos pertenecen a las carreras de Magister y Doctorado de la Facultad de Ingeniería de la UNLP. Estas carreras de postgrado se encuentran acreditadas con la máxima categoría (A) por la CONEAU.

Es permanente la participación de estudiantes en calidad de becarios y graduados en calidad de pasantes, todos ellos con becas financiadas con fondos propios correspondientes a los trabajos de transferencia realizados. Asimismo se dirigen tesis de Maestría y Doctorado, interactuando con docentes de otras carreras y Universidades.

FINANCIAMIENTO DISPONIBLE

La principal fuente de financiamiento del IITREE es, y ha sido históricamente, el producido por la vinculación y transferencia de conocimientos al ambiente electrotécnico, bajo la forma jurídica vigente en la UNLP para este tipo de actividad.

Por otra parte, los proyectos aprobados en el marco del Programa de Incentivos a Docentes-Investigadores de la SPU, cuentan con subsidios de apoyos otorgados por el Consejo Superior de la UNLP, para sus ejecuciones.

Se posee financiamiento de la ANPCyT (MinCyT), a través del programa FONARSEC para la ejecución del Proyecto UREE 004-13 “Sistema de medición fasorial orientado al desarrollo de redes inteligentes”. 01/07/15 - 30/06/18. Se trata de un CAPP (Consortio Administrativo Público Privado) conformado por INTI, UNLP, CSC-CONICET, Computec S.R.L.

Continúan los convenios con el Ente Nacional Regulador de la Electricidad para la realización de auditorías de la calidad de servicio en el área Metropolitana, estudios, asesoramientos y asistencia técnica.

El IITREE participa junto con el Departamento de Potencia del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (UdeLaR), en el proyecto “Evaluación del impacto en la Calidad de Servicio de generación eólica de gran escala” presentado ante la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) de Uruguay. En el marco de dicho proyecto se han dictado cursos de postgrado y dirigido Tesis de Maestría.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Key world energy statistics. International Energy Agency 2016. © OECD/IEA, 2016.
- [2] World Energy Perspectives Renewable Integration - Variable renewable integration in electricity systems: how to get it right - World Energy Council 2016.
- [3] Energy Matters. How COP21 can shift the energy sector onto a low-carbon path that supports economic growth and energy access. International Energy Agency 2015.
- [4] Resolución n.º 2016-213- Energías Renovables Adjudicación Y Redistribución, 7 de octubre de 2016.
- [5] Resolución n.º 2016-281- Resolución de Adjudicación de Ofertas del Programa RenovAr Ronda 1.5- 25 de noviembre de 2016.
- [6] Informe anual CAMESA - 2015.

Los CV resumidos de los docentes investigadores del Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata (IITREE-FI-UNLP) se encuentran en: <http://www.iitree-unlp.org.ar/integrantes>

Patricia Liliana Arnera

Ingeniero Electricista (UNLP-1981). Director del IITREE-FI-UNLP por concurso desde 2000. Profesor Titular Ordinario con dedicación exclusiva en el Área Sistemas de Suministro de Energía Eléctrica, dictando materias para las carreras de Ing. Electricista e Ing. Electromecánica de FI-UNLP. Categoría II en el Programa de Incentivos a Docentes Investigadores. Miembro de comisiones asesoras y Consejero Académico/Directivo de la Facultad de Ingeniería en varios períodos. Ha sido ProSecretaria de Políticas en Ciencia y Técnica (2004-2007) y ProSecretaria de Vinculación y Transferencia de la UNLP (2011-2014). Presidente de la Comisión de Investigaciones de la Universidad Nacional de La Plata (2014-2018). Directora de becarios y tesistas de postgrado. Director de Carrera de Ing. Electricista desde septiembre 2014. Miembro Titular de la Academia de la Ingeniería de la Provincia de Buenos Aires, desde 2004 y de la Academia Nacional de Ingeniería desde 2009. Representante de la Universidad Nacional de La Plata en el CAE-AUGM. Miembro Regular por Argentina en el Comité de Estudios Internacional de CIGRÉ (Conseil International des Grands Réseaux Electriques) SC C3 - “System Environmental Performance” y Presidente del mismo Comité Nacional, desde 2010. Senior Member de IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Presidente del Capítulo Argentino de Power Engineering Society (PES) años 2001 y 2002. Las principales áreas de trabajo, comprenden el análisis del funcionamiento en régimen transitorio de los sistemas de potencia, coordinación de la aislación, estudios dinámicos, de confiabilidad de suministro, planeamiento eléctrico y económico de redes de potencia, evaluación de impacto ambiental de instalaciones eléctricas, eficiencia en sistemas eléctricos.

María Beatriz Barbieri

Ingeniero en Telecomunicaciones (UNLP-1984). Sub Director de IITREE-FI-UNLP desde 2016. Responsable del sector Estudios Eléctricos del IITREE. Profesor Titular Ordinario Dedicación Exclusiva en el Área Tecnológicas Básicas, dictando materias para las carreras de Ing. Electricista e Ing. Electrónica de FI-UNLP. Categoría II en el Programa de Incentivos a Docentes Investigadores. Miembro de comisiones asesoras. Directora de becarios y tesistas de postgrado. Director de Carrera Alterno de Ing. Electricista desde septiembre 2014. Senior Member de IEEE. Presidente del Capítulo Argentino de Power Engineering Society (PES-IEEE). Especialista en Sistemas Eléctricos de Potencia, con amplio conocimiento en el funcionamiento de los mismos, en sus condiciones de operación normal y transitoria y el planeamiento técnico económico de los mismos. Estudios dinámicos, de confiabilidad de su-ministro, de coordinación de la aislación; evaluación de impacto ambiental de instalaciones eléctricas, eficiencia en sistemas eléctricos. Ha realizado estudios sobre los principales sistemas eléctricos de la Argentina, contribuyendo a establecer metodologías originales para nuestro país. Especialista en confiabilidad de sistemas eléctricos en plantas industriales.

Mario César Beroqui

Ingeniero en Telecomunicaciones (UNLP-1976). Especialista en control de procesos y en funcionamiento y operación de sistemas eléctricos. Se desempeñó en la Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires como becario y como Profesional de Apoyo hasta el año 2007. Las áreas de los principales trabajos realizados son: Control de procesos; Modelado y simulación de sistemas eléctricos; Regulación de velocidad de turbinas; Regulación de tensión; Estudios de estabilidad dinámica y transitoria en sistemas eléctricos; Estudios de planificación técnico-económicos de redes de alta tensión; Análisis de operación del sistema eléctrico nacional; Ensayo y modelado de lazos de excitación de tensión y de velocidad de unidades generadoras.; Metodologías para la determinación de reservas de generación necesarias en el SADI.

Determinación de las variaciones rápidas y lentas de la carga.; La actividad desarrollada se documenta en aproximadamente 400 trabajos, entre presentaciones a congresos o simposios e informes técnicos oficiales a empresas del sector eléctrico. Ha recibido y dictado numerosos cursos en las áreas mencionadas, complementando su formación con breves estadias en el CESI y en CRA de ENEL ambos en Italia. Actualmente es Profesor Adjunto de Sistemas de Potencia.

Santiago Barbero

Ingeniero Electricista, (UNLP-2010). Magister en Ciencias de Energías Renovables - Mención Eólica (UTN-2013), tema de tesis “Modelos simplificados de generadores eólicos para estudios de pequeña señal”. Director de Tesis Dra. ESTANQUEIRO, Ana (Universidad de Lisboa - FCUL) y Co-Director Ing. AGÜERO, Jorge (FI UNLP). Durante el año 2008 se desempeñó como becario del IITREE. Desde el 2007 es miembro estudiantil del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE). Durante el año 2015 fue secretario de IEEE PES Argentina. Desde 2010 forma parte del IITREE desempeñándose como profesional en el área de Estudios Eléctricos. Los temas en los que desarrolla su actividad es el análisis del funcionamiento de redes eléctricas en el ambiente industrial y sistemas de potencia, ajuste y coordinación de protecciones, realizando estudios de flujos de potencia y cortocircuitos; armónicas; estudios de estabilidad dinámica y transitoria, estudios de acceso a la capacidad de transporte. Ha presentado publicaciones en congresos nacionales e internacionales. Es Jefe de Trabajos Prácticos de las Cátedras “Campos y Ondas” y “Teoría de la Transmisión de la Energía Eléctrica”.