

The Argentine Electrical Sector and Its Trends Toward Renewable Energies

H. Villarroel-Gutiérrez, *Student Member, IEEE*

Abstract— In view of the imminent massive income of renewable generation in the Argentinian System of Interconnection (Spanish acronym SADI), it is important to analyze the impact of these new technologies on the fundamental variables of the system. The injection of power from renewable energy sources (RES) brings with it a series of well-known socio-technical-economic benefits. However, both the possible difficulties and the negative impacts that these technologies can have on the SADI have not yet been analyzed. For this reason, the present work aims to study the current conditions of the SADI that could both favor and hinder the incorporation of RES into the national energy matrix. Among other topics, the country's energy profile will be evaluated starting from the description of the transmission system in alteration, together with the analysis of the primary energy matrix and the historical and current trends of the country's electricity market were analyzed in the light of the new Law 27191. Subsequently, we proceed to the recognition of the main technical challenges that the new RESs will face for the SADI.

Index Terms—Argentinian, Challenges, Electricity market, Energy matrix, Renewable energy sources, Transmission system.

I. INTRODUCCIÓN

DURANTE los últimos años se logró comprobar que el uso eficiente de recursos energéticos distribuidos (REDs) y fuentes de energía renovables (FERs) contribuye significativamente al desarrollo económico, social y ambiental de las naciones [1, 2]. Hoy en día, la identificación de los recursos energéticos es esencial para evaluar alternativas de desarrollo y trabajar para la sostenibilidad energética en un país [3, 4].

En este sentido, el enorme potencial de Argentina en FERs hace que sea imperativo incluirlas en la ecuación. Además, las economías regionales a menudo dependen de escenarios energéticos que podrían sustituir a la producción centralizada. Por ejemplo, a través de REDs como la eólica, la solar y la biomasa, así como vectores de bioenergía como biogás, pellets de biomasa, carbón y otros biocombustibles, ya sea para uso local o para la exportación. En lo que respecta a Argentina, esta idea es compartida tanto por el gobierno nacional como por las entidades dedicadas al mantenimiento, operación y planificación del Sistema Argentino de Interconexión (SADI) [5-8].

Argentina por ser un país con recursos naturales abundantes [9, 10] grande y con una superficie que lo lleva a ser el octavo más del mundo, en cuanto a las FERs, sigue siendo una mina de oro a la espera de ser explotada. Asimismo, el SADI sufre en la actualidad las consecuencias de más de una década con inversiones deficientes, tarifas altamente subsidiadas y, en consecuencia, una precarización de la matriz energética [11-14] reflejada en la escasa seguridad y calidad del producto eléctrico [15]. Ante este panorama cuasi caótico, a fines del año 2015 se estableció una política de estado a largo plazo para el desarrollo de la energía, que alienta el uso de combustibles no fósiles adecuados para la protección del medio ambiente y la sostenibilidad económica [16, 17]. Aunque existían leyes anteriores, la ley 27191 [18], establece que estas formas de energía deben alcanzar el 20% de la matriz en el año 2025. Posteriormente, el decreto 531/16 [19] estableció con mayor detalle tanto los objetivos de la ley como la forma de cumplirlos. Esto resulta ser un gran desafío ya que la energía generada a partir de FERs actualmente representa casi el 2% del consumo energético del país [20-22].

En concordancia con todo lo descrito, el gobierno nacional lanzó el plan *RenovAr* para inversiones en FERs a lo largo y ancho de todo el país [23]. Este programa abarca procesos licitatorios de carácter público y periódico en que las empresas, tanto nacionales como internacionales, presentan y ofertan sus proyectos de inversión. De esta manera, las compañías presentarán el precio al cual están dispuestos a vender su energía [24, 25]. La Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista (CAMMESA) es la encargada de gestionar estos contratos a largo plazo, los cuales se cotizan en dólares.

Ahora bien, la experiencia extranjera indica que cuando se introdujeron FERs en sistemas eléctricos de potencia (SEP) por primera vez, aparecieron nuevos desafíos para los operadores de la red [26]. En primer lugar, la intermitencia de los recursos no convencionales puede causar problemas técnicos y económicos adicionales, que limiten su nivel de penetración [27, 28]. En segundo lugar, a diferencia de las centrales eléctricas convencionales, los generadores renovables requieren ubicaciones específicas, con un gran potencial de recursos, pero cuya distancia a la carga suele estar muy lejos de los centros de consumo [29]. Finalmente, la incorporación masiva de dispositivos electrónicos (inversores, elementos de control, etc.) propios de las FERs, son razones por las cuales la calidad y seguridad de la energía de un SEP pueden verse seriamente deterioradas.

Por todas estas razones, el presente estudio discutirá elementos fundamentales del sector eléctrico argentino; dentro

del cual se destacan el sistema eléctrico junto a la matriz de generación y las principales características del mercado de energías renovables en Argentina. Posteriormente, sección III, se analiza el potencial de Argentina para la implementación de energías renovables que aporten a la red eléctrica, seguido por los puntos más sobresalientes de la ley denominada “*Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía*” [18, 30], junto a la presentación del estado actual de las FERs en el país. Una vez sentada las bases del sector eléctrico y de energías renovables en Argentina, se procede al reconocimiento de los principales desafíos que enfrentarán las nuevas FERs en el SADI hacia una matriz energética sostenible; estos contenidos se desarrollan en la sección IV. Finalmente, en la sección V se presentan las conclusiones desarrolladas como producto de este trabajo de revisión sobre las energías renovables en Argentina.

II. SECTOR ELÉCTRICO ARGENTINO

A. Caracterización del Sistema Eléctrico

La demanda residencial en la Argentina se ha incrementado a un ritmo promedio de 5% anual durante los últimos 25 años [31, 32]. En este contexto, el país requiere incrementar cada año la capacidad instalada alrededor de 900 MW para satisfacer la creciente demanda eléctrica. Además de este aumento, la Argentina requiere dotarse de potencia que no fue instalada en estos últimos años para recuperar el margen de reserva demandada por el SADI [33, 34]. Se estima entonces que para satisfacer la demanda eléctrica hasta el 2021 inclusive, será necesario incorporar 5 GW de nueva generación (2 GW para recuperar la reserva); enfrentando así en mejores condiciones las altas demandas de baja probabilidad (invierno/verano) [1].

La evolución de la demanda de potencia del mercado eléctrico presenta el perfil que se expone en el Fig. 1, donde puede apreciarse un crecimiento casi permanente en la tasa anual (con fuertes altibajos). Entre los extremos de la serie de 15 años analizada, el crecimiento expone una tasa acumulada anual del 4.34%. Si bien en los últimos años las potencias máximas han crecido [34], dicho incremento a veces ha estado por debajo de la tasa acumulada anual de crecimiento de dicha potencia.

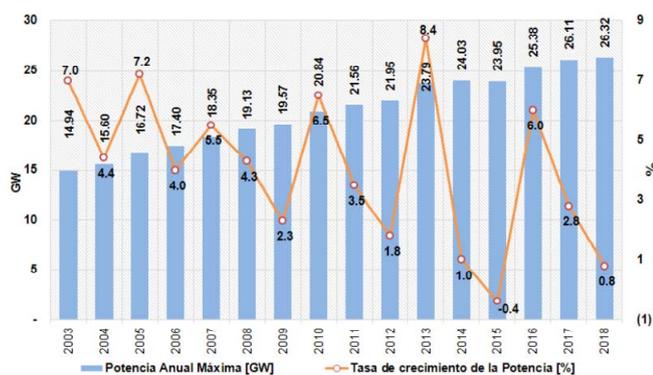


Fig. 1. Tasa de crecimiento y máxima potencia anual.

En cuanto al sistema de transporte, todo el país se encuentra

desde 2012 conectado al SADI; administrado por la empresa CAMESA. A continuación, la Tabla I resume el estado actual de la red de transporte del SADI [35].

TABLA I
SITUACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN ACTUAL

Propietario	Región	Nivel de Tensión [kV]	Extensión [km]
Transener S.A.	Buenos Aires, Litoral y Centro	500 y 220	11 355
Transnoa S.A.	Noroeste argentino	500 y 132	4181
Transnea S.A.	Noreste argentino	220, 132 y 33	1465
Transpa S.A.	Patagonia	330 y 132	2211
Distrocuyo S.A.	Cuyo	220 y 132	1245

El gobierno argentino tiene planes para la expansión requerida del sistema de transmisión [36]. El objetivo es reforzar el sistema troncal de 500 kV (*Plan Federal I*, ver Fig. 2) y los sistemas regionales con vínculos de transmisión en niveles de tensión inferior (*Plan Federal II*).

Las diferentes áreas del SADI son: *Gran Buenos Aires* (GBA), *Buenos Aires* (BAS), *Patagonia* (SIP), *Noroeste* (NOA), *Centro*, *Comahue*, *Litoral*, *Cuyo* y *Noreste* (NEA). Respecto a *Comahue*, es una zona de exportación y se caracteriza por una gran generación hidroeléctrica. La región está vinculada al SADI a través de cuatro líneas de 500 kV y posee capacidad de exportar hacia *Cuyo* y GBA una potencia de 5300 MW. La región NOA es una zona de exportación, con un parque de generación máxima de 2800 MW, principalmente térmica. El área está unida por dos líneas de transmisión, una al NEA y otra al corredor *Cuyo-Centro-Litoral-GBA*. La región de *Cuyo*, por otro lado, también es una zona de exportación; posee básicamente generación hidroeléctrica, y se vincula al SADI mediante dos líneas de transporte en 500 kV que la conectan con la región *Comahue* y el corredor *Centro-Litoral-GBA*. Por último, el SIP fue el último en vincularse al SADI (año 2012), lo hace mediante un vínculo de 500 kV interconectado al enlace *GBA-Comahue*.

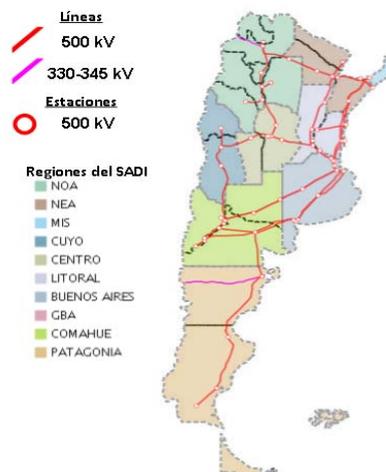


Fig. 2. Sistema Argentino de Interconexión (SADI) [37].

En cuanto a nuevos proyectos de generación, distintas resoluciones establecieron un límite por corredor, área y punto de interconexión (PDI). El trabajo [38] se centra en el análisis de las restricciones establecidas para los corredores, ya que se espera que los proyectos del programa *RenovAr* no tengan las condiciones necesarias para evacuar generación en el PDI. La Tabla II muestra la capacidad remanente en cada una de las regiones del SADI, posterior al proceso de adjudicación de potencia.

TABLA II
CAPACIDAD REMANENTE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN [38]

Región	Capacidad Inyectada [MW]	<i>RenovAr</i> 1,5 [MW]	<i>RenovAr</i> 2 [MW]	Capacidad Remanente [MW]
BAS Sur	500	236	266.425	-2.425
Comahue	313	137	200.4	-24.4
Cuyo	800	404	199.9	196.1
NOA	250	259	353	-362
Patagonia	290	200	99	-9

En [38] se realiza un diagnóstico del SADI, centrado en las zonas eléctricas en las que entrará la generación renovable, y analiza cómo la capacidad de la infraestructura se verá afectada por dichas asignaciones. El estudio concluye, que cualquier ingreso o nueva potencia inyectada por encima de estos valores estará sujeta a nuevas extensiones en el sistema de transmisión.

B. Matriz Energética Primaria

La Argentina, como muchos otros países, utiliza un alto porcentaje de hidrocarburos para la producción de energía eléctrica. El petróleo y el gas alcanzan el 63.51% del total de la oferta energética del país (ver Fig. 3) [39, 40]. El petróleo representa alrededor del 32% de la oferta mundial de energía [41, 42], pero en la Argentina se consume actualmente una proporción por debajo del promedio mundial (19.05%).

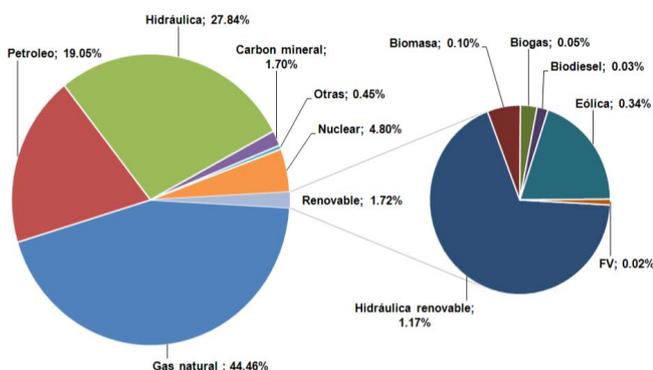


Fig. 3. Matriz energética primaria.

El país no consume cantidades significativas de carbón (sólo 1.7% del total), a diferencia de otros países como China, los Estados Unidos o Alemania donde el carbón es una de las fuentes más utilizadas [43]. Por su parte, el gas natural tiene un

importante desarrollo en la Argentina y gran participación en la matriz energética [44, 45]. Su desarrollo comenzó a fines de la década de 1940 con la construcción del gasoducto entre *Comodoro Rivadavia* y *Buenos Aires*. Luego, el descubrimiento del mega-yacimiento de *Loma La Lata*, en la provincia del *Neuquén* durante la década de 1970 [46], produjo un cambio significativo en la matriz energética nacional [47]. A nivel mundial, la Argentina tiene la segunda reserva de gas y la cuarta de petróleo no convencional, lo que posibilitaría aumentar nueve veces las reservas de petróleo y treinta veces las reservas de gas [48, 49]. Este potencial es fundamental para lograr el autoabastecimiento energético de manera sostenida en el tiempo.

Por otra parte, la energía hidráulica (27.84%) y la nuclear (4.8%) han crecido en los últimos cuarenta años debido a la construcción de grandes centrales de generación [50, 51]. Puede apreciarse, en la Fig. 3, que la energía eólica y la energía solar son aún incipientes y no tienen un impacto considerable sobre la oferta total de energía del país.

La generación eléctrica necesaria para cubrir el nivel de demanda actual presenta un perfil con una creciente participación de la generación térmica, como se muestra en la Fig. 4 [43]. En dicho gráfico (Fig. 4) puede apreciarse la evolución en la generación instalada por tecnología durante los últimos 15 años; detallando, además de la demanda máxima, la cantidad (en GWh) de energía importada por año.

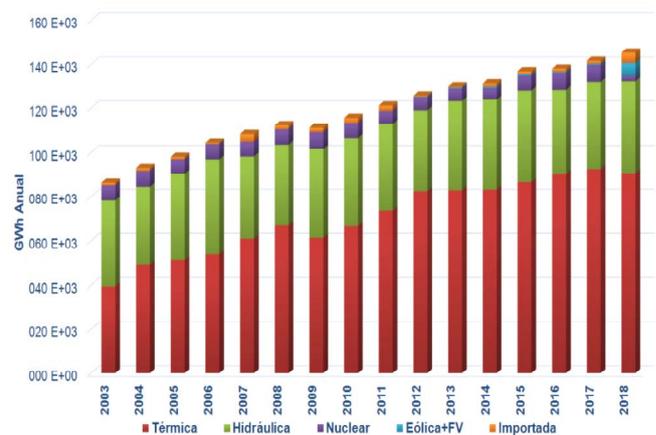


Fig. 4. Generación anual por tipo [43].

Desde hace varios años, el mercado eléctrico en Argentina atraviesa un incremento de la demanda que, sumado al hecho que hasta hace un par de años las tarifas estaban planchadas [52], ocasionó un ensanchamiento del déficit de CAMMESA. Esto implicó un mayor desenvolvimiento de erogaciones por parte del Estado para cubrir el déficit del sector. Así, por ejemplo, los subsidios a la energía eléctrica alcanzarían un monto equivalente al 2.2% y el 3.6% del PBI en 2015 y 2016, respectivamente [53, 54].

La falta de inversión en el sector energético y la constante regulación de precios complicaron la situación en un contexto de escasez de divisas, restricción al crédito y subsidios que foguearon el consumo. Por tales razones, el sector energético argentino agravó año a año su crisis estructural. La matriz

energética presentó una acentuada caída en la producción, acompañada por la disminución en las reservas de gas natural y petróleo. Hechos que han llevado en los últimos años a aumentar sustancialmente los volúmenes de energía importada desde países vecinos, como puede apreciarse en la siguiente Fig. 5 correspondiente al año 2016 [39, 55].

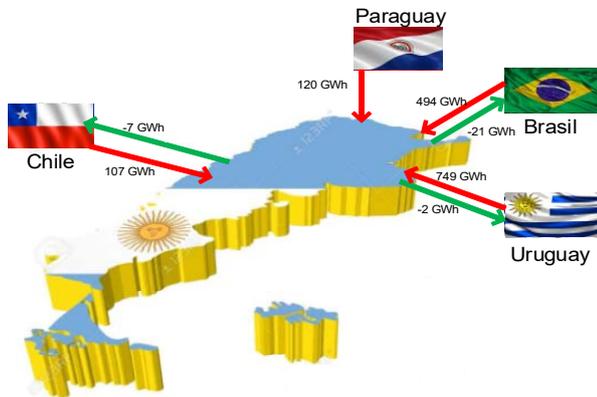


Fig. 5. Energía importada desde países vecinos.

Las importaciones que requiere el parque térmico, exponen la gran inseguridad de todo el sistema energético debido a las fluctuaciones de los precios internacionales de combustibles fósiles [56]. Actualmente, resulta un verdadero problema devenido en una importante erogación de dinero, el hecho que Argentina dependa de energía importada. En los últimos años, el intercambio más significativo se produjo con Brasil, a razón de 900 MW promedio durante los últimos años. Sin embargo, las condiciones económicas y financieras solicitadas por el país vecino son muy desfavorables para la Argentina. Entre las características principales, se destaca el prepago por el consumo a 7 días de la energía y los costos asociados a la transmisión y conversión a 60 Hz; dando un precio final estimado 350 US\$/MWh. Mientras que el costo promedio por MWh producido en el país ronda los 70 US\$ [46].

C. Mercado Eléctrico Mayorista

El sector eléctrico en Argentina se basa en un mercado competitivo, liberalizado para los agentes de generación de energía y monopolizado en las redes de transmisión y distribución [57]. El SADI está interconectado con cuatro países fronterizos: Uruguay, Brasil, Paraguay y Chile. El consumo de energía eléctrica es de alrededor de 144 000 GWh/año, con una tasa de consumo per cápita anual de alrededor de 3 kWh por habitante. Comparando con otros países, este valor de consumo per cápita es menor debido al bajo grado de electrificación, fundamentalmente en zonas rurales del país. El precio de la electricidad en el mercado mayorista es de alrededor de 70 US\$/MWh, y la carga de demanda máxima es de aproximadamente 24 GW [39].

Al momento de liberalizar su industria energética Argentina (1992) era el país latinoamericano más exitoso, gracias a la introducción de la generación térmica basada en turbinas de gas de ciclo combinado que produjo una reducción de los precios mayoristas de electricidad de hasta 25 US\$/MWh con mayores

niveles de reserva de energía. Por otro lado, Argentina fue el primer país latinoamericano donde se regularon la calidad y confiabilidad de la energía. Sin embargo, el éxito del mercado eléctrico argentino duró solo unos pocos años, debido a un cambio ideológico en la política energética introducido a principios del presente siglo. Esto causó una reducción en la inversión de generación, el abandono de la exploración de nuevos recursos de petróleo y gas natural; además de la intervención indirecta en empresas privadas por parte del estado a través de la congelación de aranceles con un alto nivel de subsidios (en algunos casos, hasta 90% del costo total de las tarifas) [30].

Durante el período 2001-2015 como resultado de la reducción de la inversión privada, se produjo un deterioro pronunciado de la calidad de la energía con un déficit gradual y una pérdida de las condiciones del "mercado", empobreciendo a las compañías eléctricas que se redujeron a meros observadores del proceso controlado por el estado. Esta crisis obligó a Argentina -que había estado exportando gas natural a Chile y Uruguay- a comenzar a importar gas desde Bolivia y Brasil e incluso a comprar gas natural licuado. Del mismo modo, el sector eléctrico pasó de ser puramente exportador de electricidad entre 2001 y 2006 (principalmente a Uruguay y Brasil) para convertirse en un importador neto entre 2010 y 2015 [33].

Por otro lado, y en lo que atañe a las FERs, en Argentina al igual que en el resto del mundo, una gran barrera para el crecimiento rápido y generalizado de las renovables fue el subsidio recurrente sobre los combustibles fósiles. En 2014, la proporción entre los subsidios a combustibles fósiles y los subsidios a energías renovables fue de 4:1 [53]. Sin embargo, desde principios de 2016 el estado comenzó a implementar algunas normas para regularizar los precios de los productos básicos (combustibles fósiles y electricidad) y mejorar la regulación de las FERs, incluidos muchos incentivos para los inversores privados. De este modo, la sanción y promulgación de la Ley 27191 [18], se efectuó en el 2015 a través del decreto reglamentario 531 del Ministerio de Energía y Minería de la Nación (MINEM).

III. ENERGÍAS RENOVABLES EN ARGENTINA

A. Potencial en Recursos Renovables

Con una superficie que ronda los 2.8 millones de km², donde el 53% de las tierras es cultivable y un amplio litoral (4700 km), geográficamente Argentina tiene condiciones óptimas para el desarrollo de FERs. Sin embargo, las FERs (eólica y solar, principalmente) están lejos del centro de consumo más grande de Argentina (Buenos Aires), que representa casi el 50% de la demanda total del sistema. En su mayoría, el gran poder del recurso renovable eólico está en *Comahue* y *SIP*, y la energía solar en el área de *Cuyo* y *NOA* [38]. Se analizará seguidamente algunas de las opciones de FERs más aptas a desarrollar en el país.

Energía Eólica

Según la Asociación Argentina de Energía Eólica, la

dotación de recursos naturales de Argentina para la generación eólica es muy alta [58-60]. Los vientos de más de 6 m/s en el 70% del territorio nacional con una dirección y constancia que permiten obtener factores de capacidad del 35% y mayores [61], son un claro ejemplo de dicho potencial. El mapa de viento que se muestra a continuación (Fig. 6) muestra el importante potencial eólico, principalmente en la Patagonia, con velocidades que exceden un promedio de 9 m/s.

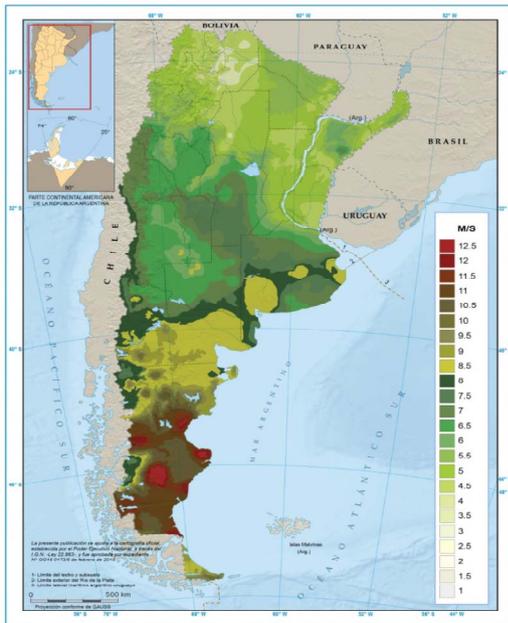


Fig. 6. Mapa eólico de Argentina [60].

En particular, los parques eólicos en suelo patagónico tienen una generación anual sostenida con más de 5000 horas por año y factores de capacidad del orden del 35 al 39%. Técnicamente, la incorporación de 2000 a 3000 MW de generación eólica sería viable y económicamente conveniente para el SADI [1]. Las instalaciones en *Rawson* y *Puerto Madryn* (provincia de Chubut), muestran que los parques eólicos con una potencia de 50 a 100 y 200 MW pueden ingresar al SADI en 12 a 18 meses con todas sus unidades disponibles [62, 63].

Si para el 2021-2022 solo esta energía eólica estuviera instalada en granjas ubicadas estratégicamente, la generación de energía limpia contribuiría alrededor del 6% a la matriz energética nacional [64]. Argentina tiene mayor capacidad eólica que líderes mundiales como Dinamarca o España [65].

Bioenergía

Según [1], en Argentina se puede operar con centrales de biomasa de potencia de hasta 10 MW con un factor de uso superior al 80% anual. Con una distribución territorial absolutamente competitiva con las centrales “delivery”, se sustituiría el uso de gasoil por biomasa renovable con una mejor calidad de prestación y servicio, mediante motores de alta eficiencia capaces de utilizar biocombustibles [66, 68]. Los mismos podrían ser accionados por productos del procesamiento de biomasa, como aceite vegetal, o gases sintéticos, entre otras alternativas, en motores recíprocos o

turbinas de vapor de pequeño módulo [69].

El tipo de plantas con pequeñas turbinas de vapor o motores alternativos, proporcionados por empresas que ya se encuentran en el mercado argentino, pueden comenzar a operar en tiempos similares a los de una central térmica diésel y responder a la urgencia del sector con costos muy convenientes. En Argentina, es posible operar con centrales eléctricas de biomasa, obteniéndose costos de generación de electricidad que son 6.5 veces más bajos que los del diésel importado [70].

En [71] se propuso un trabajo interinstitucional de Escenarios Energéticos 2035 para Argentina, con la incorporación relevante de vectores de bioenergía. Este estudio proporciona, en lo que respecta al biogás, la instalación de hasta 2000 MW de generación que consume aproximadamente 15 MMm³/d. Se esperaría que, al final del período de análisis, el área afectada para la producción de biogás sea de aproximadamente 4 millones de hectáreas. Las centrales eléctricas que utilizan bioenergía ofrecen actualmente poca potencia en el mercado argentino (por ejemplo: *El Jote*, provincia de San Luis; *Virasoro*, provincia de Corrientes; *San Miguel*, provincia de Buenos Aires, etc.; entre las 3 no superan los 10 MW).

Energía Solar

Para la instalación de plantas de energía FV con una potencia significativa, Argentina cuenta con varios sitios atractivos debido a su bajo costo de tierra, alta radiación solar (ver Fig. 7) y muchos puntos de interés con red disponible (región *Cuyo* principalmente). Según el Atlas de Energía Solar de la República Argentina, más de la mitad del territorio nacional recibe una radiación solar anual promedio de más de 3.5 kWh/m², lo que lo hace técnicamente viable para su explotación [72, 73].

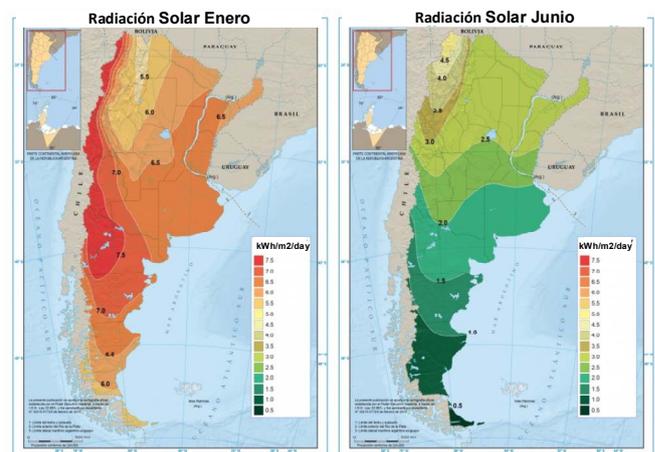


Fig. 7. Mapa solar de Argentina [72].

En esta opción tecnológica, los costos han disminuido significativamente y se espera que continúen haciéndolo en un futuro próximo [74]. Los primeros contratos celebrados hace 7 años en Argentina fueron de alrededor de 560 U\$\$/MWh, mientras que hoy son alrededor de 50 U\$\$/MWh [75]. Este precio se redujo sustancialmente debido a los cambios en el marco regulatorio y las líneas de crédito adaptadas

periódicamente de acuerdo con las demandas de los mercados internacionales. Con tasas competitivas y periodos de pago de acuerdo con los valores internacionales del sector, las tasas locales serían significativamente más bajas y muy competitivas con otras tecnologías [76].

B. Programas de Incentivos a las FERs

En los últimos años se destacaron varios programas relacionados con las FERs en el país [77]. Las políticas estatales están orientadas por dos estrategias aisladas entre sí: una para promover grandes proyectos que modifiquen la configuración actual de la matriz energética (diversificación de la matriz de generación) y otra para promover el uso de las FERs incorporando sectores de la población que tienen dificultades de acceso (universalización del acceso a la energía).

El Programa de Energía Renovable en Mercados Rurales (PERMER, 1999 hasta la actualidad) es el primer programa específico y de gran escala desarrollado en el país, y fue concebido para responder a las necesidades de electrificación de las poblaciones rurales aisladas. Este programa se implementa a partir de acuerdos con los gobiernos provinciales y aportes de financiamiento del Banco Mundial. Refiere principalmente al abastecimiento de energía (eléctrica y térmica) para viviendas rurales aisladas y establecimientos públicos como escuelas, centros de salud y destacamentos policiales [78].

El Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE, 2007 hasta la actualidad) fue creado con el objetivo de propender a un uso eficiente de la energía eléctrica y de concientizar a los usuarios sobre el uso racional de dicho recurso. Se trata de un programa complementario a los otros programas de FERs [79]. Para esto propone medidas en un amplio abanico de sectores que van desde la educación, al etiquetado de productos, así como a la mejora en la eficiencia del alumbrado público y al análisis de los instrumentos regulatorios para fomentar la eficiencia en diversos sectores de consumo de energía.

El programa Generación Renovable (GENREN, 2009-2015) estuvo orientado a la promoción de proyectos de generación basados en FERs interconectados al SADI. Fue implementado a través de la empresa estatal Energía Argentina S. A. (ENARSA), con la finalidad de “afianzar el desarrollo sustentable de las energías renovables en todo el país” [77]. El GENREN comienza con una licitación de 1000 MW de potencia en proyectos renovables, la cual se ve superada por las ofertas presentadas en el 2009 (superiores a 1440 MW). Sin embargo, cinco años después, dentro del programa sólo se llegó a habilitar un 19% de la potencia originalmente licitada.

El proyecto IRESUD (2011 hasta la actualidad) tiene por objeto desarrollar tecnología y conocimiento local para promover en Argentina la instalación de sistemas FV de baja tensión vinculados a la red eléctrica. Contempla cuestiones técnicas, económicas, legales y regulatorias [79]. El proyecto es parcialmente subsidiado con Fondos Argentinos Sectoriales (FONARSEC), a través de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Finalmente, desde el año 2016 se implementa el programa *RenovAr*, como una Convocatoria Abierta Nacional e Internacional para la calificación y eventual adjudicación de ofertas. Tiene por objetivo la celebración de contratos de abastecimiento de energía eléctrica generada a partir de FERs, en aras de aumentar su participación en la matriz energética del país. El abastecimiento se hace a través de CAMMESA en representación de los agentes distribuidores y grandes usuarios del MEM [80].

Este programa es producto de la ley 27191, la cual declara de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir de FERs, como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad [81]. Los aspectos principales de la ley promulgada por el Congreso de la Nación Argentina en 2015 y actualmente en vigencia, se detallan a continuación [82]:

- El nuevo marco legal permite planificar el desarrollo del mercado a largo plazo proporcionando previsibilidad para las inversiones
- Adapta y mejora el marco regulatorio para aumentar la participación de FERs y diversificar la matriz energética nacional
- Instruye al MINEM a establecer los mecanismos de contratación para cumplir las metas y a promover la diversificación tecnológica y geográfica en el desarrollo del sector
- Habilita a los Grandes Usuarios (>300 kW) a contratar energía renovable de forma directa con los generadores (y penaliza su incumplimiento)
- Crea un fondo fiduciario (FODER) para financiar y garantizar las inversiones

El programa *RenovAr* presenta una serie de ventajas respecto de sus predecesores inmediatos que, hasta el momento, le permiten gozar de cierto éxito. En cuanto a los incentivos fiscales, se deben destacar las siguientes mejoras a tener en cuenta [83]:

- Exención de aranceles a la importación de equipos, partes, repuestos, componentes y materias primas (previo control de falta de oferta local) hasta el 31/12/2017
- Amortización acelerada
- Devolución anticipada de IVA
- Exención del Impuesto a las Ganancias Mínimas Presuntas
- Exención del Impuesto a los Dividendos ante la reinversión en infraestructura
- Deducción de la carga financiera en el Impuesto a las Ganancias
- Certificado Fiscal sujeto a acreditación de componente nacional y transferible a terceros

Además del plan de promoción y regulación existente a nivel nacional, algunas provincias han proporcionado, en sus respectivas jurisdicciones, otros beneficios de promoción y esquemas regulatorios. Como síntesis, las principales disposiciones provinciales para la promoción y regulación se muestran en [78].

En cuanto a la GD, la Comisión de Energía y Combustibles de la Cámara de Diputados emitió una opinión favorable para el proyecto de ley sobre GD. El proyecto (ley 27424) establece

las condiciones para la generación de energía eléctrica renovable por parte de los usuarios de la red, que eventualmente podrán inyectar el excedente de su generación en el sistema. Se espera que se cree una nueva figura ("el usuario-generador") en el mercado energético [84]. Este es un hito muy importante para lograr un marco regulatorio completo que promueva el desarrollo de FERs en el país.

C. Desarrollo de Energías Renovables

La ley 27191 estableció como objetivo que la contribución de las FERs debería alcanzar el 8% del consumo anual al 31 de diciembre de 2018, aumentando dicha participación porcentual de forma progresiva hasta alcanzar un veinte por ciento (20%) al 31 de diciembre de 2025 (ver Fig. 8).

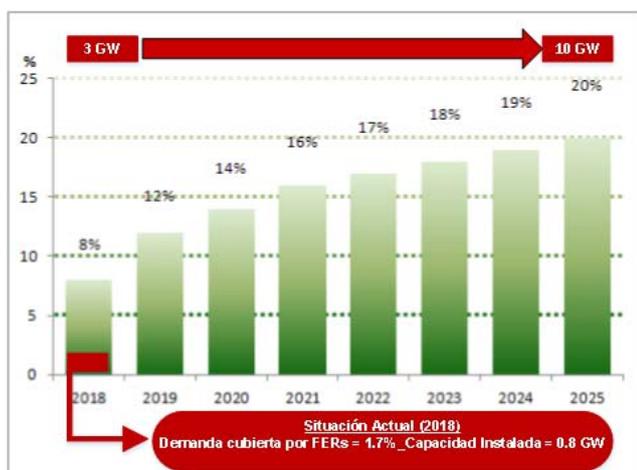


Fig. 8. Metas del Programa *RenovAr* [83].

Para alcanzar la meta establecida para el año 2025, es necesario un proceso continuo de inversiones en el sector de las FERs en los próximos años (incorporar 10 GW para un total de US\$ 1500 millones de inversión anual [39]). Se espera que este crecimiento sea del 4% para 2019, del 2% en 2020 y 2021 y del 1% desde 2022 hasta diciembre de 2025 [85].

En virtud de la ley 27191 se realizaron tres subastas públicas, dos en el año 2016 y una durante el 2017 (*RenovAr* 1.0, 1.5 y 2.0) de proyectos de generación renovables. El concurso se basó en la adjudicación a los proyectos con menores tarifas eléctricas. La convocatoria del Programa *RenovAr* 1.0, se llevó a cabo entre julio de 2016 (convocatoria) y octubre de 2016; resultando un total de 1143 MW de potencia contratada con una energía estimada de 4205 GWh/año. Como resultado de la licitación, se asignaron para generación eólica 708 MW en un total de 12 proyectos, la energía solar obtuvo 400 MW con cuatro proyectos, el biogás 6 MW con nueve proyectos, dos proyectos de biomasa que sumaron un total de 15 MW y para los Pequeños Aprovechamientos Hidráulicos (PAH) 11 MW con un total de cinco proyectos [86].

Motivados por el gran éxito de la convocatoria inicial donde se adjudicaron 1143 MW de 6346.3 MW ofrecidos en las distintas tecnologías, se lanzó un nuevo programa denominado *RenovAr* 1.5. Esta nueva licitación tuvo como objetivo incluir áreas con buenos recursos renovables que se dejaron fuera de

los proyectos adjudicados. En esta segunda ronda de negociaciones, solo se recibieron proyectos de generación eólica y FV. La generación renovable ofrecida alcanzó 1561.3 MW de generación eólica y 925.12 MW de generación solar [87]. La potencia adjudicada para cada tecnología fue de 765 MW para 10 proyectos eólicos y 516.2 MW en 20 instalaciones FV. Esta segunda ronda incrementará la generación de FERs en 4311 GWh/año, es decir, un porcentaje del consumo anual de electricidad de 3.12% en Argentina.

Posteriormente, el llamado *RenovAr* 2.0 fue lanzado en el mes de Agosto del 2017 y las presentaciones fueron en el mes de Octubre. El MINEM informó que se recibieron ofertas para 228 proyectos por 9391.3 MW en 21 provincias, frente al objetivo inicial de 1200 MW. El total adjudicado es por 1408.7 MW los cuales corresponden a 66 de las ofertas mejor calificadas; 117.2 MW en 14 proyectos de biomasa, 48.12 MW pertenecientes a 23 solicitudes de biogás, 20.8 MW de 9 proyectos PAH, mientras que de generación solar se asignaron 556.8 MW para 12 instalaciones y 665.8 MW de 8 proyectos eólicos [88]. Los resultados de las tres rondas licitatorias se resumen en la Tabla III [89].

TABLA III
RESUMEN DE LAS FASES LICITATORIAS DEL PROGRAMA
RENOVAR

Tecnología	<i>RenovAr</i> 1.0		<i>RenovAr</i> 1.5		<i>RenovAr</i> 2.0		Total	
	Proyecto	MW	Proyecto	MW	Proyecto	MW	Proyecto	MW
Biogás	6	9	-	-	23	48,12	29	57,12
Biomasa	2	15	-	-	14	117,2	16	132,2
PAH	5	11	-	-	9	20,8	14	31,8
Solar FV	4	400	20	516,2	12	556,8	36	1473
Eólica	12	708	10	765	8	665,8	30	2138,8
Total Licitado	29	1143	30	1281,2	66	1408,72	125	3832,92

Con respecto a todos las FERs, la capacidad instalada en Argentina aumentará en 3832.9 MW, lo que representa una energía anual esperada de 13 464 GWh/año. Esta energía representará el 9.73% del consumo promedio de electricidad, lo que sumado a la energía renovable instalada excederá el objetivo del 8% establecido en la Ley 27191 para diciembre de 2018. En el siguiente mapa didáctico (ver Fig. 9), se puede observar el estado de progreso de los proyectos *RenovAr* adjudicados a Diciembre de 2017 [90].

IV. DESAFÍOS DEL SECTOR ELÉCTRICO

A. Avances del programa *RenovAr*

A medida que se avance en el Programa *RenovAr*, y los precios resultantes sean previsiblemente más competitivos, será indispensable reducir los costos de financiación. Sin embargo, cuanto mayor sea el riesgo de incertidumbre y volatilidad por historial, situación política y proyecciones, y menos

“amigables” con el inversor sean las condiciones contractuales, mayores serán los precios que requiera el mercado para morigerarlo y mayor el costo de la financiación. Como contrapartida, un círculo virtuoso permitirá un mercado menos exigente al respecto, y con mayor independencia respecto de las iniciativas del Estado Nacional [91].

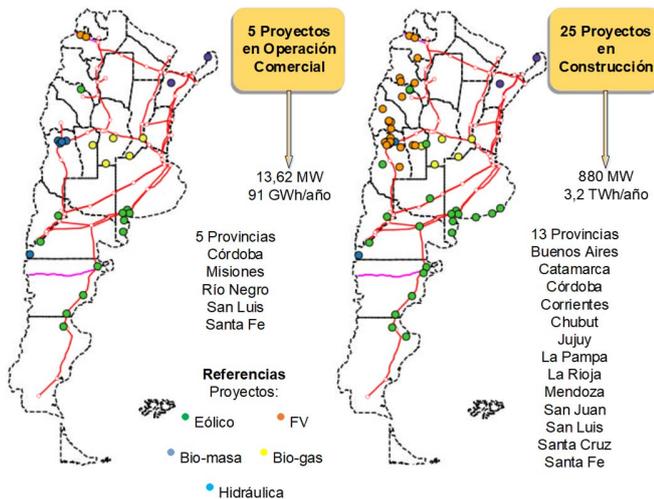


Fig. 9. Estado de progreso del Programa *RenovAr*.

Por el momento, el programa *RenovAr* ha llamado la atención de importantes inversores, lo que conlleva una considerable sobresuscripción de las rondas de licitación. Los licitadores compiten por firmar contratos de adquisición de 20 años (PPA) con CAMMESA, que actúa como intermediario financiero en nombre de las infraestructuras de distribución y de los grandes usuarios mayoristas. Los precios de mercado van en USD y se ajustan cada año. La Tabla IV resume, entre otros datos, la capacidad premiada y el precio promedio por MW licitado [77].

TABLA IV
PRECIOS MEDIOS DE FASES LICITATORIAS DEL PROGRAMA RENOVAR

Ronda	Capacidad Ofertada [MW]	Ofertas [MW]	Capacidad Premiada [MW]	Precio Medio [USD/MW]
1	1000	6343	1142	61
1.5	600	2486	1281	54
2.0	1200	9391	1409	51

La tendencia decreciente del precio de la potencia instalada es uno de los indicadores más alentadores en el proceso de renovación de la matriz eléctrica del país [92]. Desde el punto de vista económico, los resultados parciales del programa *RenovAr* son alentadores; aunque aún resta mucho por mejorar. Una comparación de precios del MWh de anteriores proyectos basados en FERs y otros convencionales, junto con los costos promedio obtenidos en las distintas subastas del programa permite observar el buen rumbo. La Fig. 10 brinda una

comparación de precios de la energía tanto para centrales convencionales (las últimas en entrar en operación) como las FERs, los cuales se contrastan con los precios medios resultantes de las tres fases licitatorias del programa *RenovAr*.

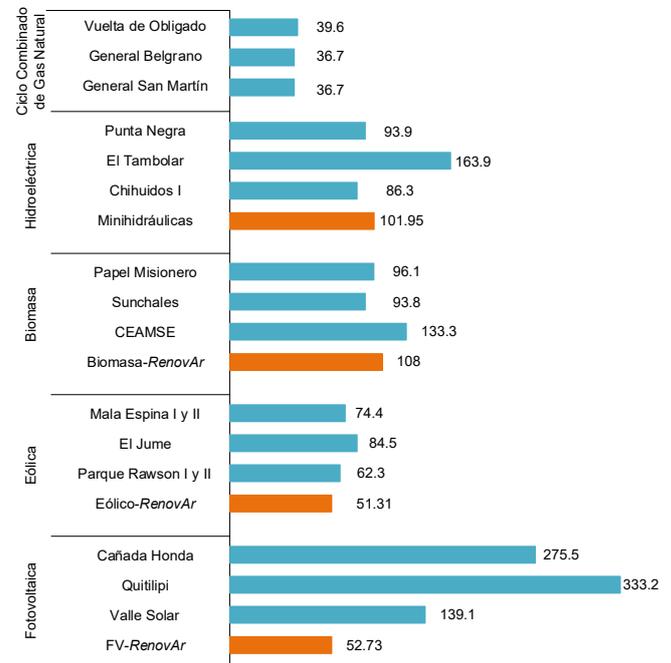


Fig. 10. Comparación de precios medios de la energía en Argentina.

En un contexto global donde predomina la innovación tecnológica, los sistemas de transmisión crecen a través de redes inteligentes y se refuerzan los compromisos internacionales frente al cambio climático. Argentina debe promover un conjunto de prácticas de bajo costo con un alto impacto de ahorro; al mismo tiempo, que logre cubrir sus necesidades de infraestructura energética mediante la promoción de incentivos para el ingreso de tecnologías más eficientes [93]. Por ejemplo, se podrían implementar soluciones mixtas de FERs (como biomasa o energía geotérmica) para complementarse entre sí. Esta solución podría proporcionar una potencia firme mínima para evitar tener una reserva en frío que aumenta el costo total del sistema.

La diversificación de la matriz energética nacional (con FERs) puede ser una herramienta eficiente para reducir la salida de divisas y aumentar la seguridad del suministro a medio y largo plazo. Por otro lado, la GD se presenta como una oportunidad para reducir las pérdidas en el sistema de transporte y distribución, logrando eficiencia y otras mejoras significativas [94, 95]. Las ventajas que ofrecerán estas nuevas tecnologías FERs son numerosas y se pueden clasificar en beneficios técnicos, económicos y ambientales [96].

B. Dificultades en la Incorporación de FERs

La integración de FERs en un SEP supone nuevos desafíos en su operación. La gravedad de estos problemas depende directamente de la tecnología aplicada, el nivel de penetración y la geografía de la instalación [97]. Por lo tanto, también se deben considerar los efectos negativos de las nuevas

instalaciones sobre el SADI y sus proyecciones futuras. Algunos de estos inconvenientes están relacionados con las características inherentes del propio sistema.

Comúnmente la aparición de FERs en el SEP ha llevado a nuevos problemas asociados con el equilibrio entre producción y consumo, por ejemplo [20]. La razón de esto es la naturaleza intermitente de las FERs [98]. Por lo tanto, la incorporación de un número importante de FERs intermitentes al SADI, como la eólica o la solar, requiere un estudio de penetración que establezca umbrales que no comprometan el correcto funcionamiento del SEP. En este sentido, bajo ciertas condiciones de operación y coordinación interregional, las interconexiones con los cuatro países podrían resolver problemas como la regulación de energía a fin de compensar la intermitencia inherente de las FERs instaladas en Argentina. Este hecho se ve reforzado considerando que hay una gran participación de centrales hidroeléctricas de gran envergadura en la matriz energética de dichos países, las cuales, podrían responder más rápidamente que las centrales térmicas gestionables al momento de compensar la variabilidad [99]. Por lo tanto, cualquier aumento de las capacidades de FERs deberá ir acompañado de los cambios correspondientes en la estrategia de gestión de las centrales eléctricas convencionales.

Por otro lado, se ha observado la escasa capacidad remanente de ciertas regiones del sistema de transmisión producto de la potencia subastada por el programa *RenovAr*. En la información presentada en la Tabla II puede observarse que regiones como el NOA, *Comahue*, BAS y la *Patagonia* carecen de capacidad de transporte, por lo cual cualquier ingreso de potencia requerirá imperiosamente la ampliación del sistema de transmisión [100]. La conexión de generación a partir de FERs en nodos débiles debido a la poca capacidad remanente, puede influenciar parámetros de operación serios del SADI como ser la estabilidad angular y de tensión.

Otra característica propia del SADI, que puede suponer un desafío para la integración de FERs, es la morfología de su curva de carga. Dicha curva varía en función de la época del año, día de la semana, temperatura, etc. Sin embargo, su característica más destacable es la diferencia en el consumo en las horas pico y valle, lo cual se traduce en un cociente entre el máximo y el mínimo consumo un tanto por encima de la media internacional (del orden de 1.4, mientras que en otros sistemas eléctricos está en torno a 1.3). Esta característica se explica en gran medida por el relativo bajo peso de la industria nacional, con consumos que puedan ser mantenidos durante todo el día, ya que la demanda doméstica y comercial se concentra en unas determinadas horas del día [101].

Como consecuencia, las unidades de producción de energía eléctrica gestionables deben funcionar en un régimen más exigente y con una mayor flexibilidad [102]. Esta exigencia se verá incrementada aún más por el contingente de energías renovables que se instalará en el sistema y la prioridad de funcionamiento respecto al resto de tecnologías.

La curva de demanda del SADI, como se puede ver a continuación, se divide en tres etapas: valle, resto y horas pico [103, 104]. Las horas valle son aquellas en las que la demanda baja a su mínimo. En estas horas de funcionamiento, las

centrales de base tienen costos variables muy bajos, como por ejemplo, las centrales nucleares y las renovables que sí tienen recurso primario disponible. Las horas pico son aquellas en las que se da la máxima demanda de energía (pico histórico argentino: 26.3 GW), en estas horas en las que la demanda aumenta de forma más acelerada se emplean tecnologías de arranque rápido (centrales de punta) para seguir el desarrollo de la curva. Las horas resto se corresponden con el período del día durante el cual la demanda de energía permanece a un valor moderado; esta demanda de energía que varía cada instante se cubre con las centrales de tecnología regulable y con las centrales de base [105].

Los períodos de estas tres etapas y los valores de energía demandados varían según la temporada del año y el día de la semana. En la Fig. 11, se pueden observar dos curvas de demanda características del SADI.

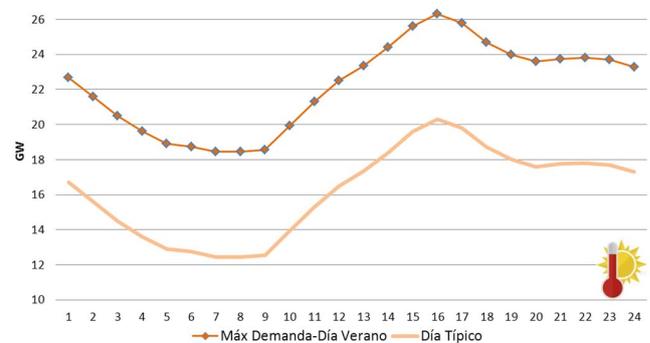


Fig. 11. Curvas de demanda diaria del SADI [101].

Finalmente, será necesario exponer las dificultades que presentan los FERs para su integración óptima, destacando en primer lugar, la alta incertidumbre asociada a la predicción del recurso primario. Por lo tanto, será importante comprender los efectos de la incertidumbre y la intermitencia de esta fuente en la PQ, la confiabilidad y la estabilidad del sistema [106]. La volatilidad y la dificultad de pronosticar una producción no gestionable implica que el Operador del Sistema debe tener en todo momento capacidad de generación gestionable para hacer frente a variaciones significativas. Esta necesidad es importante en el horizonte de entre 4 y 5 horas, que es el tiempo de arranque de los ciclos combinados desacoplados de la red (por lo tanto, sin espacio de maniobra para el Operador del Sistema). Los altos errores de pronóstico de la demanda y producción renovable en este horizonte de tiempo requieren la misma disponibilidad de energía garantizada [101].

V. CONCLUSIONES

Durante 2016 Argentina se sumó al número creciente de países en vías de desarrollo que incrementaron su capacidad instalada de FERs. La contribución al crecimiento de energías limpias goza de un amplio consenso social en el país. El uso más eficiente y conveniente de las tecnologías FERs ya ha comenzado con la instalación de grandes y diferentes plantas de energía renovable.

Además, los datos presentados en las secciones anteriores muestran que las FERs son una alternativa económica, con costos

promedio actuales que cubren cómodamente los costos de inversión y operación. Según los modelos revisados, es más conveniente instalar equipos FERs antes que aquellos que importan combustibles fósiles. La complementación operativa entre las contribuciones de los suministros de energía eólica, hidráulica, solar y biomasa, a priori, podría ser la mejor alternativa económica.

Por lo tanto, en lugar de invertir en una carga base de energía fósil o nuclear, o caer repetitivamente en la importación de energía, los esfuerzos de planificación deben centrarse en desarrollar las FERs manejables y movilizar opciones de flexibilidad que ayuden a administrar porcentajes más altos de energía renovable. Esta tendencia, sumada al costo decreciente de la inversión tecnológica, podría significar para Argentina una posible solución en la transición energética. La forma de llevarlo a cabo depende de circunstancias locales como: si la demanda de electricidad es estable y la red eléctrica está bien desarrollada (e interconectada); si la demanda aumenta y la oferta agrega porcentajes más altos de energía FV y eólica; si hay un excedente en el suministro para que el sistema pueda continuar sus operaciones en días nublados; si la demanda aumenta rápidamente (como ocurre en muchos países en desarrollo) pero el sistema básico todavía no está bien desarrollado; etc.

Tanto los aspectos negativos como positivos que presenta Argentina para el desarrollo de las FERs han sido destacados y analizados en este trabajo. El objetivo es brindar un panorama general del sistema eléctrico, el mercado energético y la matriz primaria del país de cara a la futura expansión e incorporación de FERs, de modo de intentar identificar posibles complicaciones en su aplicación y desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] Cámara Argentina de Energías Renovables, 2015. "La hora de las Energías Renovables en la matriz eléctrica Argentina", Buenos Aires, CADER, 2015.
- [2] M. Gonzalez; A. Sartor. "Cambio climático, eficiencia energética y huella de carbono. Oportunidades y desafíos para el desarrollo local". En *Congreso Internacional de Ambiente y Energías Renovables*, Córdoba, 14-16 Junio de 2017.
- [3] S. Genchi *et al.*, "Evaluación de las fuentes de energía eólica, solar y undimotriz en el suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)". Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía, UNAM. Consultado en: Diciembre, 1, 2018. DOI: dx.doi.org/10.14350/ig.59657.
- [4] J. Piovano, A. Mesa. "Determinación de densidades urbanas sostenibles en base a metodología relativa al acceso solar: caso área metropolitana de Mendoza, Argentina". *Revista de Urbanismo*, no 36, 2017.
- [5] C. R. Juárez, A. Ferreiro, E. Ottavianelli. "Síntesis y Actualización de un Estudio de Indicadores para Orientar Proyectos de Generación de Energía Eléctrica Mediante Fuentes Renovables con Sistemas Híbridos en Argentina y en Santiago del Estero". En *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, vol. 35, 2016.
- [6] S. Garrido *et al.*, "Políticas públicas y estrategias institucionales para el desarrollo e implementación de energías renovables en Argentina (2006-2016)". En *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*. La Plata, Buenos Aires, 2016.
- [7] M. Recalde. "La inversión en energías renovables en Argentina". *Revista de economía institucional*, vol. 19, no 36, p. 231-254, 2017.
- [8] M. M. Pendón *et al.*, "Energía renovable en Argentina: cambio de paradigma y oportunidades para su desarrollo". En *IV Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería*. La Plata, Buenos Aires, 2017.
- [9] M. E. Carbia, H. Bacigalupo, M. Garrica. "Establishment of the mix of fuels for cement sustainable production in the Argentinian Patagonia". *Actas de Ingeniería*, vol. 3, p. 196-203, 2017.
- [10] A. Freier. "La situación de la cooperación energética entre Argentina y Brasil en el área de la energía renovable: ¿Integración, difusión o fragmentación?". *Relaciones Internacionales*, vol. 25, 2016.
- [11] P. Wiernes, A. Moser, P. Mercado. "Planificación estratégica del sistema eléctrico argentino: Impactos del rechazo al uso de energía nuclear". En *Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, IEEE, pp. 102-107, 2014.
- [12] M. Rodríguez, F. J. Elizondo, F. García. "Características económicas y territoriales en la expansión del mercado eléctrico mayorista argentino". *Disertación*, Inst. Tecn. Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 2014.
- [13] A. Furlan. "El uso de los hidrocarburos en la generación de energía eléctrica en la Argentina reciente". *Contribuciones Científicas GAEA*, vol. 27, pp. 79-91, 2015.
- [14] J. C. Radovich, A. Balazote, D. Piccini. "Desarrollo de represas hidroeléctricas en la Argentina de la posconvertibilidad". En: *Avá*, n° 21, 2016.
- [15] J. C. Durán *et al.*, "Evaluación de la calidad de la energía en dos casos de estudio: distorsión armónica inyectada por un sistema fotovoltaico de 40 kW y emitida por las cargas de una vivienda unifamiliar". En *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, La Plata, Buenos Aires, 2016.
- [16] J. Balter, C. Ganem, C. Discoli. "Energy Savings for the Cooling of Indoor Spaces Through the Evaluation of Solar Control Systems in High-Rise Residential Buildings: The Case of the Oasis City of Mendoza, Argentina". En *Revista Hábitat Sustentable*, vol. 6, no 1, p. 73-83, 2016.
- [17] S. De Schiller, J. Evans. "Diseño bioclimático, eficiencia energética y energía solar en proyectos de vivienda social de argentina". En *Perspectiva*, vol. 3, no 5, 2015.
- [18] T. Lanardonne, B. D. Burstein. "Argentina: Energy Policy". En *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*, pp. 1-8, 2016.
- [19] A. N. Martínez, A. M. Porcelli. "Análisis del marco legislativo argentino sobre el régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red pública". En *Lex Social: Revista de Derechos Sociales*, vol. 8, no 2, pp. 179-198, 2018.
- [20] A. Freier, J. I. Ibañez. "El panorama energético argentino del Bicentenario. Nuevas perspectivas en materia de energías renovables". En *Revista Argumentos*, no 4, pp. 20-45, 2017.
- [21] E. Cassagne. "El régimen de las energías renovables en Argentina". *Revista Derecho Administrativo Económico*, no 24, pp. 47-68, 2018.
- [22] L. M. Almada, M. E. Cassella, M. Chiani. "El impacto de la tributación local en los proyectos de generación eléctrica por medio de energías renovables". En *V Jornadas de D. Tributario Provincial y Municipal*. Chubut, Argentina, 10 y 11 de Mayo de 2018.
- [23] PWC Argentina, Energías renovables en Argentina Oportunidades en un Nuevo Contexto de Negocios. Doi: <https://www.pwc.com/ar/es/publicaciones/assets/energias-renovables-en-Argentina.pdf> September 2017 [accessed 12 January 2018].
- [24] C. Berrino, L. Silvia, A. Bucciarelli. "Cálculo y Diseño de una Planta Fotovoltaica en el Marco del Programa Nacional de Fomento para el Uso de Energías Renovables". *Pymes, Innovación y Desarrollo*, vol. 6, no 1, pp. 24-43, 2018.
- [25] F. A. Suárez. "Estudio prospectivo de la generación de empleo, valor agregado y reducción de emisiones por despliegue de la energía solar PV distribuida en Argentina 2030". *Disertación*, Inst. Tecn. Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina, 2017.
- [26] N. Ghaffour *et al.*, "Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems". *Desalination*, vol. 356, pp. 94-114, 2015.
- [27] M. Suberu, M. Mustafa, N. Bashir. "Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35, pp. 499-514, 2014.
- [28] G. Gowrisankaran, S. Reynolds, M. Samano. "Intermittency and the value of renewable energy". *Journal of Political Economy*, vol. 124, no 4, pp. 1187-1234, 2014.
- [29] Z. Abdmouleh, A. Gastli, L. Ben-Brahim, M. Haouari, N. Al-Emadi. "Review of optimization techniques applied for the integration of distributed generation from renewable energy sources". En *Renewable Energy*, vol. 113, pp. 266-280, 2017.
- [30] T. Lanardonne, B. Burstein. "Argentina: Energy Policy". En *Encyclopedia of Mineral and Energy Policy*, pp. 1-8, 2016.
- [31] E. Goldstein *et al.*, "El déficit del sector energético en la Argentina y sus efectos macroeconómicos". En *Realidad Económica*, vol. 298, pp. 32-52, 2016.
- [32] E. Serrani *et al.*, "Efectos estructurales de la política energética en la economía argentina, 1989-2014". En *Sociedad y Economía*, no 34, 2018.

- [33] M. Y. Recalde, D. H. Bouille, L. O. Girardin. "Limitación para el Desarrollo de Energías Renovables en Argentina". En *Problemas del desarrollo*, vol. 46, no 183, pp. 89-115, 2015.
- [34] L. Mastronardi, M. Sfeir, S. Sanchez. "LI Reunión Anual". En *Anales, Asociación Argentina de Economía Política*. ISBN 978-987-28590-4-6, 2016.
- [35] H. Rudnick, S. Mocarquer, F. Sore. "Distribución de pagos de sistemas de transmisión entre generación y demanda: experiencia internacional". En *Revista Derecho Administrativo Económico*, no 12, pp. 135-153, 2017.
- [36] G. Baum *et al.*, "Planificación de la expansión de los sistemas de transmisión en mercados eléctricos-Estado del Arte". En *Proceedings XVI ERIAC*, 2015, pp. 159-167.
- [37] PWC Argentina. Energías renovables en Argentina Oportunidades en un Nuevo Contexto de Negocios. Doi: <https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/assets/energias-renovables-en-Argentina.pdf> March 2017 [accessed 31 January 2018].
- [38] L. J. Barrionuevo, P. Pérez, E. Atlas. "Restrictions in Argentina: Limits of the transmission system to the integration of new renewable generation". En *Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)*, IEEE 37th, November, pp. 1-6, 2017.
- [39] A. Vargas, O. R. Saavedra, M. E. Samper, S. Rivera, R. Rodriguez. "Latin American Energy Markets: Investment Opportunities in Nonconventional Renewables". *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 14, pp. 38-47, 2016.
- [40] REN 21. "Avanzando en la Transición Mundial Hacia la Energía Renovable. Puntos destacados del reporte de REN21 sobre la situación mundial de las energías renovables 2017". En *Perspectiva, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*. 2017.
- [41] J. Yan, S. Chou, U. Desideri, S. Tu, H. Jin. "Development and innovations for sustainable future energy systems". En *Appl Energy*, vol. 112, pp. 393-405, 2013.
- [42] M. A. Barrera. "Reformas estructurales y caída de reservas hidrocarburíferas: el caso argentino". En *Revista Análisis Económico*, vol. 28, no 69, pp. 167-188, 2018.
- [43] S. Garrido, S. Belmonte, J. Franco, C. Discoli, G. Viegas, I. Martini, M. Schumkler. "Políticas Públicas y Estrategias Institucionales Para el Desarrollo e Implementación de Energías Renovables en Argentina 2006-2016", 2016. Unpublished.
- [44] T. Lv, Q. Ai. "Interactive energy management of networked micro-grids based active distribution system considering large-scale integration of renewable energy resources". *Applied Energy*, vol. 163, pp. 408-422, 2016.
- [45] PWC Argentina. Energías renovables en Argentina Oportunidades en un Nuevo Contexto de Negocios. Doi: <https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/assets/energias-renovables-en-Argentina.pdf> September 2017 [accessed 12 January 2018].
- [46] D. Martinez-Prieto, E. De Almeida, F. Rodrigues. "El servicio de intercambio operacional (swap) para el suministro de gas natural: el caso de Argentina y Brasil". *Energía*, pp. 2, 2015.
- [47] RenovAr Ronda 1.5: Resultados de Adjudicaciones, Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina. Doi: http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr/Presenta%20MINEM%20Ronda%201.5_%20Adjudicacion%202016%20nov%2025.pdf; 25th, November 2016 [accessed 10 January 2018].
- [48] N. Di Sbroiavacca. "Shale Oil y Shale Gas en Argentina". *Estado de situación y prospectiva. Cuadernos de Investigación. Serie Economía*, no 5, pp. 142-168, 2015.
- [49] A. Arroyo, A. Perdiel. "Gobernanza del gas natural no convencional para el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe: Experiencias generales y tendencias en la Argentina, el Brasil, Colombia y México", 2015. Unpublished.
- [50] PWC Argentina. Energías renovables en Argentina Oportunidades en un Nuevo Contexto de Negocios. Doi: <https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/assets/energias-renovables-en-Argentina.pdf> March 2017 [accessed 31 January 2018].
- [51] M. Farhoodnea, A. Mohamed, H. Shareef, H. Zayandehroodi. "Optimum placement of active power conditioners by a dynamic discrete firefly algorithm to mitigate the negative power quality effects of renewable energy-based generators". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 61, pp. 305-317, 2014.
- [52] R. Piana, G. Córdoba. "Democracia representativa y democracia deliberativa Un análisis teórico a partir del proceso de reestructuración de las tarifas de gas en Argentina". *Revista de Derecho*, no 21, pp. 21-43, 2017.
- [53] J. P. Puig, L. H. Salinardi. "Argentina y los subsidios a los servicios públicos: un estudio de incidencia distributiva". *Documentos de Trabajo del CEDLAS*, 2015. Unpublished.
- [54] M. Lombardi *et al.*, "Una aproximación a la focalización de los subsidios a los servicios públicos en Argentina". *Documento de Trabajo DPEPE*, vol. 9, pp. 40-46, 2014.
- [55] N. De Castro *et al.*, "Integración eléctrica internacional de Brasil: Antecedentes, situación actual y perspectivas". *Texto de Discusión del Sector Eléctrico*, No. 64. Grupo de Estudios do Setor Elétrico, UFRJ, 2015.
- [56] F. Navajas. "Subsidios a la energía, devaluación y precios". *Documento de Trabajo*, no 122, pp. 20-24, 2015.
- [57] L. M. Ardila, J. C. Cardona. "Structure and current state of the Wholesale Electricity Markets". En *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no 4, p. 669-674, 2017.
- [58] D. Aguiar, F. Aristimuño, N. Magrini. "El rol del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en la re-configuración de las instituciones y políticas de fomento a la ciencia, la tecnología y la innovación de la Argentina (1993-1999)". *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, vol. 10, no 29, p. 11-40, 2015.
- [59] J. C. Del Bello. "Argentina: experiencias de transformación de la institucionalidad pública de apoyo a la innovación y al desarrollo tecnológico". *Nuevas instituciones para la innovación: Prácticas y experiencias en América Latina*. LC/W. 601. 2014-05. pp. 35-83, 2014.
- [60] A. Jurado *et al.*, "Factor de capacidad de turbinas eólicas en Argentina". Grupo Energía y Ambiente -GEA Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur. Buenos Aires, Argentina. 2018.
- [61] J. L. Schnarwiler, P. O. Prado, J. J. Roberts. "Evaluación del Recurso Eólico Mediante Herramienta Informática Desarrollada en Matlab®". En *Book of Abstracts and Proceedings of 11th Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission*, pp. 70, 2015.
- [62] J. F. Gonzalez *et al.*, "Mediciones de intensidad y dirección de viento en dos emplazamientos de Puerto San Julián". En *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, La Plata, Buenos Aires, 2016.
- [63] F. Otero, B. Cerne, C. Campetella. "Estudio preliminar de la velocidad del viento en San Julián en referencia a la generación de energía eólica". *Meteorologica*, vol. 42, no 2, pp. 59-79, 2017.
- [64] W. Theo, J. Lim, W. Ho, H. Hashim, C. Lee. "Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: comparison of numerical and mathematical modelling methods". *Renew Sustain Energy Rev*; 67: 531-73. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.063>; 2017 [accessed 30 January 2018].
- [65] M. F. Medina *et al.*, "Análisis de la producción central y la entrega de hidrógeno, aplicado al Circuito Patagónico Austral". *Informes Científicos-Técnicos*, UNPA, vol. 8, no 2, pp. 139-152, 2016.
- [66] B. Griffa, L. Marco, E. Goldstein. "Producir electricidad con biomasa: beneficios, experiencias y actualidad en Argentina". *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, no 19, pp. 67-79, 2017.
- [67] F. Achinelli *et al.*, "Dendroenergía a partir de plantaciones de rotación corta con Salix spp.: rendimientos y calidad de biomasa obtenidos en La Plata, Buenos Aires". En *IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT 2017*. 2017.
- [68] P. Chávez *et al.*, "Proyecto para evaluar la generación de biogás a partir de los desechos de biomasa (sustrato gastado) de la producción de hongos comestibles". En *IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT 2017*. 2017.
- [69] M. Godoy, M. Silva, J. Palacios. "Producción de Biogás". *Desarrollo Local Sostenible*, no. 37, pp. 1-6, 2018.
- [70] H. Pesaran, P. Huy, V. Ramachandaramurthy. "A review of the optimal allocation of distributed generation: objectives, constraints, methods, and algorithms". *Renew Sustain Energy Ver*, vol. 75, pp. 293-312. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.071> [accessed 12 January 2018].
- [71] R. Righini, R. Aristegui, A. Roldán. "Determinación de la cantidad de años de medición necesarios para la evaluación de la radiación solar global a nivel de superficie en Argentina". En *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, vol. 34, 2016.
- [72] R. Laspiur *et al.*, "Estimación de Zonas con Potencial para una Producción Anual Estable de Electricidad a Gran Escala. Caso de Estudio: Provincias de Salta y Jujuy (Argentina)". En *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, vol. 33, pp. 23-31, 2016.
- [73] T. Niknam, R. Azizpanah-Abarghoee, M. Narimani. "An efficient scenario based stochastic programming framework for multi-objective optimal micro grid operation". *Appl Energy*, vol. 99, pp. 455-70, 2012.
- [74] T. Niknam, A. Kavousifard, S. Tabatabaei, J. Aghae. "Optimal operation management of fuel cell/wind/photovoltaic power sources connected to distribution networks". *J Power Sources*, vol. 196, pp. 81-96, 2011.

- [76] L. Camargo *et al.*, "Comparación de Fuentes Satelitales de Re-Análisis y Métodos Estadísticos para el Mapeo de la Radiación Solar en el Valle de Lerma (Salta-Argentina)". Av. En. *Energy Renov. Medio Ambiente*, vol. 19, 2015.
- [77] PWC Argentina. Energías renovables en Argentina Oportunidades en un Nuevo Contexto de Negocios. Doi: <https://www.pwc.com.ar/es/publicaciones/assets/energias-renovables-en-Argentina.pdf> March 2017 [accessed 31 January 2018].
- [78] Informe Final Proyecto PIO – YPF. "Energías Renovables en Argentina: Visiones y perspectivas de los actores sociales". Proyecto de Investigación Orientado (CONICET-YPF), Argentina, 2017.
- [79] J. Martínez de Hoz, M. Blanco. "Project Finance y Energías Renovables". En *Revista Jurídica – Universidad de San Andrés*, suplemento de Energías Renovables, vol. 15, 2018.
- [80] V. Doña. "Desarrollo de proyectos hidro-energéticos y energía renovables en Energía Provincial Sociedad del Estado (EPSE-San Juan)". En *A Exposition at the VII Argentine Congress of Dams and Hydroelectric Exploitation*. Argentine Committee of Dams, 2013.
- [81] J. Franco *et al.*, "Herramientas metodológicas del proyecto: Energías renovables en argentina: visiones y perspectivas de los actores sociales". Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 3, pp. 29-41, 2015.
- [82] IEA. World Energy Outlook 2017. Organization for Economic Cooperation and Development, OECD, 2017.
- [83] A. Lanson, A. Bianchi. "Estimación del ahorro energético que podría obtenerse del uso de sistemas termo-solares híbridos en distintos puntos del país". Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 3, pp. 238-249, 2015.
- [84] J. M. Rondina. "Technology Alternative for Enabling Distributed Generation". En *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no 9, pp. 4089-4096, 2016.
- [85] A. Keane, L. Ochoa, C. Borges, G. Ault, A. Alarcon-Rodriguez, R. Currie *et al.*, "State-of-the-art techniques and challenges ahead for distributed generation planning and optimization". *IEEE Trans Power Syst*, vol. 28, pp. 1493–502, 2013.
- [86] J. G. Hernandez. "El Análisis Situacional del Trabajo, una alternativa para el desarrollo de los planes de estudios de la Ingeniería en Energías Renovables en la Universidad Tecnológica de Altamira". En *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 6, no 12, 2016.
- [87] T. Ackermann, G. Andersson, L. Seoder. "Distributed generation: a definition". *Electr. Power Syst.*, Res. 57 (3), pp. 195-204, 2001.
- [88] C. Ángel, C. Luciano, D. Juan Pablo, M. Guillermo. "Energía Eólica", *Área Energías Renovables - INTI NEUQUÉN. 2º Informe de avance, Entrevistas fabricantes nacionales de aerogeneradores*. Doi: <https://www.inti.gov.ar/neuquen/pdf/informe2.pdf?seccion=aerogeneradores> [accessed 20 January 2018], 2011.
- [89] P. Arnera. "Matriz energética de la República Argentina". En *Workshop Internacional-Energía Solar Térmica de Concentración*, La Plata, 3 al 6 de Octubre, 2017.
- [90] M. Yaneva, P. Tisheva, T. Tsanova. "Informe Sobre las Energías Renovables en Argentina 2018". En *AIREC WEEK, El Mayor Congreso y Exposición de Energías Limpias en Argentina*, Buenos Aires, Argentina, Mayo 2018.
- [91] M. Samper, D. Flores, A. Vargas. "Investment valuation of energy storage systems in distribution networks considering distributed solar generation". En *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no 4, pp. 1774-1779, 2016.
- [92] S. Best. "Remote Access: Expanding Energy Provision in Rural Argentina Through Public-private Partnerships and Renewable Energy". *A Case Study of the PERMER Programme*, 2011.
- [93] P. Schaubé, W. Ortiz, M. Recalde. "Status and future dynamics of decentralized renewable energy niche building processes in Argentina". *Energy Research & Social Science*, 2017.
- [94] J. X. Serrano, G. Escrivá. "Simulation model for energy integration of distributed resources in buildings". En *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, no 1, pp. 166-171, 2015.
- [95] C. Donadel, J. Fardin, L. Encarnacao. "The Influence of Distributed Generation Units Penetration in the Technical Planning Process of Electrical Distribution Networks". En *IEEE Latin America Transactions*, vol. 15, no 11, pp. 2144-2151, 2017.
- [96] R. Fernández. "Escenarios Energéticos Argentina 2015-2035: resumen y conclusiones para un futuro energético sustentable". *Fundación AVINA*, Buenos Aires, 2015.
- [97] M. Farhoodnea, A. Mohamed, H. Shareef, H. Zayandehroodi. "Optimum placement of active power conditioners by a dynamic discrete firefly algorithm to mitigate the negative power quality effects of renewable energy-based generators". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 61, pp. 305-317, 2014.
- [98] H. Villarroel-Gutiérrez, M. Molina. "Incorporation of dynamic voltage support requirements in PV systems to mitigate the effects of voltage sags in distribution networks". En *Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America)*, IEEE PES, p. 1-6, 2017.
- [99] D. Gielen, R. Kempener, M. Taylor, F. Boshell, A. Seleem. "Letting in the light - Quaterly Q3". IRENA, Abu Dhabi, pp:1-8, 2016.
- [100] Economía de la Energía. Impacto de los ajustes y beneficios sobre el precio ofertado en Programa RenovAr. Doi: <http://www.economiadelaenergia.com.ar/ajustesrenovar/> [accessed 20 January 2018].
- [101] S. Belmonte *et al.*, "Integración de las energías renovables en procesos de ordenamiento territorial". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 13, pp. 41-48, 2009.
- [102] J. L. Aguero *et al.*, "Experiencias en la incorporación de energía solar fotovoltaica en establecimientos de baja tensión". En *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, La Plata, Buenos Aires, 2016.
- [103] P. Arnera, M. Beroqui, R. Lastra, R. Molina, R. Gaido. "Caracterización de la carga a través de la determinación del coeficiente de sensibilidad con la frecuencia y de las desviaciones estándar de la misma en el Sistema Argentino Interconectado", *VI ERLAC*, Cigré, 1995.
- [104] L. J. Barrionuevo, E. Greco, C. A. Romero. "Criteria for determining optimal penetration level of large-scale wind generation in interconnected systems: Part I: Methodology proposal". In *Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVII)*, IEEE 37th, pp. 1-6, 2017.
- [105] A. C. Josa. "La integración de las energías renovables en el sistema eléctrico". *Fundación Alternativas*, 2012. Unpublished.
- [106] H. Villarroel-Gutiérrez, M. Molina. "Analysis of voltage sags due to induction motors in distribution systems with high PV penetration". En *Innovative Smart Grid Technologies Conference-Latin America (ISGT Latin America)*, IEEE PES, p. 1-6, 2017.



Héctor Alejandro Villarroel Gutiérrez
 Graduado como Ingeniero Eléctrico (2014) por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Actualmente realiza estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería Eléctrica. Posee experiencia en el análisis y desarrollo de recursos energéticos distribuidos, particularmente energía solar FV. Actualmente se desenvuelve en el área de calidad de suministro teniendo en cuenta la inserción de generadores renovables en el sistema de distribución. Desarrolla sus tareas de investigación en el Instituto de Energía Eléctrica UNSJ – CONICET.