

# Resultados preliminares de un relevamiento de instalaciones fotovoltaicas en Argentina

Por

Paula Cervellini, [paulacervellini@fi.mdp.edu.ar](mailto:paulacervellini@fi.mdp.edu.ar)

Melisa Kuzman, [melisakuzman@fi.mdp.edu.ar](mailto:melisakuzman@fi.mdp.edu.ar)

Jorge Strack, [jstrack@fi.mdp.edu.ar](mailto:jstrack@fi.mdp.edu.ar)

Patricio Donato, [donatopg@fi.mdp.edu.ar](mailto:donatopg@fi.mdp.edu.ar)

Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en  
Electrónica (ICYTE)  
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del  
Plata, CONICET

## Resumen

La promoción de fuentes de energía renovable se ha vuelto uno de los principales objetivos para el desarrollo sustentable, siendo la generación fotovoltaica una de las estrategias más populares. En el presente trabajo se plasman los resultados parciales de un relevamiento realizado en el Laboratorio de Instrumentación y Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata respecto de los principales proyectos de energía solar fotovoltaica en el país. El relevamiento consta de datos recopilados de proyectos existentes en el país y de datos adicionales obtenidos a través de una encuesta\* ampliatoria.

**Palabras clave:** relevamiento, energía solar fotovoltaica, generación distribuida

## Introducción

Desde el inicio de la era industrial, el consumo de energía proveniente de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) se ha incrementado en forma sostenida. Además de ser recursos limitados, el consumo de combustibles de origen fósil para producir energía o para el transporte tiene un efecto muy negativo para el medioambiente, ya que el dióxido de carbono que se produce por su combustión es el constituyente mayoritario de lo que

se conoce como gases de efecto invernadero (GEI), principales responsables del calentamiento global. Sumado a estos problemas, la escalada en el precio del petróleo y el propio agotamiento de los recursos energéticos obliga a buscar con urgencia nuevas alternativas.

*Cualquier fuente de energía de origen renovable que se incorpore tiene como consecuencia aportes positivos en la lucha contra el calentamiento global.*

En este contexto, la promoción de las fuentes de energía renovables (FER) se ha vuelto uno de los principales objetivos para el desarrollo sustentable, aunque las motivaciones han diferido hasta el momento entre países desarrollados y en desarrollo. Mientras que en los países desarrollados la principal motivación se relaciona con el objetivo de reducir las emisiones de dióxido de carbono al mínimo, en aquellos que están en vías de desarrollo el objetivo a alcanzar es el aumento de la oferta energética y el incremento del acceso a la electricidad en zonas aisladas (Fouquet, 2013).

Sin embargo, esta última situación podría cambiar en un futuro próximo puesto que los países en



desarrollo tendrán mayor participación, a nivel global, en el consumo de energía, y mayor responsabilidad en las emisiones de gases de efecto invernadero por quema de combustibles a raíz de su futura evolución demográfica, mejoras de bienestar y la tasa de crecimiento de sus economías. Por estas razones, es muy probable que en un futuro próximo también en los países en vías de desarrollo el objetivo de mitigación gane un lugar importante dentro de las motivaciones para la utilización de fuentes renovables de energía (Recalde *et alles*, 2015).

El concepto de energía renovable abarca categorías de energías muy heterogéneas. Algunos tipos de energía renovable permiten suministrar electricidad, otros proveen energía térmica y mecánica o producen combustibles para cubrir múltiples necesidades energéticas. Dentro de las fuentes de energía renovable existentes se pueden mencionar: bioenergía o energía de biomasa, energía solar, energía geotérmica, energía eólica, energía hidroeléctrica, energía oceánica, entre otras.

Particularmente en Argentina, existen hoy una serie de posibilidades para diversificar la matriz energética que incluyen la gran mayoría de las fuentes mencionadas. En tal sentido se tiene buena disponibilidad de recurso solar en gran parte de nuestro territorio como para poder aprovecharlo con las diferentes tecnologías disponibles en el mercado. Las áreas costeras y prácticamente toda la Patagonia tienen vientos que pueden aprovecharse para generar energía eólica y transformarla en electricidad. Asimismo, la biomasa tiene un enorme potencial para la producción de biocombustibles líquidos como biodiésel y bioetanol, y gaseosos como el biogás. Las posibilidades en este sentido son muy amplias y cualquier fuente de energía de origen renovable que se incorpore, además de ayudar a mantener la independencia energética, es decir no depender de la importación de combustibles que se encarecen permanentemente, tiene como consecuencia aportes positivos en la lucha contra el calentamiento global.

En el presente trabajo se plasman los resultados parciales de un relevamiento realizado en el Laboratorio de Instrumentación y Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata respecto de los proyectos relacionados con una de las fuentes de energía renovable que está expandiéndose con mayor intensidad en la actualidad, la energía solar fotovoltaica (FV). Este relevamiento consta de datos recopilados de proyectos existentes en el país y de datos adicionales obtenidos a través de una encuesta\* ampliatoria.

### Demanda energética, generación y energía solar fotovoltaica

De acuerdo con el informe anual presentado por la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA) durante 2015, la

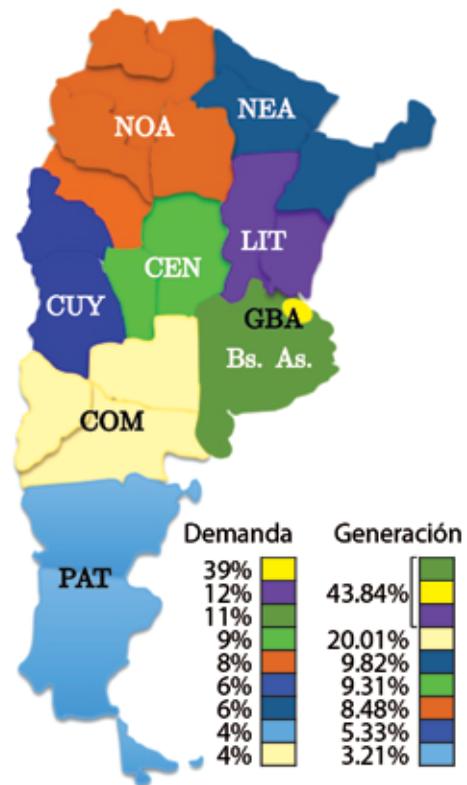


Figura 1. Demanda energética anual discriminada por región

demanda de energía creció alrededor del 4,5 por ciento, mayor al crecimiento alcanzado en el año 2014 que se había ubicado en uno por ciento. Según la estadística, la demanda de grandes usuarios industriales y comerciales prácticamente no presentó variaciones pero sí lo hizo la demanda residencial y de comercios pequeños, la cual impulsó el incremento mencionado, identificándose un aumento medio para este tipo de usuarios entre cinco y siete por ciento (CAMMESA, 2016).

Argentina no se ha diversificado y que ha sido difícil incorporar energías renovables para la generación.

En el contexto mundial de búsqueda de energías alternativas, los dispositivos fotovoltaicos se han convertido en una de las estrategias más populares. Esto se debe a que, además de producir energía eléctrica de una fuente inagotable, se pueden utilizar para generación centralizada o distribuida, siendo aptos tanto para aplicaciones terrestres (locaciones urbanas y rurales) como para aplicaciones espaciales. Una de las mayores ventajas de la tecnología fotovoltaica es que posee una larga vida útil con bajos costos de operación y mantenimiento, debido a que, en general, su funcionamiento no depende de piezas móviles. Además, esta tecnología se caracteriza por su modularidad y flexibilidad, lo que la hace atractiva para cualquier tipo de locación (Ismail et al., 2013).

*En el contexto mundial de búsqueda de energías alternativas, los dispositivos fotovoltaicos se han convertido en una de las estrategias más populares. Esto se debe a que se pueden utilizar para generación centralizada o distribuida, aptos tanto para aplicaciones terrestres (locaciones urbanas y rurales) como espaciales.*

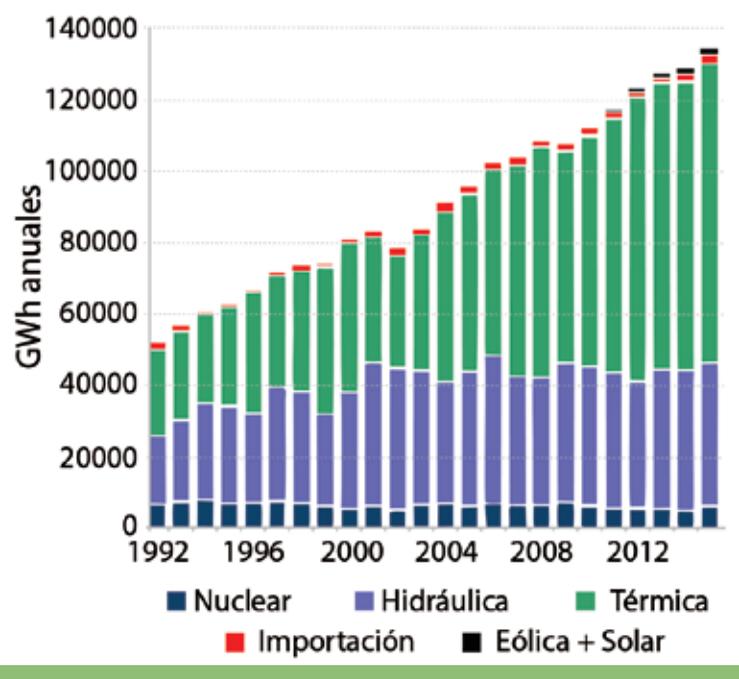


Figura 2. Generación anual por tipo

Según este informe, la demanda energética en el 2015 tuvo la distribución regional que se muestra en la figura 1, donde se observa el mayor porcentaje de demanda asociado al Gran Buenos Aires.

Asimismo, se puede identificar que la generación anual ha aumentado en las últimas décadas con el consiguiente incremento de la generación a partir de energía térmica tal como se observa en la figura 2. Allí se muestra que la matriz energética

El generador fotovoltaico elemental es la célula fotovoltaica, fabricada en general a partir de silicio monocristalino, silicio policristalino o silicio amorfo. Al exponerse a la radiación solar, se comporta como un generador de corriente. Las celdas solares pueden agruparse formando módulos o paneles y estos, a su vez, se agrupan constituyendo arreglos fotovoltaicos. Estos arreglos pueden estar ubicados en una posición fija o pueden contar con bases móviles que permiten cambiar su orientación para mejorar la eficiencia de recolección del recurso solar.



Por otro lado, teniendo en cuenta que la tensión y la corriente disponibles en los terminales del panel varían en función de la temperatura de operación, la irradiancia y la carga, es necesario incorporar convertidores electrónicos que regulen la tensión y la corriente, de manera de encontrar el punto en que el dispositivo fotovoltaico entregue la mayor potencia (MPP, *Maximum Power Point*, 'punto máximo de potencia') (Cervellini *et al*es, 2016). Además, dentro de las instalaciones fotovoltaicas, se pueden identificar dos grandes tipos: aquellas que se encuentran aisladas (*off-grid*) y las conectadas a la red eléctrica (*grid-connected*). Dentro de este último tipo, se encuentran diferentes configuraciones según la forma en que se interconectan entre sí los distintos módulos y según la forma en que los convertidores se asocian al sistema. De esta manera se identifican distintos esquemas: modular AC, *string*, *multistring* y centralizado (Kouro *et al*es, 2015).

En lo que respecta a la factibilidad de obtención de energía a partir de la energía solar fotovoltaica en Argentina, la figura 3 muestra dos de las doce cartas relevadas por el doctor Hugo Grosi Gallegos para la evaluación a nivel de superficie del campo de la radiación solar global (Grosi Gallegos, 1998). A partir de ellas, se identifica que existen zonas geográficas con alta disponibilidad del recurso solar en ciertos meses del año, lo cual presenta a la fotovoltaica como una fuente de energía renovable muy interesante para diversificar la matriz energética.

### Relevamiento de proyectos existentes

Para conocer la situación de la energía solar fotovoltaica en Argentina, se realizó un relevamiento acerca de los proyectos existentes y las políticas de promoción relacionadas. Para el análisis de la información relevada, en primera instancia, se procedió a separar los proyectos que superaban los cuarenta kilowatts de potencia, obteniendo un total de 74 casos de menor potencia. Finalmente, con el objetivo de obtener mayor información respecto de las características de los sistemas de menor potencia, se realizó una encuesta ampliatoria (Encuesta, 2016)\*, obteniendo la información adicional de una totalidad de veinte proyectos.

*Otra contribución muy importante para fomentar la incorporación de energías renovables tiene que ver con la creación de reglamentaciones adecuadas. En enero de 2016 se aprobó en forma definitiva la reglamentación 90364-7-712 "Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos" de la Asociación Electrotécnica Argentina.*

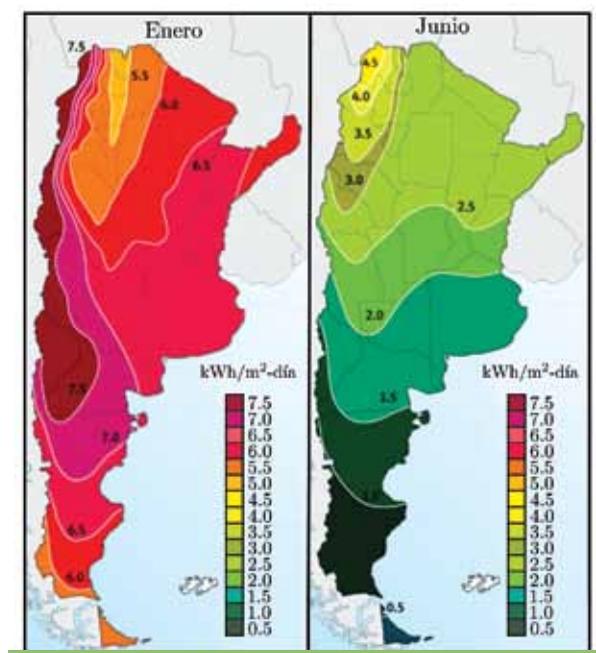


Figura 3. Promedio de la irradiancia solar global diaria en el plano horizontal para enero y junio

A partir del 2010 y como consecuencia de una serie de políticas de promoción de energías

renovables, nacionales y provinciales (Ley 26.190, Programa GENREN, Resolución de Secretaría de Energía No. 108/11), la capacidad de generación fotovoltaica en Argentina mostró un crecimiento.

En este sentido, comenzaron a desarrollarse grandes plantas fotovoltaicas capaces de inyectar energía al Sistema Argentino de Interconexión (SADI). En abril de 2011, comenzó a operar la planta San Juan I de 1,26 megawatts en la localidad de Ullum, provincia de San Juan (MINEM, 2016). Entre junio de 2012 y abril de 2013 se inauguraron las plantas Cañada Honda I y II y La Chimbera I, ubicadas en predios contiguos de Cañada Honda, provincia de San Juan (MINEM, 2016). Este parque solar de siete megawatts se construyó en el marco de un acuerdo de compra de energía del Programa GENREN y tienen una capacidad final prevista de veinte megawatts. Mientras que, hacia fines de 2014, se inauguró la planta solar fotovoltaica de Terrazas del Portezuelo, en San Luis, con una potencia instalada de un megawatt. Esta última proporciona energía al complejo gubernamental Terrazas del Portezuelo y al SADI. Por tal motivo, la Fundación Cambio Climático entregó al gobierno de la provincia de San Luis la certificación del primer edificio público ecológico del país.

*Los resultados obtenidos a partir de la recopilación de datos y la información suministrada en las encuestas muestran un primer paso en la modificación de la matriz energética y un futuro prometedor para la energía solar fotovoltaica.*

Con el objetivo de impulsar y promover el uso de sistemas de generación fotovoltaica en el país, en 2011 comenzó a operar el proyecto Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos (IRESUD) (IRESUD, 2016). Para su ejecución, se creó el convenio asociativo público-privado IRESUD, liderado por dos organismos

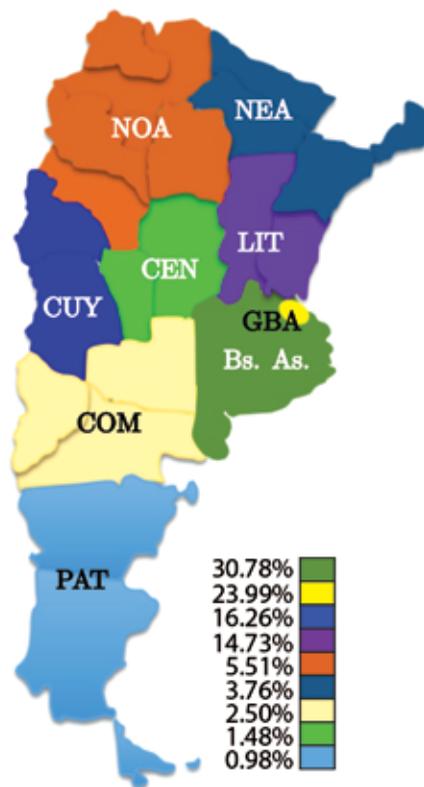


Figura 4. Pequeñas y medianas instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red

públicos, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), y cinco empresas privadas: Aldar, Edenor, Eurotec, Q-Max y Tyco. Participan también en el proyecto varias universidades nacionales, el Congreso de la Nación, Ministerio de Planificación, Ministerio de Economía, Secretaría de Energía de la Nación, Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE) y algunas secretarías y entes provinciales de energía.

De las instalaciones integrantes del proyecto IRESUD, se destacan en cuanto a la potencia instalada las siguientes: la Facultad de Informática de la Universidad Nacional de La Plata con 16,92 kilowatts; el campus Deodoro Roca de la Universidad Nacional de Nordeste (Corrientes), con 6,72 kilowatts, y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata, con 5,13 kilowatts, entre otros.



No obstante, también se han relevado numerosos proyectos que si bien no pertenecen a IRESUD, persiguen el mismo objetivo. El de mayor envergadura es la planta de Coronel Brandsen de cien kilowatts (*Aldar*, 2016), que fue inaugurada en dos etapas, la primera de ellas en diciembre de 2014 y la segunda, en agosto de 2015. Esta planta de potencia se desarrolló en el marco del Programa Provincial de Incentivos a la Generación de Energía Distribuida (PROINGED), que tiene como objetivo brindar la asistencia técnica y financiera necesaria para que proyectos de generación eléctrica distribuida, preferentemente en base a fuentes renovables, sean convertidos en unidades económicas activas que inyecten su producción a la red. Este proyecto, ejecutado por la empresa *Aldar*, representa la mayor potencia fotovoltaica instalada en la provincia de Buenos Aires y es único por sus características de inyección a la red de baja tensión, combinando los conceptos de planta fotovoltaica y generación distribuida. Actualmente este parque solar es administrado por la Empresa Distribuidora de Energía Atlántica (EDEA).

Otro proyecto destacable es el del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la

Nación, ubicado en la ciudad de Buenos Aires. Allí se inyecta a la red la energía generada por una instalación fotovoltaica de cuarenta kilowatts ubicada en la azotea. Este proyecto es actualmente la instalación de mayor potencia fotovoltaica instalada en dicha urbe y fue llevada adelante por la empresa *Aldar*.

Otra instalación de la ciudad de Buenos Aires es el edificio de la Legislatura, con una potencia instalada de 26 kilowatts, puesta en funcionamiento por la empresa *Solartec* (*Solartec*, 2016).

Por último, un proyecto que también amerita una breve descripción es el de la Casa de Gobierno de la provincia de Santa Fe, sedes Rosario y Santa Fe. En cada sede se instaló un campo solar de quince kilowatts que inyecta energía a la red a través de un inversor trifásico. Se pusieron en marcha en julio y septiembre de 2015 y fueron desarrollados por la empresa *Aldar*.

Posteriormente, de todos los proyectos relevados se separan aquellos que superan los cuarenta kilowatts, analizando la distribución geográfica y la potencia instalada para los 74 casos restantes como se muestra en la figura 4.

Para obtener información adicional, se realizó una encuesta\* ampliatoria con veinte proyectos participantes. Esta permitió obtener información respecto al área de desarrollo de las entidades encargadas de los proyectos y el tipo de financiamiento. Además, se indagó respecto de las variables medidas en cada sistema y la configuración elegida para cada uno. Sumado a esto, se consultó respecto de la orientación elegida para la instalación de los paneles y el material de fabricación.

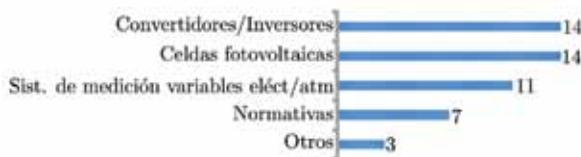


Figura 5. Área de desarrollo

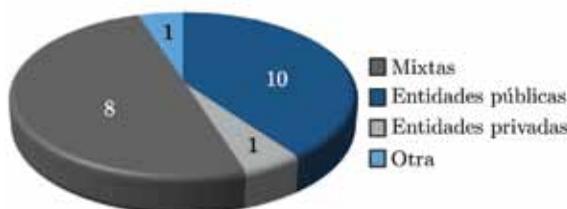


Figura 6. Financiamiento del proyecto



Figura 7. Mediciones realizadas

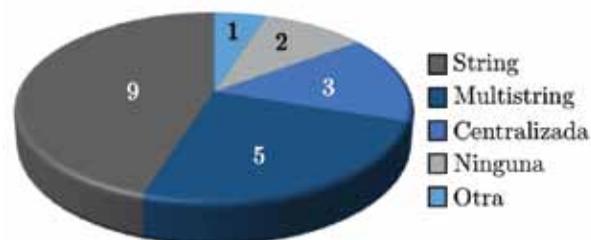


Figura 8. Configuración del sistema

En la figura 5, se muestran las actividades principales en las cuales se desempeñan dichas organizaciones, observando que aquellos temas relacionados con convertidores, inversores y celdas fotovoltaicas son los más relevantes en el campo.

Por otra parte, los resultados correspondientes al financiamiento de los proyectos mostraron una preponderancia de proyectos mixtos, es decir, aquellos que combinan financiamiento de entidades públicas con entidades privadas tal como se muestra en la figura 6.

Respecto de las variables medidas, se identifica que las eléctricas son evaluadas en la mayoría de los casos mientras que solo en algunos proyectos se miden variables relacionadas con el recurso solar y las condiciones climáticas (figura 7).

*Se identifica la presencia de una variedad de instituciones estatales y privadas interesadas en el estudio, el desarrollo y la puesta en marcha de sistemas fotovoltaicos como una alternativa sustentable.*

En cuanto a la configuración elegida para el sistema, los resultados arrojados son los que se presentan en la figura 8, en la cual se muestra una tendencia a las configuraciones de tipo *string*.

Adicionalmente, se consultó a los encuestados en cuanto al posicionamiento de los paneles, obteniendo que solo tres de los proyectos utilizan arreglos de paneles con base móvil en un eje para modificar la

orientación, por lo que los diecisiete casos restantes eligen una orientación que permanece fija.

Más aún, el tipo de celdas utilizadas en la mayoría de los proyectos es silicio policristalino (en diecisiete de los veinte) con los restantes de silicio monocristalino.

La previamente mencionada Ley 26.190 proyectaba que para el 2016 un ocho por ciento de la generación eléctrica nacional provendría de fuentes limpias. Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos y la cantidad de proyectos iniciados, la falta de herramientas para la implementación de dicha ley imposibilitó alcanzar esta meta, logrando solamente ingresar al sistema un 1,9 por ciento de energía renovable según CAMMESA (CAMMESA, 2016) (incluyendo minihidráulica, biomasa, etcétera).

### Análisis de los resultados y discusión

Los resultados obtenidos a partir de la recopilación de datos y la información suministrada en las encuestas\* muestran un primer paso en la modificación de la matriz energética y un futuro prometedor para la energía solar fotovoltaica. Esto se debe, no solo a que las condiciones naturales están dadas (niveles de irradiancia adecuados para la generación fotovoltaica), sino también al impulso por parte de diferentes organismos para el desarrollo, la instalación y el seguimiento de sistemas fotovoltaicos completos. Aunque la intervención del estado en materia de energías renovables ha comenzado, se vislumbra la necesidad de una participación aún más activa para lograr modificaciones apreciables en la matriz energética argentina. En este sentido y con el fin de fomentar la incorporación de las energías renovables, el 21 de octubre de 2015 se publicó en el boletín oficial la nueva ley de Energías Renovables 27.191. La iniciativa proponía lograr que un ocho por ciento de la matriz nacional de energía sea aportada en 2017 por fuentes renovables, y alcanzar el veinte por ciento en el 2025.

Siguiendo el mismo lineamiento, en mayo de 2016, a través de las resoluciones 71/2016 y 72/2016 del Ministerio de Energía y Minería, se dio inicio al



Proceso de Convocatoria Abierta para la contratación en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) de generadores renovables con un requerimiento total de mil megawatts, bajo el denominado "Programa Renovar-Ronda 1". Estos mil megawatts que se incorporarían a la matriz energética del país estarían divididos en seiscientos de generación eólica, trescientos de generación solar, 65 de biomasa, veinte de pequeños aprovechamientos hidroeléctricos y quince de biogás. El plazo de ejecución máximo de los contratos es de hasta 24 meses, con una inversión estimada de entre 1.500 y 2.000 millones de dólares. Con estas nuevas incorporaciones, el país ahorraría unos trescientos millones de dólares al año en importación de combustibles para generación eléctrica, calculados al precio internacional actual del petróleo que se encuentra en el orden de los cincuenta dólares por barril. Asimismo, se evitarían la emisión a la atmósfera de casi dos millones de toneladas de dióxido de carbono al año.

Otra contribución muy importante para fomentar la incorporación de energías renovables tiene que ver con la creación de reglamentaciones adecuadas. En tal sentido, en enero de 2016 se aprobó en forma definitiva la reglamentación 90364-7-712 "Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos" de la *Asociación Electrotécnica Argentina* (AEA) basada en la Norma IEC 60364-7-712:2002-05. Por otro lado, mientras que algunas provincias ya tienen legislación sobre inyección de energía distribuida a la red eléctrica, a nivel nacional es un tema aún pendiente.

### Conclusión

En este trabajo se plasmaron los resultados parciales de un relevamiento de los proyectos existentes respecto de la energía solar fotovoltaica. En vista de los resultados arrojados y de la situación actual planteada, se observa un primer paso hacia la transformación de la matriz energética argentina, identificando la presencia de una variedad de instituciones estatales y privadas interesadas en el estudio, el desarrollo y la puesta en marcha de sistemas

fotovoltaicos como una alternativa sustentable. Además, las investigaciones realizadas por diferentes instituciones nacionales en materia de irradiación geográfica permiten identificar aquellas áreas donde conviene fomentar el establecimiento de nuevos proyectos de energía fotovoltaica. Todo esto aporta a que el país logre progresivamente aumentar la producción de energía fotovoltaica, con el objetivo de, no solo modificar la matriz energética, sino también equiparar geográficamente la generación con la demanda. ■

\* Encuesta (2016). Relevamiento de Instalaciones Fotovoltaicas. <https://goo.gl/forms/o3cyoOu9fiHmpOib2>

### Bibliografía

- [1] ALDAR (2016), <http://www.aldar.com.ar>
- [2] CAMMESA (2016), <http://www.cammesa.com/linfoanu.nsf>
- [3] Cervellini, M. P., N. I. Echeverría, P. D. Antoszczuk, R. A. García Retegui, M. A. Funes and S. A. Gonzalez (2016), *Optimized parameter extraction method for photovoltaic devices model*. IEEE Latin America Transactions 14(4), p1959-1965.
- [4] Encuesta (2016), *Relevamiento de Instalaciones Fotovoltaicas*. <https://goo.gl/forms/o3cyoOu9fiHmpOib2>.
- [5] Fouquet, Dörte (2013), *Policy instruments for renewable energy*. Renewable Energy 49(11), 15-18.
- [6] Grossi Gallegos, Hugo (1998), *Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación*. Energías Renovables y Medio Ambiente 5, 33-42.
- [7] IRESUD (2016), <http://iresud.com.ar/>
- [8] Ismail, M.S., M. Moghavvemi and T.M.I. Mahlia (2013), *Characterization of PV panel and global optimization of its model parameters using genetic algorithm*. Energy Conversion and Management 73, 10-25.
- [9] Kouro, Samir, Jose I Leon, Dmitri Vinnikov and Leopoldo G. Franquelo (2015), *Grid-Connected Photovoltaic Systems*. IEEE Industrial Electronics Magazine (March), 47-61.
- [10] MINEM (2016), *Ministerio de Ingeniería y Minería*. <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3904>
- [11] Recalde, Marina Yesica, Daniel Hugo and Leonidas Osvaldo (2015), *Limitaciones para el desarrollo de energías renovables en Argentina [Limitations for Renewable Energy Development in Argentina]*. 183(46), 89-115.
- [12] Solartec (2016), *SOLARTEC-Edificio de la legislatura de la ciudad Autónoma de Buenos Aires*. <http://www.solartec.com.ar/documentos/SFVCRLegislatura.pdf>

**Nota del editor:** la nota aquí reproducida fue originalmente presentada por los autores como artículo de investigación en AADECA 2016.

**Nota de los autores:** Este trabajo fue soportado por la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) proyecto PIP 0210, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT).