

AUTOCONSUMO DE UN USUARIO RESIDENCIAL DE LA REGIÓN CENTRO DE ARGENTINA SEGÚN LA POTENCIA SOLAR FOTOVOLTAICA INSTALADA

Autores: Gerardo D. Szwarc⁽¹⁾, Nicolás J. Rocchia⁽²⁾, Mateo A. Lardone⁽³⁾, Diego M. Ferreyra⁽⁴⁾
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. Argentina.
Tel. (03564) 421147/435402. <http://www.sanfrancisco.utn.edu.ar/>
⁽¹⁾ gszwarc@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar, ⁽²⁾ nicolasrocchia@gmail.com,
⁽³⁾ mateolardone@gmail.com, ⁽⁴⁾ dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo, se analizan los datos de generación de un año completo de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red de distribución en baja tensión, emplazada en la Región Centro en la provincia de Córdoba. Estos datos son extrapolados a diversas potencias comerciales menores a 2,8 kW, y comparados con los datos de consumo reales en el mismo año de un usuario residencial, emplazado en la misma región que la instalación analizada. El régimen normativo vigente tiene una clara orientación hacia el autoconsumo, es decir, que al usuario-generador le resulta tanto más favorable el esquema, cuanto mayor sea la proporción de autoconsumo de la energía que él mismo genera a partir de fuentes renovables. En otras palabras, es conveniente para el usuario-generador minimizar la cantidad de energía inyectada a la red, optimizando la dimensión de la instalación generadora. Por lo tanto, dado el consumo de la instalación residencial disponible y dada cada potencia fotovoltaica propuesta, se obtendrán diferentes proporciones entre la energía autoconsumida y la inyectada a red. Esta información será de gran valor como orientación regional para seleccionar la potencia de los módulos fotovoltaicos, a fin de maximizar cualquiera de estos indicadores.

Introducción

Las energías renovables han sido incorporadas a los sistemas de generación eléctrica de diversos países. En algunos, la generación distribuida es un tema evolucionado e instaurado en los sistemas energéticos, Alemania es un precursor y claro ejemplo de ello.

En el caso particular de Argentina la implementación de la generación distribuida se ha visto favorecida por diversas leyes que han facilitado su inserción, tal como la ley 27424. Esta ley fue creada en 2017 y establece el régimen legal para fomentar la generación distribuida a partir de fuentes renovables, dando libertad a las diferentes provincias a que se adhieran a ella mediante decretos provinciales (Congreso de la Nación Argentina, 2017).

En esta ley se estableció el concepto de usuario-generador a nivel domiciliario, el cual es aquel que genera energía eléctrica a partir de fuentes renovables para su uso propio, e inyecta a la red el sobrante de energía. Este tipo de usuario también puede consumir energía de la red en caso de que su generación no sea suficiente para autoabastecer su demanda.

La provincia de Córdoba se adhirió a la ley nacional 27424 a fines de 2018. Sin embargo, la UTN Facultad Regional San Francisco ya contaba con una instalación solar fotovoltaica piloto en funcionamiento desde 2015. Esta instalación entrega energía a la red interna del predio de la universidad y además, puede entregar la energía no consumida a la red pública de distribución de energía eléctrica.

Dicha instalación puede funcionar de esta forma gracias a que fue realizada bajo el proyecto IRESUD (Durán, J. C, et al., 2014), el cual buscaba fomentar las energías renovables y la generación distribuida. La misma cuenta con 12 paneles solares fotovoltaicos, que ocupan una superficie de 20 m² y tienen una potencia de 2800 W, pudiendo entregar una energía anual aproximada de 4000 kW·h, el cual es un valor cercano al consumo promedio de un hogar en la

República Argentina (Righini R. Grossi, Gallegos H., 2011). En la Fig. 1 se puede visualizar una foto de la instalación mencionada.



Fig. 1: Instalación solar fotovoltaica de la UTN Facultad Regional San Francisco.

La energía generada mediante los paneles solares fotovoltaicos es en corriente continua (CC), se transforma, adapta y conecta con la red gracias a la utilización de un equipo inversor, el cual además de cumplir con estas funciones también realiza la medición de diversas variables de funcionamiento de la instalación. Estas mediciones son realizadas cada quince segundos, entregando un valor cada tres minutos, lo cual permite visualizar con gran detalle el funcionamiento de la instalación durante su actividad y su alta variabilidad.

Sin embargo, las nombradas mediciones no se realizan bajo la normativa de medición de energía para comercialización, por lo cual es necesario un equipo adicional de medición normalizado que pueda trabajar en paralelo con el inversor, permitiendo de este modo, obtener valores normalizados de las variables de funcionamiento de la instalación. Para ello se utiliza un equipo de telemedición monofásico de la empresa DISCAR SA, el cual se obtuvo mediante un acuerdo con la empresa fabricante del mismo.

El equipo de telemedición es de importancia, ya que los valores obtenidos de las mediciones, son comparables con otras mediciones de las mismas variables, realizadas bajo la normativa vigente. La ley 27424 posee una clara orientación hacia el autoconsumo, es decir, busca fomentar que aquellos que desean instalar equipos de generación en sus hogares, comercios o industrias, consuman el mayor porcentaje posible de la energía generada, inyectando eventualmente la energía sobrante a la red. Esto se ve reflejado en la diferencia entre valor del kW·h entregado a la red que percibe el usuario-generador, y el valor del kW·h que se debe abonar al consumir energía de la red (UTN, 2020).

Por otro lado para la República Argentina, la curva de demanda de energía presenta un pico en horarios nocturnos, que es entendido debido a que si bien muchas industrias han cesado sus actividades laborales, las personas que antes estaban concentradas en lugares de trabajo, llegan a sus hogares y encienden los diferentes electrodomésticos, tales como televisores, lavarropas, aire acondicionado, computadoras, iluminación, etc. Sin embargo, la generación solar normalmente es máxima en horarios en torno al mediodía (CAMMESA, 2019).

Esta divergencia entre el horario de consumo y el horario de generación es la que produce que en el momento en el cual la generación es máxima (al mediodía solar), el consumo no sea tan elevado, y por lo tanto, gran parte de la energía generada se entregue a la red, tal como se muestra en la Fig. 2. Es necesario destacar que en este caso se ha tomado un día representativo de la época de invierno, momento en el cual por las condiciones de radiación solar que llega a la superficie de captación, la generación se ve reducida. En esta figura, se analiza la superposición de las áreas

bajo la curva de ambas variables, generación y consumo. El autoconsumo queda determinado donde ambas áreas coinciden, inyección a red el área por sobre la demanda y debajo de la curva de generación, y consumo de red el área bajo la curva de demanda que no coincide con el área debajo de la curva de generación.

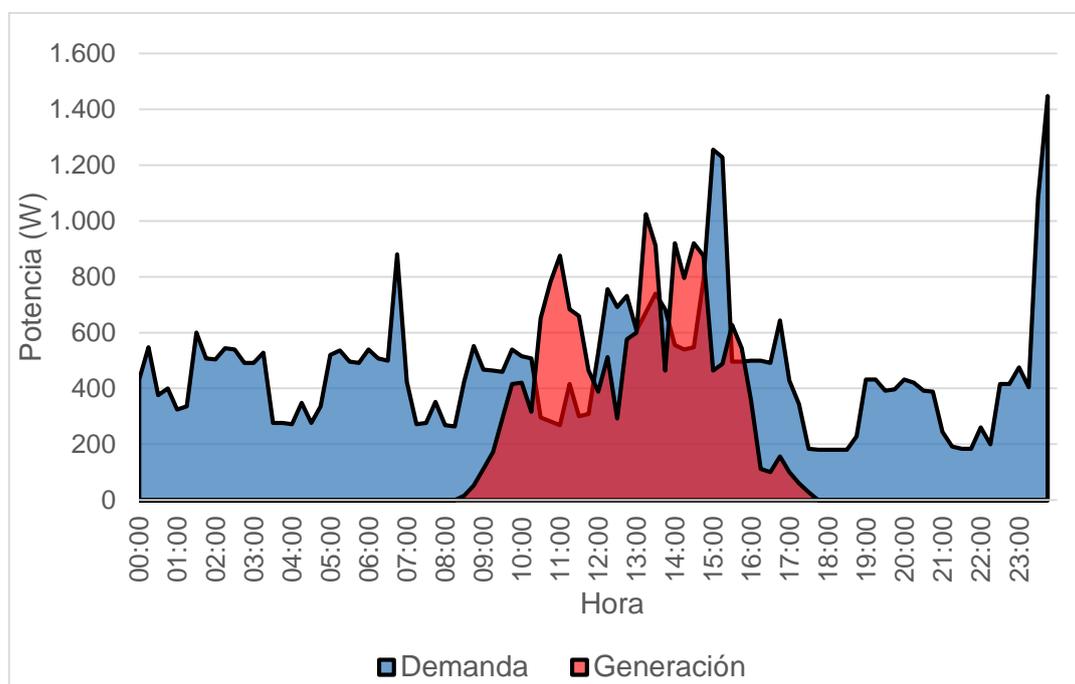


Fig. 2: Curvas de demanda y generación solar fotovoltaica superpuestas para el día 16/06/2017.

Desarrollo

A continuación, se toman los valores de la energía generada por la instalación solar fotovoltaica de la UTN Facultad Regional San Francisco, que fueron contabilizados por el equipo de telemedición durante un año, y se comparan período a período de medición con los valores reales de consumo de un hogar. Es pertinente aclarar que, debido a la gran cantidad de valores estos no pueden ser expuestos en el presente trabajo, en su lugar se presentan valores de resumen y se dan a conocer las principales conclusiones a las que se llega de dicho análisis.

En la Fig. 3a, se puede visualizar un gráfico que resume y compara mensualmente, la energía consumida por el hogar de referencia (esto es sin la instalación solar fotovoltaica) y la energía generada por la instalación solar mencionada. Es de destacar que la energía generada se divide a su vez entre energía inyectada a la red y autoconsumida.

En la Fig. 3b, se muestra una superposición entre las curvas de demanda y generación para el día 31/01/2018, permitiendo visualizar la diferencia entre ambas. El área limitada en su parte inferior por la curva de demanda y la de generación en su parte superior, representa la energía inyectada a la red (área naranja claro); el área dentro de la curva de generación y limitada en su parte superior por la curva de demanda representa el autoconsumo (área naranja); el área bajo la curva de demanda limitada en su parte inferior por la curva de generación es la energía consumida de la red (área azul). Es de destacar que en la curva de consumo de esta figura no se visualizan las variaciones en la demanda, tal como en la Fig. 2, debido a la escala de resolución.

Estos mismos gráficos se utilizan más adelante para comparar diferentes instalaciones y la interpretación de los mismos es similar para todos los casos, además, se utiliza el mismo día para la generación de la gráfica b de las figuras 4 y 5, de modo que sean comparables entre ellas. Del mismo modo, se utilizan las mismas estrategias representativas de cada área para facilitar su interpretación.

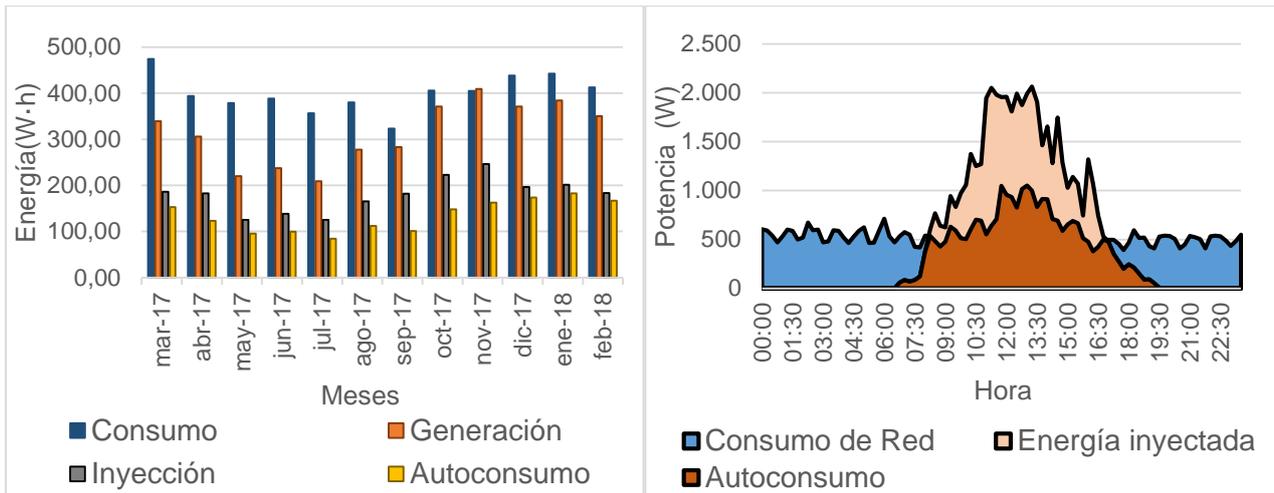


Fig. 3a: Comparación mensual entre la energía consumida por el hogar de referencia (sin la instalación solar fotovoltaica) y la energía generada por dicha instalación (de 2,8 kW), que a su vez se divide entre energía autoconsumida y energía inyectada a la red. Fig. 3b: Superposición de curvas de demanda y generación con instalación solar fotovoltaica de 2,8 kW de potencia para el 31/01/2018.

En una primera visualización se puede observar que solamente en el mes de noviembre la generación supera el consumo, esto se debe principalmente a la gran variabilidad y alta dependencia de las condiciones climáticas que posee la energía solar fotovoltaica (Szwarc, G, et al., 2016). Debemos contextualizar, que los períodos de mayor generación a lo largo del año coinciden con los períodos de mayor consumo. Sin embargo, el perfil de demanda de energía entre los hogares difiere de uno a otro, dependiendo de diversas variables como por ejemplo, horarios de trabajo, electrodomésticos disponibles, cantidad de residentes, entre otros.

En concordancia con lo anterior, debido a que la instalación se encuentra ubicada en el hemisferio sur, la generación es mayor en los meses de primavera y verano comprendidos entre septiembre y marzo, a causa de que la radiación solar que llega a la superficie de la instalación, tiene un valor mayor que en los meses de otoño e invierno, es decir, de abril a agosto (Duffie, John A. & Beckman, William A 2013). También se destaca que el autoconsumo no supera en ningún mes la inyección de la energía generada a la red.

De acuerdo a lo mostrado en los gráficos, se deduce que una instalación de 2,8 kW de potencia para un hogar de 4800 kW·h de consumo anual, lleva a tener una gran cantidad de energía entregada a la red (57,4 %), con un bajo nivel de autoconsumo (42,6 %). El consumo del hogar sin la instalación es de 4800 kW·h/año, la generación de la instalación es de 3759 kW·h/año, el autoconsumo de 1603 kW·h/año y la energía inyectada de 2156 kW·h/año. Por lo tanto, con la instalación planteada, se puede reducir el consumo del hogar de 4800 kW·h/año a 3197 kW·h/año.

Esto es contrario al objetivo de la ley 27424, debido al bajo nivel de autoconsumo. Por lo tanto a continuación, se extrapolan los datos de generación fotovoltaica a potencias menores para estudiar y comparar los valores de energía inyectada y autoconsumida, a fin de dimensionar la potencia de instalación que permita obtener el máximo nivel de autoconsumo posible.

Debe tenerse en cuenta que la generación de energía mediante paneles solares fotovoltaicos, posee una alta dependencia de las condiciones climáticas lo cual produce que, por ejemplo, los días de alta variabilidad en la nubosidad haya momentos en los cuales la generación sea superior a la energía consumida, pero en el siguiente período de medición la situación sea la inversa, es decir, el consumo sea superior a la generación.

Por lo tanto, es de reducido interés dimensionar una instalación solar fotovoltaica que permita obtener un 100% de autoconsumo, dado que esta debería ser muy pequeña (en potencia) para que

en el caso de que, en horarios de máxima generación como puede ser un día de verano al mediodía, esta sea menor que el consumo mínimo del hogar, el cual se puede dar cuando nadie se encuentre en la vivienda. Aun así, puede ocurrir que en un día específico bajo condiciones climáticas adversas para la generación solar, sí se produzca un autoconsumo del 100 %. Sin embargo, más allá del análisis día a día por lo general, para la gran mayoría de los usuarios residenciales resulta de mayor interés conocer los valores globales de consumo y generación de cada mes. Este es otro motivo por el cual se han simplificado los datos en las gráficas mostradas.

Las potencias a las cuales se extrapolan los datos de generación son a los valores de potencia de inversores comerciales, 1,5 kW (Czerweny, 2019a) y 0,9 kW (Czerweny, 2019b).

En la Fig. 4a, se puede observar el mismo gráfico realizado en la Fig. 3a pero, con los datos extrapolados a una instalación de 1,5 kW. En el mismo, se puede visualizar cómo la inyección de energía es menor que el autoconsumo en todos los meses del período considerado. Esto representa una mejor aproximación a uno de los objetivos de la ley 27424, que como se dijo anteriormente es fomentar el autoconsumo. A su vez, en la Fig. 4b, se muestra una superposición entre las curvas de demanda y generación para el día 31/01/2018, cuya interpretación es similar a la de la Fig. 3b.

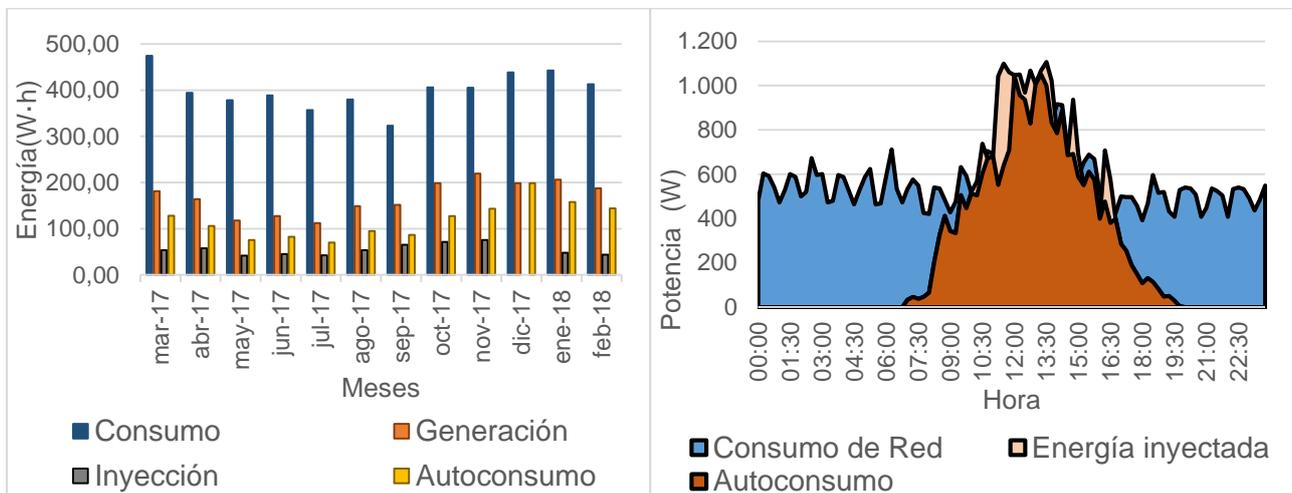


Fig. 4a: Comparación mensual entre la energía consumida por el hogar de referencia (sin la instalación solar fotovoltaica) y la energía generada por dicha instalación (de 1,5 kW), que a su vez se divide entre energía autoconsumida y energía inyectada a la red. Fig. 4b: Superposición de las curvas de demanda y generación con instalación solar fotovoltaica de 1,5 kW de potencia para el día 31/01/2018.

Para este caso, el porcentaje mensual de la energía autoconsumida con respecto a la generada se encuentra entre el 57 %, correspondiente al mes de agosto, y el 77 % correspondiente a los meses de enero y febrero. Además, es de destacar que el porcentaje de energía autoconsumida es mayor en los períodos de verano que en los de invierno. En cuanto a la energía inyectada a la red el porcentaje varía entre el 23 % y el 43 %, como es de esperar, la energía inyectada es máxima cuando la autoconsumida es mínima.

Para este caso al igual que en los demás, el consumo no se ha modificado permaneciendo en 4800 kW·h/año, la generación es de 2013 kW·h/año, el autoconsumo de 1361 kW·h/año y la energía inyectada de 652 kW·h/año. Con la instalación planteada, se reduciría el consumo del hogar de 4800 kW·h/año a 3438 kW·h/año.

En la Fig. 5a, se muestra nuevamente el mismo gráfico que en la Fig. 3a y 4a, pero con los datos de generación solar fotovoltaica extrapolados a una potencia nominal de 0,9 kW. Al igual que en el caso anterior, la inyección de energía a la red no superó en ningún momento a la energía autoconsumida. En la Fig. 5b, se muestra la superposición entre las curvas de demanda y generación para el día 31/01/2018, cuya interpretación es similar a la de la Fig. 3b y 4b. En esta figura

se puede observar como la energía inyectada para este día tiene un reducido valor y por lo tanto, no se puede visualizar con facilidad en la gráfica mostrada.

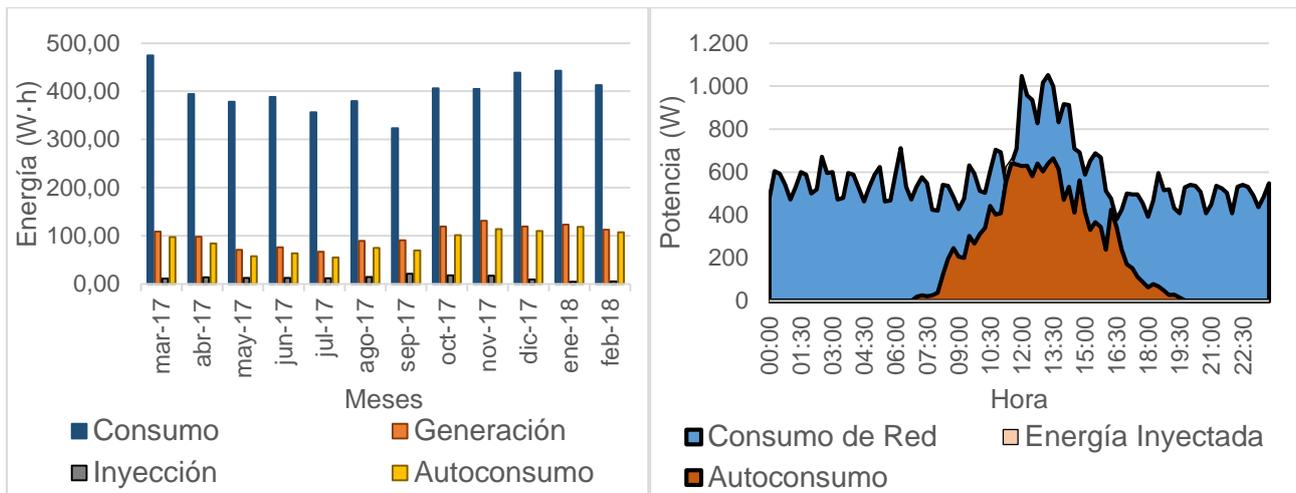


Fig. 5a: Comparación mensual entre la energía consumida por el hogar de referencia (sin la instalación solar fotovoltaica) y la energía generada por dicha instalación (de 0,9 kW), que a su vez se divide entre energía autoconsumida y energía inyectada a la red. Fig. 5b: Superposición de las curvas de demanda y generación con instalación solar fotovoltaica de 0,9 kW de potencia para el día 31/01/2018.

La energía mensual autoconsumida asumió valores de entre el 77 % y el 96 % de la energía generada. Como se anticipó anteriormente, es poco probable que la energía inyectada a la red sea nula obteniendo un 100% de autoconsumo, debido a la gran variabilidad en el consumo que presenta un hogar mes a mes.

Nuevamente, el consumo no se ha modificado (4800 kW·h/año), la generación es de 1208 kW·h/año, el autoconsumo de 1054 kW·h/año y la energía inyectada de 154 kW·h/año. Con la potencia de esta instalación planteada se reduciría el consumo del hogar de 4800 kW·h/año a 3746 kW·h/año.

Los valores de la energía anual consumida, generada, inyectada a la red y autoconsumida de las tres potencias de las instalaciones planteadas, se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1: Resumen de la energía anual consumida, generada, inyectada a la red y autoconsumida de las instalaciones planteadas.

		Energía			
		Consumida (kW·h/año)	Generada (kW·h/año)	Inyectada a la red (kW·h/año)	Autoconsumida (kW·h/año)
Potencia de la instalación solar	2,8 kW	4800	3759	2156 (57,4%)	1603 (42,6%)
	1,5 kW	4800	2014	652 (32,4%)	1362 (67,6%)
	0,9 kW	4800	1208	154 (12,8%)	1054 (87,2%)

Como se puede observar en la Tabla 1, la proporción en la que varía la energía autoconsumida no es la misma que la inyectada a la red. Además, se puede notar que, al pasar de una instalación de

2,8 kW a una de 1,5 kW, la energía autoconsumida disminuye en 242 kW·h / año, mientras que la inyección disminuye en 1504 kW·h / año.

Realizando el mismo análisis y comparando la instalación de 2,8 kW con la de 0,9 kW, se obtiene que la energía autoconsumida disminuye en 549 kW·h / año, mientras que la inyectada disminuye en 2002 kW·h / año.

Es importante recordar que la instalación solar original de 2,8 kW no fue dimensionada para el consumo de 4800 kW·h / año, sino para 4000 kW·h / año. Por lo tanto, al analizar estos datos se puede deducir con relativa facilidad que para obtener una alta proporción de autoconsumo en un hogar, la instalación solar no debe dimensionarse en base al consumo anual del mismo, dado que el horario de máxima generación no siempre coincide con el de máximo consumo. Este tipo de dimensionamiento lleva a obtener una instalación solar fotovoltaica sobredimensionada, que entrega una gran proporción de la energía generada a la red.

Por lo tanto, el dimensionamiento de la instalación solar fotovoltaica debe realizarse en base al perfil de consumo del hogar y definiendo claramente el objetivo que se persigue con la misma, para el trabajo desarrollado, dicho objetivo fue el de incrementar al máximo el autoconsumo.

Un punto importante a tener en cuenta es la utilización de baterías, ya que estas permiten incrementar considerablemente el nivel de autoconsumo. Esto es así, gracias a que posibilitan el almacenamiento de la energía generada, no consumida por el hogar, para ser utilizada en momentos en los cuales la generación es inferior a la demanda, es decir, almacenan la energía que en los casos analizados se inyecta a la red.

Si bien la tecnología de baterías se encuentra en constante desarrollo, aún continúan requiriendo de condiciones especiales de almacenamiento, mantenimiento y espacio físico, además, su vida útil aún no iguala a la de los paneles solares fotovoltaicos. A esto debe sumarse el costo adicional que implica su utilización, tanto en la compra e instalación, como el mantenimiento y la disposición final de las mismas, la cual debe realizarse con las medidas adecuadas para evitar la contaminación del medio ambiente (Save the children, 2013). En caso de no cumplir con las indicaciones de los fabricantes, las baterías se deterioran rápidamente y pueden causar daños a la instalación, e incluso sacarla de servicio. Es por estos motivos que no es recomendable la utilización de las mismas para este tipo de instalaciones, principalmente debido a que se tiene la posibilidad de conectarse a la red y obtener de ella la energía faltante para cubrir la demanda del hogar, o para entregar la energía sobrante generada por la instalación solar fotovoltaica.

Otra forma de incrementar el autoconsumo es por medio de una gestión de la demanda por parte del usuario, lo cual con acciones simples puede tener resultados positivos en pos del autoconsumo. Dentro de estas acciones se puede mencionar la utilización de diferentes electrodomésticos, tal como lavarropas, lavavajillas, sistemas de bombeo de agua, plancha eléctrica, etc. en los horarios de máxima generación.

Otra buena práctica consiste en apagar aquellos electrodomésticos como computadoras, televisores, equipos de música y radio, así como también los elementos de iluminación artificial cuando no se las están utilizando. Esto no solo da la posibilidad de incrementar el autoconsumo, si se realiza esta práctica aún sin tener la instalación solar fotovoltaica se puede reducir el consumo eléctrico del hogar.

Si bien cada una de estas prácticas produce un pequeño cambio, todas juntas pueden llegar a producir un considerable incremento en el nivel de autoconsumo del hogar.

Conclusiones

Al mantener fijo el consumo de un hogar y hacer variar la potencia de una instalación solar fotovoltaica, se pudo observar que la energía inyectada a la red y la autoconsumida no varían en la

misma proporción. Esto permite disminuir la potencia de la instalación de generación solar de modo tal que la mayor proporción de la energía generada sea autoconsumida. Dicha variación es producto de la divergencia entre la curva diaria de generación y la de consumo del hogar.

Si se busca incrementar lo más posible el autoconsumo, una instalación solar fotovoltaica no debe dimensionarse en base al consumo anual del hogar, sino en base a la curva diaria de demanda del mismo.

La utilización de baterías no parece recomendable para instalaciones que tengan la posibilidad de conectarse a la red mediante el formato planteado, debido a que estas complejizan la instalación y aumentan su costo, pudiendo generar un costo ambiental adicional si no son desechadas correctamente.

Para el incremento del autoconsumo se recomienda la utilización de electrodomésticos en horarios de máxima generación y el apagado de aquellos que no se encuentran en utilización, tales como computadoras, radios, televisores y equipos de iluminación artificial.

Agradecimiento

A la empresa Discar SA, en la persona del Ing. Atilio Gelfo, por la provisión de datos reales de mediciones referenciales, con los debidos recaudos de confidencialidad.

Referencias

- CAMMESA (2019). Informe anual 2019. Cammesa.com. Recuperado de <https://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>
- Congreso de la Nación Argentina (2017). Ley nro. 27424: régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública.
- Czerweny (2019a). INVERSOR-YC1000-3-2019-REV-01-BAJA. Recuperado de: <https://www.motoresczerweny.com.ar/productos-para-instalaciones/>
- Czerweny (2019b). INVERSOR-YC500-600-2019-REV-01-BAJA. Recuperado de: <https://www.motoresczerweny.com.ar/productos-para-instalaciones/>
- Duffie, John A.; Beckman, William A. (2013) "Solar Engineering of Thermal Processes", Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc
- Durán, J. C.; Socolovsky, Hernán Pablo; Raggio, D.; Godfrin, Elena María; Jakimczyk, J.; et al.; Proyecto IRESUD: interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. estado de avance a julio de 2014 y primeras mediciones en sistemas piloto; Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente; Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente; 18; 4; 9-2014; 57-67
- Righini R, Grossi Gallegos H, "Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina", Actas del IV Congreso Nacional/Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN), 2011 (pp. 11-161)
- Save the children (2013) "Manual de usuario: "Operación y mantenimiento de acueductos y sistemas solares (fotovoltaicos)". Santo Domingo, República Dominicana.
- Szwarc, G., Rocchia, N., Ferreyra, D., Sarmiento, A., (2016) "Caracterización de parámetros de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica en función del tiempo" VII Jornada de Ciencia y Tecnología CyTAL. Villa María, Córdoba.
- UTN (2020). IX Seminario Nacional Virtual "ENERGÍA Y SU USO EFICIENTE". AJEA, (9). <https://doi.org/10.33414/ajea.9.814.2020>