

Incorporación de energías renovables en el hábitat popular de San Juan, Argentina

Incorporation of renewable energies in the popular habitat of San Juan, Argentinas

Resumen

Las edificaciones generan elevados niveles de emisiones contaminantes, causadas principalmente por la fuerte dependencia de recursos de origen fósil. En consecuencia, ha comenzado una transición energética global basada en la penetración de energías renovables para la generación de electricidad, donde la solar fotovoltaica presenta un importante desarrollo. En este marco, es objetivo del trabajo realizar una propuesta de diseño de incorporación de la tecnología solar fotovoltaica en un barrio de vivienda de interés social de la Ciudad de San Juan-Argentina, fundada en sus condiciones climáticas, geográficas y el abundante recurso solar. Para su alcance se evalúan las factibilidades técnicas urbano-arquitectónicas, se procede a una simulación dinámica, y se calcula la producción de energía eléctrica, conducente al alcance del autoconsumo. Se concluye que es posible generar un promedio de 132 kWh/m². año.

Palabras clave: vivienda de interés social, tecnología solar fotovoltaica, generación distribuida, autoconsumo, diseño arquitectónico integral

Abstract

Buildings generate high levels of polluting emissions, caused mainly by the heavy dependence on fossil fuels. Consequently, a global energy transition has begun through the penetration of renewable energies for electricity generation, where solar photovoltaic presents an important development. The aim of this work is to make a design proposal for the incorporation of solar photovoltaic technology in a social housing neighbourhood in the city of San Juan-Argentina, based on its climatic and geographic conditions and the abundant solar resource. For its scope, the urban-architectural technical feasibility are evaluated, a dynamic simulation is carried out, and the production of electric energy is calculated, leading to the scope of self-consumption. It is concluded that it is possible to generate an average of 132 kWh/m².year.

Keywords: housing of social interest, photovoltaic solar technology, distributed generation, self-consumption, integral architectural design

Alonso Frank Alción de las Pléyades

afrank@faud.unsj.edu.ar

Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat

Michaux María Celina

afrank@faud.unsj.edu.ar

Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat

Recibido: 01/08/2022

Aceptado: 25/10/2022

Introducción

La generación distribuida (GD) está cambiando la forma en que se produce la energía, ya que los usuarios-generadores comparten la energía renovable (ER) que producen, transformando el sistema eléctrico en un sistema distribuido ([Everis Consulting, 2019](#)). En lo particular, la energía solar fotovoltaica (SFV) distribuida ha aumentado significativamente en los últimos años, siendo la tecnología de ER dominante ([Barbose et al., 2018](#)). En esta línea, se prevé que su capacidad se multiplique por 20 de aquí a 2050 debido al desarrollo de políticas favorables y a su creciente atractivo económico ([IRENA, 2019](#)). A modo de ejemplo, en la actualidad la energía SFV está presente en más de 25 millones de cubiertas en todo el mundo, la cual prevé ser incrementada a 100 millones en 2030 y a 240 millones en 2050 ([IEA, 2021](#)).

En lo que refiere al sector edilicio, la energía solar ha sido la fuente de ER imperante en el sector residencial ([Wei y Skye, 2021](#)). Diversas investigaciones han estudiado las instalaciones SFV en la envolvente, no sólo desde una perspectiva técnica y buscando únicamente eficiencia de la instalación sino también indagando sobre un aporte a la conformación espacial y arquitectónica. En estos casos, las instalaciones SFV son oportunidades para lograr una arquitectura sinérgica entre el paradigma ambiental, las formas, los usos y los significados de la arquitectura ([Pilar, 2018](#) y [2017](#)). Además, las viviendas que se integran al régimen SFV de GD, se vuelven más conscientes del consumo energético, cambian su patrón de uso eléctrico e incluso comienzan a participar en otras actividades proambientales, dado que los usuarios se ven como parte de la solución, asumiendo el control de la transición e involucrándose como agentes de cambio ([Unión Europea, 2020](#); [Öhrlund et al., 2020](#)).

En efecto, la idea de que la instalación SFV genera un impacto visual negativo a la arquitectura ha sido reemplazada. A la fecha, son numerosos los ejemplos que muestran cómo puede ser un recurso estético que mejore la morfología y aporte a la imagen edilicia. Entre las especificaciones a tener en cuenta se hallan las características del lugar de emplazamiento (que considera la superficie, inclinación y orientación de techo, entre otros), características del sistema SFV (tamaño, color, forma, material, montaje, estructura del panel SFV entre otras), características climáticas (trayectoria solar, radiación, t° máximas, nieve, entre otras), características del entorno (sombras, obstáculos, vegetación, elementos reflectantes, entre otros), características de consumo (demanda eléctrica, potencia de los artefactos, entre otros), características urbanísticas (arbolado, FOT, FOS entre otros) y características de mantenimiento del sistema SFV (considerando el mantenimiento preventivo y el correctivo). En [Tabla 1](#) se muestran estrategias que pueden ser adoptadas para integrar arquitectura e instalación SFV.

Tabla 1

Autores	Especificaciones						
	lugar	stma-SFV	climáticas	entorno	consumo	urbanas	mantenimiento
Abdulkadir y Ibrahim (2020)	x	x					
Achenza y Desogus (2013)		x					
Alobaidi y Thabit (2019)		x					
Ingemecanica (2015)	x	x	x		x		
Kaan y Reijenga (2004)	x	x					
Luque y Hegedus (2003)		x		x		x	
Masseck (2006)	x	x				x	x
Montero Fontan (2016)				x			
Munari et al. (2013)		x	x				
Taz (2017)	x	x					
Yang et al. (2020)	x	x	x				

Estrategias de integración del sistema SFV a la arquitectura
Elaboración propia

Por su parte, Argentina ha identificado a las ER como las principales prioridades de acción, ya que la generación de electricidad a partir de ellas mantiene un crecimiento continuo en los últimos años. Incluso en 2021 se alcanzó un pico histórico de 28,84% de la generación total nacional ([World Energy Council, 2022](#)). En este contexto, el objetivo del trabajo es realizar una propuesta de diseño de incorporación de la tecnología SFV en un barrio de tipología monoblock de vivienda de interés social de la Ciudad de San Juan-Argentina, la cual destaca por sus condiciones climáticas, geográficas, así como por la disponibilidad del recurso solar ([Raichijk et al., 2009](#)).

Metodología

Para alcanzar el objetivo planteado, se desarrolla una metodología de carácter cuantitativo, estructurada en tres etapas. La misma combina técnicas documentales, observacionales y proyectuales. En la Etapa I, se selecciona el caso de estudio, para lo cual se analizan los barrios construidos por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) emplazadas en las Bandas Eminentemente Urbanas y Urbanas de la Ciudad de San Juan. Para ello, se utiliza el software libre QGIS (versión 3.16.11 Hannover) y planillas Excel, para la organización y estudio de la información.

Seguidamente, en la Etapa II, se procesan los datos de consumo eléctrico anual de los casos de estudio, los cuales han sido obtenidos del Energía San Juan (ESJ). El desarrollo de esta tarea se lleva a cabo con el software estadístico SPSS Statistics (versión 25) que permite el procesamiento y sistematización de los datos. En forma consecutiva se realiza un relevamiento in situ de los parámetros físicos de las viviendas y de su entorno urbano inmediato.

Finalmente, en la etapa III de carácter proyectual, se elabora una propuesta de diseño donde se incorpora tecnología SFV al caso de estudio seleccionado, para lo cual se utilizan los softwares de libre disponibilidad SketchUp (versión 2022) y System Advisor Model (SAM) (versión 2021.12.02) desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos ([NREL, 2017](#)). Para el alcance de esta última etapa se realiza el análisis de viabilidad técnica, arquitectónica y urbana de la aplicación e integración de la tecnología SFV en las viviendas sociales en estudio.

Desarrollo

Caso de Estudio

Se selecciona como caso de estudio el Barrio Manantial ejecutado por el IPV. Éste se emplaza en la banda urbana característica (BUC) eminentemente urbana (EU) de la ciudad de San Juan, cuyos índices urbanísticos resultan los más altos de la misma ([Papparelli et al., 2009](#); [Kurbán et al., 2017](#)). El Barrio está conformado por 540 unidades funcionales, distribuidos en cuatro tipologías arquitectónicas de orientación variable conforme a su disposición en el conjunto ([Figura 1](#)).



Figura 1: Ubicación del Barrio Manantial según Bandas Urbanas (izq.), en su entorno inmediato (centro) y sus tipologías (der.)
Elaboración propia en base a datos suministrados por el IPV, Google Earth, 2021

Caracterización climática

San Juan abarca una superficie de 91.221 km² y se caracteriza por su clima desértico y por el elevado nivel de peligrosidad sísmica ([Gobierno de San Juan, 2021](#)). Así mismo, por poseer un recurso solar abundante, con niveles diarios promedio de 7,33 kWh/m² de radiación solar global horizontal para el período comprendido entre octubre y marzo, y valores promedio de 3,95 kWh/m² para los meses de abril a septiembre ([Bianchi y Cravero, 2010](#)) ([Figura 2](#)). Respecto a la heliofanía efectiva, registra entre 4 y 9 horas diarias según la ubicación y el período del año ([Montenegro, 2019](#)).

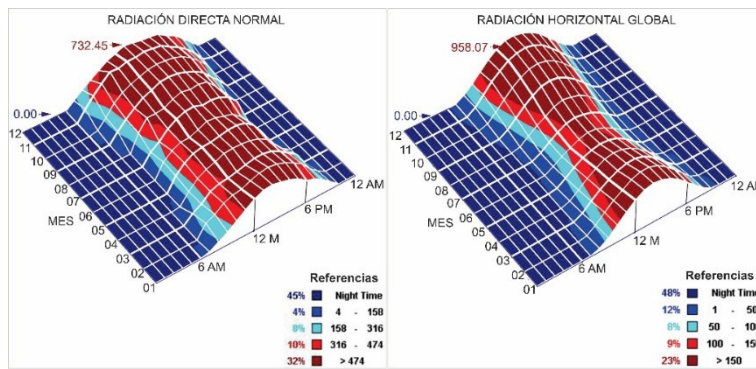


Figura 2. Niveles de radiación directa normal (en Wh/sqm) (izq.) y radiación global horizontal (en Btu/sqft) (der.) para San Juan Department of Energy of United State (2021)

Análisis del entorno urbano

El relevamiento in situ permite verificar la presencia y altura de árboles próximos a cada bloque, donde se detectan dos grupos. Primeramente, el arbolado público ubicado sobre la línea municipal está constituido en su totalidad por moras (*morus alba*) con una altura comprendida entre 3 y 11 metros. Del estudio de sombras se tiene que existen 841 m² de superficie inhabilitada al norte, 597 m² al este y 566 m² al oeste ([Figura 3](#)). De alejar los bloques de la línea municipal, se habría podido aprovechar, en total, 2004 m² de superficie en la envolvente vertical para la instalación de la tecnología SFV.

El segundo grupo, hace referencia a las especies ubicadas en patios internos y espacios semipúblicos del barrio, donde también predomina la especie *morus alba*. Además, se relevaron pinos, eucaliptos, pimientos, acacia, palmeras washingtonia y fénix, álamos y jacarandá. A excepción de pinos y el eucalipto, el resto de los árboles no supera los 10 metros de altura. En este caso, la superficie inhabilitada por vegetación corresponde a 1700 m² de superficie al norte, 1107 m² al este y 1719 m² al oeste, sumando un total de 4526 m² ([Figura 3](#)).



Figura 3. Superficie inhabilitada por sombra debido al arbolado público (izq.) y debido a vegetación en espacio semipúblico (der.)

Elaboración propia en base a relevamiento e imágenes de Google Earth, 2021

Generación de energía SFV

Para proceder a determinar la cantidad y tipo de panel SFV a implementar, es necesario conocer los consumos reales a los cuales hay que abastecer. En esta línea, en [Figura 4](#) se exponen los consumos eléctricos mensuales promedios por unidad funcional y por edificio, suministrados por ESJ (2021). Como se observa, cada unidad funcional posee un consumo promedio de 225 kWh/mes, de manera que cada edificio compuesto por 9 unidades funcionales tiene un consumo promedio de 2028 kWh/mes y uno de 12 unidades funcionales, un consumo promedio de 2703 kWh/mes.

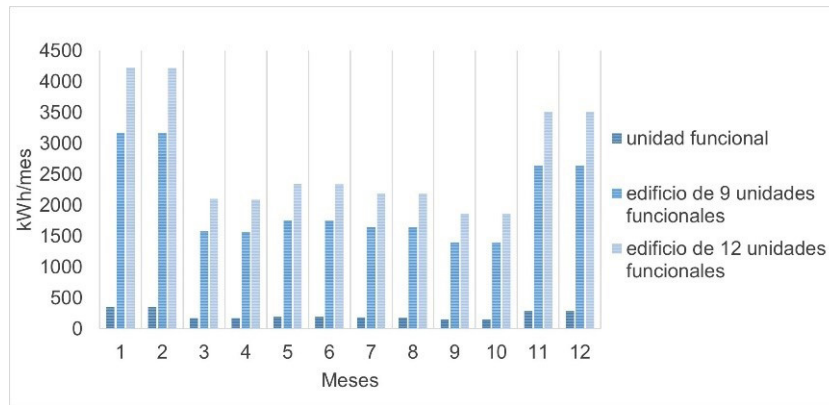


Figura 4. Consumo mensual promedio por período de un año, por unidad funcional y por edificio – Años 2018-2020
Elaboración propia en base a datos suministrados por ESJ, 2021

En base al relevamiento realizado y los niveles de consumo, se deriva a la selección del panel SFV. El mismo es monocristalino de potencia nominal de 395 W y modelo SOL-72M-395 (Figura 5) y dispone, según norma de fabricación, una estructura celular de alto rendimiento con módulos libres de defectos es de fácil montaje, tiene un rendimiento excepcional en entornos con poca luz e irradiación, tolerancia de potencia positiva 0 ~ + 3% y 12 años de garantía de rendimiento al 90% y 30 años de garantía de rendimiento al 80%. Las dimensiones son de 2008 x 1002 x 40 mm y poseen vidrio templado y marco de aleación de aluminio anodizado.

Para el montaje del panel en el paramento superior se propone la estructura que se observa en Figura 5, la cual debe ser calculada para que soporte el peso propio, la acción del viento y del sismo. De Roitman et al. (2015) se tiene que la bajada del cableado desde los paneles hasta el tablero de control del sistema se realiza mediante electroductos de caño galvanizado para prevenir el deterioro de las vías de transmisión por efecto de los rayos ultravioletas.



Figura 5. Panel monocristalino seleccionado (izq.) y estructura propuesta sujeta a cálculo estructural (der.)
Solartec, 2021(izq.) y elaboración propia (der.).

En la estructura se parte de considerar la óptima inclinación de los paneles SFV (β), esto es, el ángulo que se forma respecto de la horizontal. Para el caso de San Juan, la misma se corresponde, a la latitud geográfica para la máxima producción anual de energía. Así mismo, la separación entre paneles responde a lo indicado por la Secretaría de Energía (2019). Por otra parte, la estructura se plantea de caños de sección rectangular y cuadrada totalmente galvanizada con fijación en el paramento horizontal.

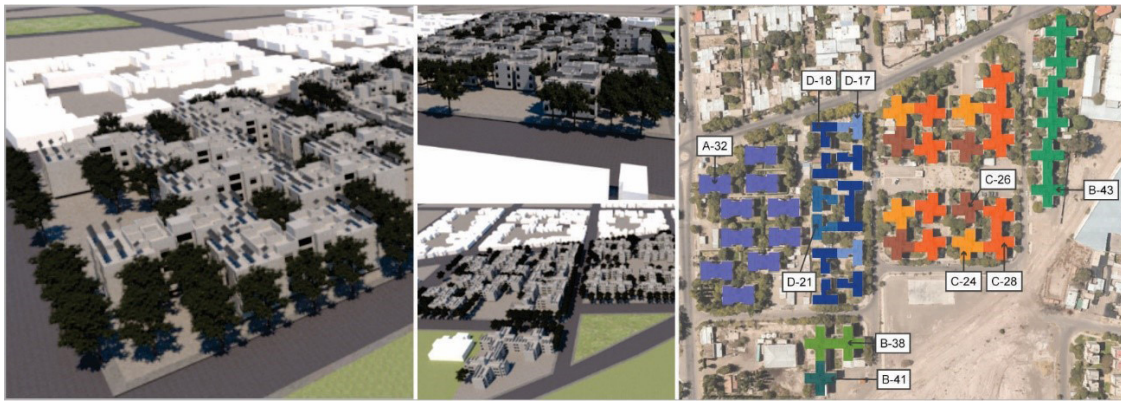


Figura 6. Propuesta de emplazamiento de paneles en Barrio Manantial (izq. y centro) y cantidad de paneles por bloque (der.)
Elaboración propia, 2021

De esta manera, en los edificios en estudio, la propuesta de emplazamiento de paneles es la indicada en [Figura 6](#). Como se puede observar, cada tipología, en función de su orientación y configuración espacial, tiene diversidad de cantidad de paneles SFV en sus cubiertas. Así mismo, como se indica precedentemente, dada la presencia de árboles y, en la mayoría de las configuraciones, la proximidad entre bloques, no es posible ubicar paneles en la envolvente vertical. La [Figura 6](#) (der.) precisa la cantidad de paneles SFV dispuestos por bloque, los cuales oscilan entre 17 y 43.

En base a los datos del panel SFV y la cantidad dispuesta de los mismos, se efectúa la simulación dinámica. De la misma, se obtiene para cada tipología edilicia, la cantidad de energía generada por mes para el período de un año en comparación a los niveles de consumo promedio ([Figura 7](#)).

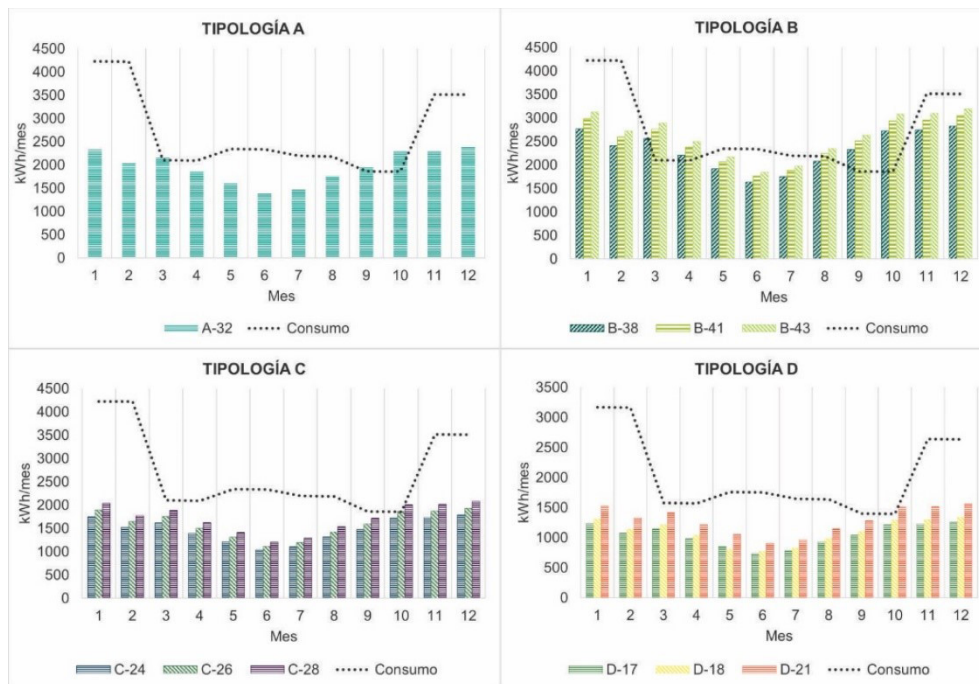


Figura 7. Generación vs. consumo por mes, para el período de un año por tipología
Elaboración propia, 2021

Si se realiza un balance entre energía generada y energía consumida de la red de distribución, resulta que el mismo es favorable en el 16,7% de los casos. Específicamente en la tipología A-32 (en marzo, septiembre y octubre), en la B-38 (en marzo, abril, septiembre y octubre), en la B-41 y B-43 (en marzo, abril, agosto septiembre y octubre) y en la C-26, C-28 y D-21 (en octubre).

Por último, se analiza la generación SFV en relación con la superficie útil de captación. Para ello, se calcula primeramente la superficie útil en cubierta en proporción a la superficie total. Al respecto, se observa que en la Tipología A se puede disponer del 54% de la superficie total para la instalación de paneles SFV, en la Tipología B el 64%, en la Tipología C el 62% y en la Tipología D el 61%. Ello, producto de las sombras arrojadas por el mismo edificio, o bien, por el adosado a éste.

Consecuentemente, se calcula la generación SFV en relación con la superficie útil de captación anual de cada tipología (Figura 8). De ello resulta que se tiene un promedio de generación para la totalidad del Barrio de 132 kWh/m² año, con una máxima de 174 kWh/m² año en la Tipología B-43 y una mínima de 98 kWh/m² año en la Tipología D-17.

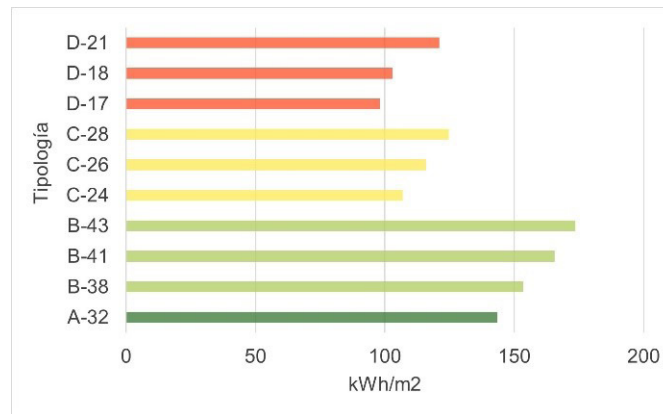


Figura 8. Generación de energía solar fotovoltaica por unidad de superficie útil, por tipología
Elaboración propia, 2021

Conclusiones y discusión de resultados

Frente a la problemática ambiental global, la energía SFV presenta un desarrollo exponencial en los últimos tiempos, reconociéndose como un valioso recurso del presente y futuro de las ciudades, dada su factibilidad de integración en el diseño urbano y arquitectónico. No obstante, para su alcance es fundamental partir de un análisis holístico de aspectos del proceso de planificación y desarrollo urbano, desde el trazado de las calles y línea de arbolado público, hasta edificios y la forma de las cubiertas, entre otros, los cuales afectan de manera crucial la viabilidad y el rendimiento de cualquier sistema SFV instalado.

Ejemplo de ello es lo analizado en el Barrio Manantial de la Ciudad de San Juan, el cual tiene un potencial de generación de 132 kWh/m² año producto de que posee una superficie útil equivalente al 60% de la cubierta, sin aprovechamiento de su envolvente vertical. En efecto, se considera ineludible pensar los edificios no solo como espacios para desarrollar la vida humana y para habitar, sino también como espacios generadores de energía. Donde balcones, galerías, terrazas, espacios semicubiertos, entre otros, pueden integrarse a la instalación SFV y en muchos casos aportar a la imagen arquitectónica del mismo.

Se concluye que la propuesta de diseño de incorporación de la tecnología solar fotovoltaica en un barrio de vivienda de interés social representa el camino que nos acerca a un modelo energético ambiental y social sostenible que debe ser apropiado por los tomadores de decisiones. Esto último, en especial, reconociendo el abundante recurso solar local.

Como trabajos futuros se menciona, el análisis de ciclo de vida de los componentes de la instalación SFV, los cuales demandan materias primas y energía a la vez que generan emisiones de CO₂. Así también se espera avanzar en el análisis económico que representa incorporar este tipo de instalaciones a las viviendas de interés social de la provincia.

Bibliografía

- Abdulkadir, B. M. y Ibrahim, P. D. (2020). Integration of solar panels with the architectural context of residential buildings. Erbil city as a case study. *Sulaimani Journal for Engineering Sciences*, 7(2), 11–62. <https://doi.org/10.17656/sejs.10125>
- Achenza, M. y Desogus, G. (2013). *Guidelines on building integration of photovoltaic in the Mediterranean area*.
- Alobaidi, M. M. y Thabit, N. M. (2019). The Impact of employed Solar Systems in Architectural Projects Facades. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 31(3), 84–88. <https://dx.doi.org/10.21271/zjpas>
- Barbose, G., Darghouth, N., Lacommaré, K., Millstein, D. y Rand, J. (2018). *Tracking the sun. Installed price trends for distributed photovoltaic systems in the United States*. <https://www.osti.gov/biblio/1477384>
- Bianchi, A. R. y Cravero, S. A. (2010). *Atlas climático digital de la República Argentina*. INTA, 1° ed.
- Department of Energy of United State. (2021). *Climate Consultant*. Disponible en <https://www.sbse.org/resources/climate-consultant>
- Everis Consulting. (2019). *Distributed Generation Concept and Case Study*. Disponible en https://e17r5k-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/evercorp/s3fs-public/distributed_generation_concept_study.pdf?WtmneWatryTdKEPMzN_J5eTmc5HrouSZ
- Gobierno de San Juan. (2021). *Caracterización de la Provincia de San Juan. Plan estratégico San Juan*. https://planestrategico.sanjuan.gob.ar/?page_id=314
- IEA. (2021). Net Zero by 2050 - A Roadmap for the Global Energy Sector. Disponible en <http://iea.org/tyc/>
- Ingemecanica. (2015). *Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda*. Tutorial N°192. Disponible en <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- IRENA. (2019). *Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*.
- Kaan, H. y Reijenga, T. (2004). Photovoltaics in an Architectural Context. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 408, 395–408. <https://doi.org/10.1002/pip.554>
- Kurbán, A., Cúnsulo, M., Papparelli, A. y Montilla, E. (2017). Distribución espacial de la urbanización en el oasis de Tulum: Área metropolitana de San Juan. *El Ojo del Cóndor*, 27–29.
- Luque, A. y Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*.
- Masseck, T. (2006). Investigación aplicada en el campo de la sostenibilidad CISOL. Centro de investigación solar ETSAV. *Segundas Jornadas Sobre Investigación En Arquitectura y Urbanismo*.
- Montenegro, M. (2019). San Juan y su política de desarrollo de la energía fotovoltaica. <http://sisanjuan.gob.ar/interes-general/2019-10-07/18102-san-juan-y-su-politica-de-desarrollo-de-la-energia-fotovoltaica>
- Montero Fontan, J. (2016). *Arquitectura y energía fotovoltaica. Integración arquitectónica de la energía fotovoltaica*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Munari Probst, M. C., Roecker, C., Frontini, F., Scognamiglio, A., Farkas, K., Maturi, L. y Zanetti, I. (2013). *Solar Energy System in Architecture. Integration criteria and guidelines*.
- NREL. (2017). *What is SAM?* Disponible en <https://sam.nrel.gov/>
- Öhrlund, I., Stikvoort, B., Schultzberg, M. y Bartusch, C. (2020). Rising with the sun? Encouraging solar electricity self-consumption among apartment owners in Sweden. *Energy Research y Social Science*, 64, 101424. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101424>

- Papparelli, A., Kurbán, A. y Cúnsulo, M. (2009). *Planificación sustentable del espacio urbano*. Buenos Aires: Ed. NOBUKO
- Pilar, C. A. (2017). Casos de integración arquitectónica de sistemas fotovoltaicos. Un abordaje matricial desde las formas, los usos y los significados. *Revista Arquisur*, 7(11), 82–93.
- Pilar, C. A. (2018). El sol como inspiración del diseño biométrico. *Revista Arquitecto*, 11, 77–86.
- Raichijk, C., Grossi Gallegos, H., Aristegui, R. y Righini, R. (2009). Sobre el recurso solar en la provincia de San Juan. *III Congreso Nacional - II Congreso Iberoamericano Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía*, 01–05. https://www.researchgate.net/publication/279783574_SOBRE_EL_RECURSO_SOLAR_EN_LA_PROVINCIA_DE_SAN_JUAN
- Roitman, M. S., Mestrallet, A., Aramburu, M. D. y Rossi, R. (2015). Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar de la Ciudad de Córdoba. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2(2), 37-43.
- Taz, K. (2017). *5 Ways to Design Solar Architecture Beautifully. Not as an Ugly Afterthought*. <https://redshift.autodesk.com/solar-architecture/>
- Wei, W. y Skye, H. M. (2021). Residential net-zero energy buildings: Review and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110859>
- World Energy Council. (2022). *World Energy Council Country Commentaries Argentina*. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues_Monitor_2022_Argentina_commentary.pdf
- Yang, Y., Elia, P., Stridh, B. y Yan, J. (2020). Potential analysis of roof-mounted solar photovoltaics in Sweden. *Applied Energy*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115786>