

ESTABLECIMIENTOS ESCOLARES: POTENCIALES CENTROS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE. CASOS DE ESTUDIO EN CIUDAD DE SAN JUAN, ARGENTINA.

SCHOOL ESTABLISHMENTS: POTENTIAL RENEWABLE ENERGY GENERATION CENTERS. STUDY CASES IN THE CITY OF SAN JUAN, ARGENTINA.

Alción de las Pléyades Alonso Frank

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9227-3449>

E-mail: alcion88@hotmail.com

María Guillermina Ré

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3109-7138>

E-mail: guillerminare@gmail.com

Resumen

La actual preocupación ambiental circunscripta a los elevados niveles de emisiones de gases de efecto invernadero que inciden en el cambio climático, demandan la transición energética. En este marco, la energía solar fotovoltaica genera grandes expectativas por concebirse como una forma de consumo sostenible. Siendo el Estado el encargado de ejecutar innumerables edificios públicos que, como tales, deben concebirse como ejemplos manifiestos, es que la introducción de dichas energías en los mismos conllevará beneficios socio-ambientales, económicos, técnicos y educativos. Dentro del sector oficial, los edificios escolares pueden convertir en modelos para las actuales y futuras generaciones, en relación a la problemática planteada. Es por lo expuesto que el presente trabajo tiene por objeto cuantificar la cantidad de energía que puede ser generada en un conjunto de edificios escolares emplazados en la Ciudad de San Juan, producto de la aplicación de la tecnología solar fotovoltaica. Para determinar el potencial de generación, se analizan las características morfológicas arquitectónicas y urbanas de los casos de estudio y se emplea el Calculador Solar elaborado por la Secretaría de Energía de la Nación. Se concluye que los edificios escolares pueden constituirse como potenciales centros de generación de energía limpia de su entorno urbano.

Palabras clave: energía solar fotovoltaica, generación distribuida, balance neto energético.

Fecha recepción: 26 de agosto de 2021

Abstract

The current environmental concerns, which are limited to the high levels of greenhouse gas emissions that contribute to climate change, call for an energy transition. In this context, photovoltaic solar energy generates great expectations because it is conceived as a form of sustainable consumption. As the state is responsible for the construction of countless public buildings, which, as such, should be seen as a clear example, the introduction of these energies in public buildings will bring socio-environmental, economic, technical and educational benefits. Within the official sector, school buildings are pronounced for their social role in raising the awareness of present and future generations on the subject. Therefore, the present work aims to quantify the amount of energy that can be generated in a group of school buildings located in the city of San Juan, as a result of the application of solar photovoltaic technology. In order to determine the generation potential, the architectural and urban morphological characteristics of the case studies are analyzed and the Solar Calculator developed by the National Energy Secretariat is used. It is concluded that school buildings can be potential centers of clean energy generation in their urban environment.

Keywords: photovoltaic solar energy, distributed generation, net energy balance.

Fecha aceptación: 29 de abril de 2022

Introducción

El acelerado crecimiento urbano y poblacional asociado al uso irracional de los recursos naturales y energéticos finitos incide en el cambio climático (Arias, 2020). Específicamente, el sector energético genera elevados niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producto de los mencionados aumentos de los consumos, los cuales tuvieron un alza del 2,3% en 2018, constituyéndose en el mayor aumento desde el año 2010 (IEA, 2019). Ello establece la necesidad de un cambio de paradigma donde la planificación urbano-energética deba promover la generación fotovoltaica distribuida conectada a la red de baja tensión, considerando el máximo aprovechamiento de la radiación solar (Alexandre, 2020; Figueira *et al.*, 2019; Eyras *et al.*, 2016). En este aspecto, la Agencia Internacional de Energía Renovable recomienda emplear las envolventes de las edificaciones existentes para el emplazamiento de sistemas de captación de energía, a modo de complemento de las medidas de eficiencia energética enunciadas por numerosos países del globo (IRENA, 2016). De esta manera, se produce un verdadero aporte en la mitigación del impacto del ser humano sobre el medio ambiente (Palpa Bueno, 2019).

En el ámbito científico internacional, diversas investigaciones consideran la rehabilitación de edificios escolares a partir de estrategias pasivas e incorporación de energías renovables (Katsaprakakisa, y Zidianakisa, 2017; Berardi *et al.*, 2017, Martín Consuegra *et al.*, 2014; Dimoudi y Kostarela, 2009). En Grecia, Kolokotsa *et al.* (2019) presentan propuestas de diseño e incorporación de tecnología para optimizar el rendimiento energético de una escuela albergue. Esto permite alcanzar una reducción de la demanda de energía en casi un 68% y una mejora significativa del confort térmico interior. Otro estudio realizado en Kuwait analiza el potencial de intervención en escuelas a partir de considerar los altos niveles de irradiación diaria que presenta el lugar (Al Otaibi *et al.*, 2015). Los autores manifiestan que los tejados de los edificios escolares son un activo único e importante para la implementación de sistemas fotovoltaicos urbanos porque proporcionan una combinación de áreas adecuadas, relativamente grandes y no utilizadas, que hacen posible la generación de energía solar distribuida y efectiva.

A nivel nacional, un valioso antecedente lo efectúa el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía “PRONUREE” (Decreto PE N° 140/2007 del 21 de diciembre de 2007) el cual pone en valor la importancia de implementar en el corto plazo medidas de educación, energías renovables, cogeneración y eficiencia energética en edificios públicos. Dentro de estos últimos, los edificios escolares han tenido escaso desarrollo en la materia, lo cual es preocupante, más aún cuando su arquitectura debiera ser ejemplar en el comportamiento energético, por resultar el ámbito consistente y sostenible de formación ciudadana (Angiolini, 2020; Vera Barrios, 2017). Al respecto, las escuelas brindan de la manera más eficaz, la oportunidad de promover la eficiencia energética de los edificios para las generaciones del mañana (Katafygiotou y Serghides, 2014).

En correspondencia con lo arriba enunciado, dichos edificios tienen un diseño y funcionamiento específico que responde a un orden tipológico que se caracteriza por grandes superficies cubiertas, un uso discontinuo (diario, semanal y estacional) y una alta densidad de ocupación del espacio áulico (Re *et al.*, 2021; San Juan, 2014). Particularmente, en el Área Metropolitana de San Juan destacan, por su representatividad, dos prototipos arquitectónicos correspondientes al Plan Quinquenal [PQ] y al Programa Nacional 700 Escuelas [PN700E] (Re *et al.*, 2018). Estos establecimientos pertenecientes a diferentes períodos históricos, demandan ser estudiados respecto a sus posibilidades de aplicación de la tecnología solar fotovoltaica. Se entiende esto último como un instrumento de rehabilitación de edificios escolares hacia niveles de consumo casi nulo.

En este marco, se destaca que la Provincia de San Juan posee altos niveles de heliofanía y radiación solar global, acompañados de bajos valores de nubosidad, lo cual representa un potencial para la generación eléctrica fotovoltaica. Específicamente, desde el año 2011 a la fecha cuenta con 22 proyectos aprobados de parques solares emplazados en distintas zonas de la provincia, conforme se indica en Tabla 1, cuya potencia en operación es de 194,7 MW, alcanzando un total de 544,7 MW adjudicados vigentes (EPSE, 2021). Los mismos han sido posibles producto de tres Programas impulsados por la Secretaría de Energía de la Nación, en el marco de la Ley Nacional

N° 27.191 (2015), que es modificatoria de la Ley N° 26.190 (2006). A modo de resumen, los Programas MATER están basados en un sistema de Contratos de Mercado a término de energías renovables entre privados, sin vender su energía a CAMMESA; los Programas RenovAR (Ronda 1, 1.5, 2 y 3) impulsan el desarrollo de la generación renovable, particularmente a partir de proyectos eólicos y solares fotovoltaicos de gran escala; y, los Programas GENREN, tienen el propósito de generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables en general.

<i>Valle de Iglesia</i>				
<i>Denominación</i>	<i>Potencia</i>	<i>Adjudicado</i>	<i>Estado</i>	<i>Empresa</i>
Guañizul I	80 MW	RenovAR 1.5	Operación	Jinko Solar SA
Guañizul II	100 MW	RenovAR 2	Proyecto construcción en	STATEC Solar SA
<i>Valle de Calingasta</i>				
<i>Denominación</i>	<i>Potencia</i>	<i>Adjudicado</i>	<i>Estado</i>	<i>Empresa</i>
Tocota	72 MW	RenovAR 2	Proyecto Adjudicado	EPSE – 360 ENERGY
Tocota Solar I	50 MW	MATER 03/18	Proyecto Adjudicado	EPSE – ISLA POWER
Tamberías	3 MW	MATER 03/18	Proyecto Pre-Habilitado	LATINOAM. DE ENERGÍA
Casposo	7 MW	MATER 06/18	Proyecto construcción en	AUSTRAL GOLD
Tocota Solar I A y I B	10 MW	MATER 06/18	Proyecto Adjudicado	EPSE – ISLA POWER
<i>Valle del Tulum</i>				
<i>Denominación</i>	<i>Potencia</i>	<i>Adjudicado</i>	<i>Estado</i>	<i>Empresa</i>
San Juan I	1,7 MW	Provincia	Operación	EPSE
Cañada Honda I y II	5 MW	GENREN	Operación	360 ENERGY
La Chimbera I	2 MW	GENREN	Operación	360 ENERGY
Ullúm (I, II, III y IV)	94.5 MW	RenovAR 1.5	Operación	EPSE - GENNEIA
Solargen 2	6,5 MW	RenovAR 1.5	Operación	EPSE - SIDERSA

Las Lomitas	2 MW	RenovAR 1.5	Operación	LATINOAM. DE ENERGÍA
Ullum X	100 MW	RenovAR 2	Proyecto Adjudicado	EPSE - LAT. DE ENERGÍA
Diaguitas	2 MW	MATER 03/18	Proyecto en construcción	LATINOAM. DE ENERGÍA
Anchipurac	3 MW	MATER 06/18	Operación	EPSE
El Algarrobo	5,5 MW	Mini RenovAR 3	Proyecto Adjudicado	SOLARGEN ENERGY SAS

Tabla 1: Situación de la energía solar en la Provincia de San Juan. **Fuente:** Energía Provincial Sociedad del Estado, 2020.

Como complemento a los Programas descritos, el ente EPSE - Energía Provincial Sociedad del Estado - avanza en la construcción de una fábrica de paneles solares con el fin de producir los mismos a nivel local, de manera que resulten en un insumo para el desarrollo de los mencionados parques fotovoltaicos, así como para su comercialización.

En este contexto local favorable en torno a la energía solar fotovoltaica, el objetivo del presente trabajo es determinar el potencial de generación de establecimientos escolares, visibilizando el impacto en el consumo actual del sector. Para su alcance se procede al diseño de la aplicación de dicha tecnología en un conjunto de edificios emplazados en el Ciudad de San Juan, acorde a sus características morfológicas, arquitectónicas y urbanas. Los resultados permiten conocer la cantidad de energía autoconsumida, la energía inyectada a la red de distribución y la energía consumida de la misma.

1. Metodología

La metodología empleada se basa en un estudio de casos en el cual se procede a diseñar una propuesta de generación energética a partir de la utilización de paneles fotovoltaicos. Las unidades de observación son 17 edificios escolares con similitudes en su tecnología constructiva y/o resolución morfológica y funcional.

Para el diseño de la instalación, se procede a analizar cada caso en particular, en relación a las características morfológicas de cubiertas de techo, su materialidad y pendiente, así como la presencia de elementos del entorno que pudieran generar sombras sobre los mismos. Una vez definida la superficie disponible, se selecciona el panel solar fotovoltaico a emplear y se realiza la propuesta de disposición de los mismos. Como resultado se tiene conocimiento de la cantidad de paneles de cada establecimiento.

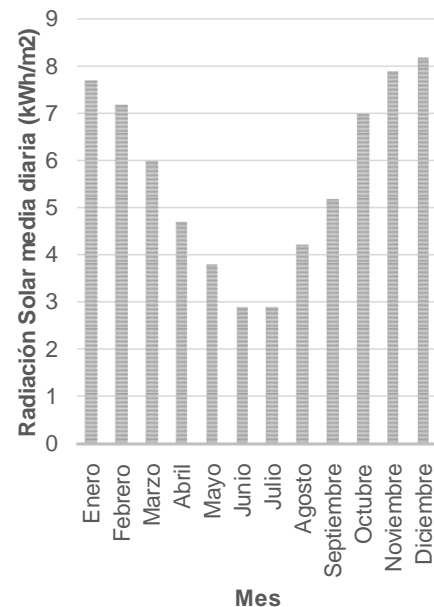
Consecuentemente, se procede a realizar el cálculo de generación fotovoltaica con conexión a red, el cual requiere de un estudio de producción de energía para un período anual, con el objeto de conocer su desempeño (Iza Quishpe, 2020). En esta oportunidad, el mismo se efectúa con la aplicación “Calculador Solar” elaborada por la Secretaría de Energía de la Nación, la cual brinda valores orientativos, permitiendo un predimensionado. Ésta integra el consumo real mensual de energía de los edificios analizados, para el período de un año, la potencia y la cantidad de paneles solar fotovoltaicos, así como la orientación e inclinación de los mismos. Una vez finalizada la

simulación, la herramienta suministra un resumen de los resultados, junto a tablas y gráficas del comportamiento de la instalación (Secretaría de Energía, 2021). Al respecto, es importante destacar que el consumo real de los edificios escolares se obtiene a partir de las boletas de servicio de energía eléctrica y de gas natural. La identificación de usos para el balance energético se lleva a cabo a partir de auditorías energéticas en cada uno de los edificios escolares con el relevamiento de las instalaciones, los artefactos de cada fuente energética y sus potencias. En complemento, se registran durante el período de un año, las horas de uso de los equipos y se realiza la lectura de medidores (Re, 2020). En base a esta información se calculan los consumos mensuales y anuales utilizando los datos disponibles del Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS, 2020) y del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE, 2020). Para posibilitar el estudio comparativo entre gas y electricidad, los datos de gas natural, expresados en m³ en las boletas de servicio, se convirtieron a kWh. Se utiliza para ellos un factor de conversión de 9,767 kWh/m³, que surge de considerar el Poder Calorífico Inferior del gas natural (8400 kcal/m³) y una equivalencia de 1 kW a 859,8 kcal/h (Jahnke, 2009).

2. Localización y radiación solar

La ciudad de San Juan se ubica a 31°32'13" latitud sur y 68°31'30" longitud oeste y posee una altura de 640 msnm. Pertenece a la zona bioambiental III-a, templada cálida, según la clasificación de la Norma IRAM 11603 (2012) para la República Argentina. La radiación solar global diaria incidente sobre plano horizontal, presenta un promedio de 7,33 kWh/m²/día para los meses cálidos (de octubre a marzo), y valores de 3,95 kWh/m²/día para los fríos (de abril a septiembre). La heliofanía efectiva, o cantidad de horas de sol, oscilan entre 5 y 9 horas diarias según el período del año (Grossi Gallegos y Righini, 2007). En Tabla 2 se detallan los datos de irradiación solar global y heliofanía obtenidos del Atlas de Energía Solar de la República Argentina. En correspondencia, la Figura 1 muestra que la ciudad de San Juan presenta excelentes posibilidades para el aprovechamiento de esta energía para transformación solar fotovoltaica y solar-térmica (Raichijk *et al.*, 2009), por cuanto los proyectos de aplicación e integración de dichas tecnologías en el sector edilicio resultan técnicamente viables.

Mes	Irradiación Solar Global Diaria [kWh/m ²]	Heliofanía Efectiva [horas]
Enero	7,0	9
Febrero	6,5	9
Marzo	5,5	7
Abril	4,5	7
Mayo	3,5	6
Junio	2,5	5
Julio	3,0	6
Agosto	4,0	7
Septiembre	5,0	7



Octubre	7,0	8
Noviembre	7,0	9
Diciembre	7,5	9

Tabla 2: Irradiación solar global sobre plano horizontal y heliofanía. **Fuente:** Elaboración propia en base a datos del Atlas de Energía Solar de la República Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007).

Figura 1: Radiación solar media diaria para la ciudad de San Juan. **Fuente:** Raichijk, C., Grossi Gallegos, H., Aristegui, R., Righini, R. (2009).

3. Casos de estudio

La construcción de infraestructura escolar de gestión pública responde históricamente a planes y programas impulsados por los gobiernos nacionales con llegada a las provincias. A raíz de ello, se tiende a emplear prototipos para dar respuesta a las demandas de nuevos edificios. En el caso local, los mayores índices de construcción de escuelas se registran en la época de la reconstrucción post-terremoto de 1944, en el marco del Plan Quinquenal [PQ], y a principios del siglo XXI con el Programa Nacional 700 Escuelas [PN700E].

Los prototipos correspondientes al PQ son producto de un diseño elaborado a nivel nacional. Presentan la misma organización funcional y resolución morfológica, donde únicamente se diferencian entre sí por la cantidad de crujías laterales, que varían entre 2 y 3 (ver Figura 2). Las envolventes están resueltas con mampostería portante de ladrillón con traba, que alcanza un espesor de 34 centímetros. El techo es inclinado a dos aguas, con estructura de madera y cubierta de tejas, posee un cielorraso suspendido que genera un ático inaccesible. Las ventanas y puertas originales son de madera con vidrios repartidos, pero en algunos edificios éstas han sido reemplazadas por carpinterías metálicas.



Figura 2: Ejemplos de Tipología Plan Quinquenal en Ciudad de San Juan, Argentina. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

A diferencia de la tipología anteriormente descrita, los establecimientos del PN700E responden a un mismo programa de necesidades y tecnología constructiva, pero los proyectos arquitectónicos difieren entre sí (ver Figura 3). La envolvente vertical se materializa con mampostería portante de ladrillón de 30 centímetros de espesor, con terminación exterior de revoque fino o grueso planchado. Dentro de un mismo edificio se reconocen distintos cerramientos horizontales superiores de acuerdo sean los sectores donde se ubican. Particularmente, en el caso de las aulas se utilizan losas planas, inclinadas o curvas, que permiten el ingreso solar lateral a través de ventanas elevadas. Los salones de usos múltiples (SUM) se resuelven con techos de estructura metálica con cubierta de chapa, el sector de administración y servicios con losas planas. La carpintería es metálica con vidrio simple, en todos los casos.



Figura 3: Ejemplos de Tipología del Programa Nacional 700 Escuelas en Ciudad de San Juan, Argentina. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

Como se indica precedentemente, se analizan 17 edificios escolares, 6 de ellos corresponden al PN700E y 11 al PQ. Dichos edificios poseen una superficie cubierta total de 12.180 m² y 17.417 m² respectivamente, destacándose su carácter másico y perímetro libre (ver Tabla 3 y Figura 4).

<i>PLAN QUINQUENAL</i>				<i>PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS</i>	
Código	<i>Establecimiento escolar</i>	Código	<i>Establecimiento escolar</i>	Código	<i>Establecimiento escolar</i>
EML	Escuela Manuel Láñez 	ECC	Escuela Comandante Cabot 	ETOA	Escuela Técnica Obrero Argentino 
EPBA	Escuela Provincia de Buenos Aires 	ETFI	Escuela Teniente 1° Francisco Ibáñez 	EPET 5	Escuela Provincial Educación Técnica N°5 
ETPF	Escuela Teniente Pedro Nolasco Fonseca 	ESMC	Escuela Salvador María del Carril 	CPR	Colegio Provincial de Rivadavia 
CCUMM	Colegio Central Universitario 	EPLR	Escuela Provincia de la Rioja 	EEMMCH	Escuela Provincial Múltiple Martina Champanay 
EPSF	Escuela Provincia de Santa Fe 	EJL	Escuela Julia León 	CSJLB	Colegio Secundario Jorge Luis Borges 
EMA	Escuela Miguel de Azcuénaga	-	-	CS1R	Colegio Superior N°1 Rawson

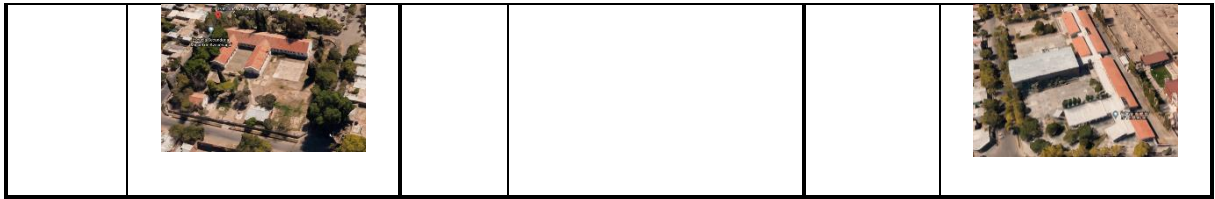


Tabla 3: Casos de estudio en Ciudad de San Juan, Argentina. **Fuente:** Elaboración propia, 2021. Imágenes aéreas de Google Earth Pro, 2021.

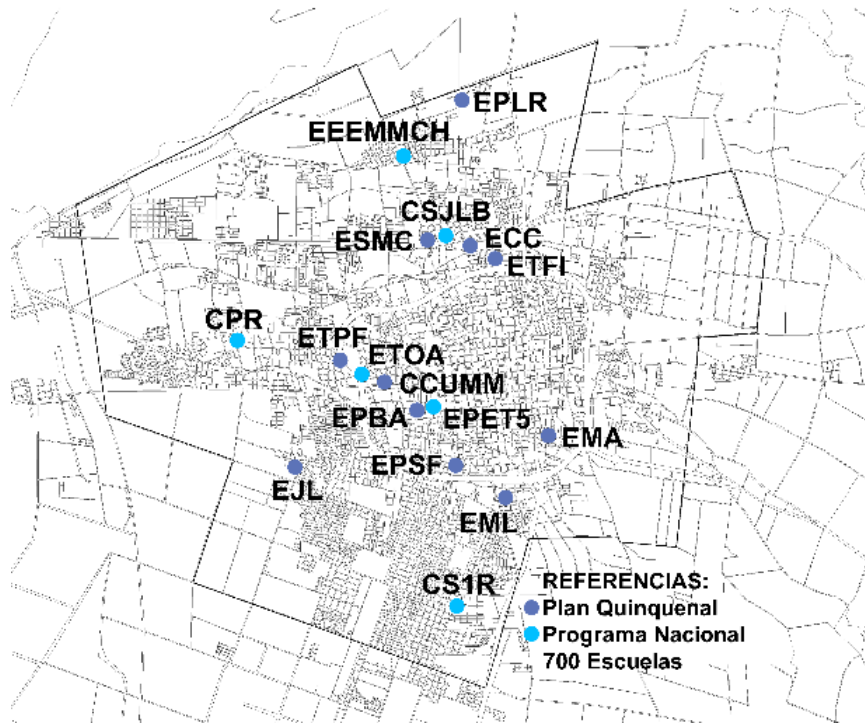


Figura 4: Emplazamiento de los casos estudio en Ciudad de San Juan, Argentina. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

El análisis de los consumos anuales de energía en base a registros de boletas de servicios y auditorías energéticas, permite determinar la incidencia por fuente energética (Re *et al.*, 2018). En la Figura 5 se observa el balance energético de gas natural y electricidad, diferenciando las dos tipologías en estudio. En los edificios de la tipología PN700E, la energía eléctrica alcanza una representatividad del 55%, de los cuales el 52% corresponden a iluminación y equipos electrónicos como heladeras, freezer, computadoras e impresoras. Para los edificios del PQ, el porcentaje de uso de la electricidad alcanza un 48% mientras que el de gas asciende a 52%.



Figura 5: Consumo energético total de los casos de estudio. **Fuente:** Elaboración propia en base a registros Energía San Juan y Ecogas.

Dado el objetivo del presente trabajo, se detallan a continuación los consumos de energía eléctrica por edificio, diferenciando las dos tipologías analizadas (Figura 6). Se distingue, para cada agrupamiento, los rangos de consumo de electricidad. Para los casos del PN700E, los valores van desde 42729 kWh/año hasta 92004 kWh/año. En cambio, las escuelas del PQ presentan consumos menores, con un rango definido entre 16946 kWh/año y 66222 kWh/año.

Dentro de la tipología del PN700E, el Colegio Superior N°1 de Rawson (CS1R) registra los mayores consumos eléctricos, que ascienden a 92004 kWh/año. Lo siguen la Escuela Provincial de Educación Técnica (EPET N°5) y la Escuela Técnica Obrero Argentino (ETOA), con valores de 78390 kWh/año y 75029 kWh/año, respectivamente. Respecto a las escuelas del PQ, el mayor consumo de electricidad corresponde al Colegio Central Universitario (CCUMM) con 66222 kWh/año, seguido de la Escuela Manuel Láinez (EML) con 63135 kWh/año.

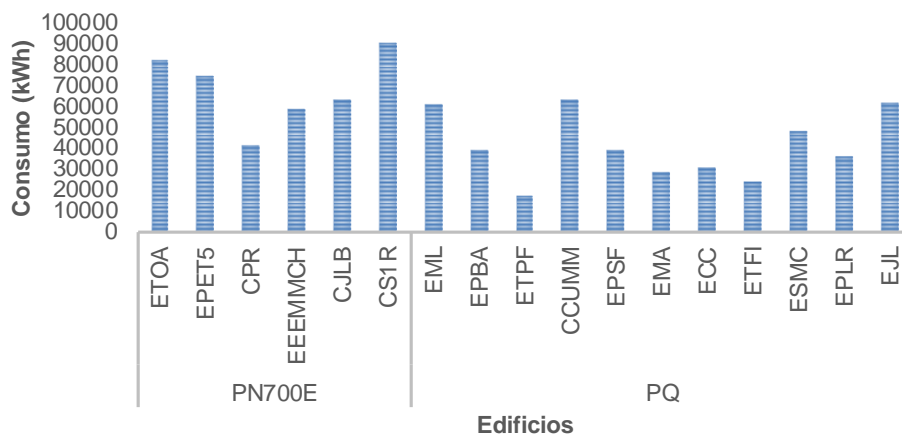
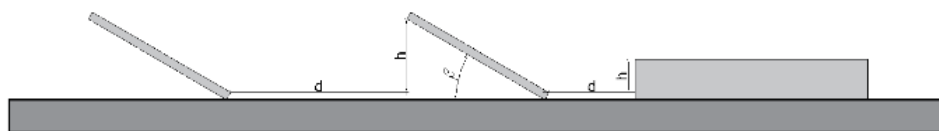


Figura 6: Consumo anual de energía eléctrica de los casos de estudio. **Fuente:** Elaboración propia en base a registros Energía San Juan.

4. Diseño del sistema generador fotovoltaico

Para el diseño de la instalación se persigue optimizar la captación de la radiación solar a efectos de alcanzar la máxima producción anual de energía (Giuliano y Garzón, 2019). Para ello se analiza el direccionamiento óptimo en base a considerar el ángulo que se forma respecto de la horizontal (β). La inclinación de los paneles solares fotovoltaicos, se corresponde con la latitud geográfica, que para el caso de San Juan es de 31° . Como se puede observar en Figura 7, la distancia entre el panel solar fotovoltaico y el obstáculo, así como entre paneles, se toma de manera perpendicular a éstos. Para un adecuado funcionamiento del sistema, es fundamental que la distancia sea igual o superior a la relación entre la altura del obstáculo y/o panel y la tangente del valor de la altura solar. Si resulta inferior a dicho valor, el panel se encontrará sombreado en ciertos horarios del día, evitando el paso de la radiación directa sobre el mismo. De prolongarse dicha situación en el tiempo, las celdas sombreadas pueden sobrecalentarse y destruirse.



Donde:

d = Distancia entre panel solar y obstáculo

h = Altura proyectada por el colector

α_c = Valor de la altura solar

$$d = \frac{h}{\tan(\alpha_c)} \quad (1)$$

$$\alpha_c = 90 - \text{Latitud} - 23,5 - 7 \quad (2)$$

Figura 7: Determinación de la separación entre paneles. **Fuente:** Elaboración propia en base a Secretaría de Energía, 2019.

Determinada la separación entre paneles, se procede al dimensionamiento del sistema. Para ello, se selecciona el panel solar fotovoltaico, considerando aquellos disponibles en el mercado nacional que se adecúen a la morfología arquitectónica. En los edificios en estudio, los mismos son del tipo monocristalino de $2008 \times 1005 \times 40\text{mm}$, con potencia nominal de 395 Wp (Modelo SOL-72M-395). Poseen vidrio templado, marco de aleación de aluminio anodizado, una estructura celular de alto rendimiento en entornos con poca luz e irradiación, tolerancia de potencia positiva $0 \sim + 3\%$, inspección doble EL 100% que garantiza que los módulos estén libres de defectos, 12 años de garantía de rendimiento al 90% y 30 años de garantía de rendimiento al 80%, además de estar certificados por TÜV, CE, UL. Así mismo, según norma de fabricación, son de fácil montaje, por lo cual se propone un despliegue conforme se observa en Figura 8. Dicha disposición se fundamenta en la cantidad de espacio libre disponible, sin elementos que obstruyan el paso de radiación directa sobre el sistema, permitiendo su efectivo desarrollo (Montañez *et al.*, 2018).

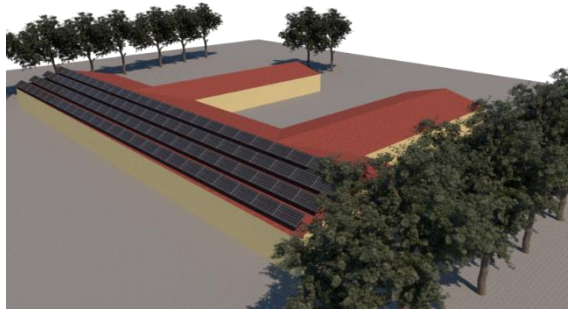
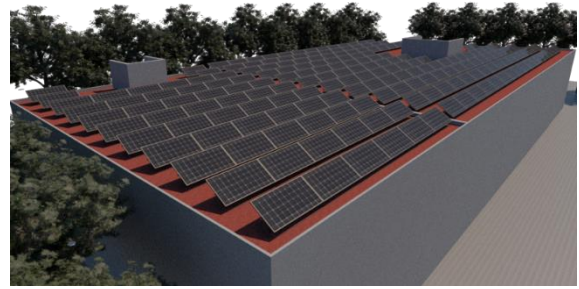
*PLAN QUINQUENAL**PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS*

Figura 8: Propuesta de diseño de aplicación de tecnología solar fotovoltaica en los casos de estudio, por tipología arquitectónica. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

Durante el proceso de diseño se sortean restricciones por orientaciones, límites espaciales y aspectos morfológicos preexistentes. Como resultado, se colocan en las cubiertas un promedio de 300 paneles por establecimiento, siendo el mínimo de 66 y el máximo de 885.

5. Cálculo de la generación de energía

Con el “Calculador Solar” se obtienen los valores que se podrían llegar a alcanzar con la generación energética a partir de la instalación de paneles fotovoltaicos. La Figura 9 exhibe la cantidad de energía generada anualmente, en comparación con los consumos propios de los edificios. De los resultados obtenidos se acentúa que la energía solar asciende a 2.700.772 kWh/año para el conjunto de edificios en estudio, siendo equivalente al 314% del consumo de energía eléctrica actual.

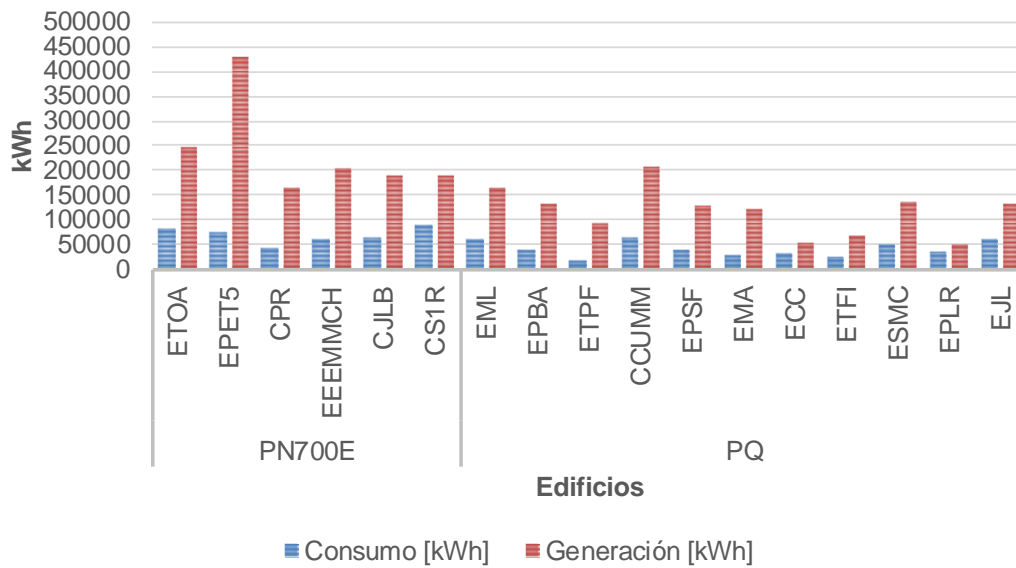


Figura 9: Generación de los paneles y consumos de red – Edificios en estudio. **Fuente:** Elaboración propia en base a Secretaría de Energía, 2021.

Por último, previendo que los mismos puedan, en el marco de la Ley Nacional N°27.424 “Régimen de Fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública” (2017), constituirse en usuarios-generadores, se determina la cantidad de energía que será autoconsumida, inyectada y consumida de la red de distribución. Partiendo de que la mayor cantidad de energía se genera en horarios de ocupación de los edificios y que al mismo tiempo se tiene un potencial de generación superior al consumo, se estima que el autoconsumo puede alcanzar el 50%, tal como se observa en Figura 10.

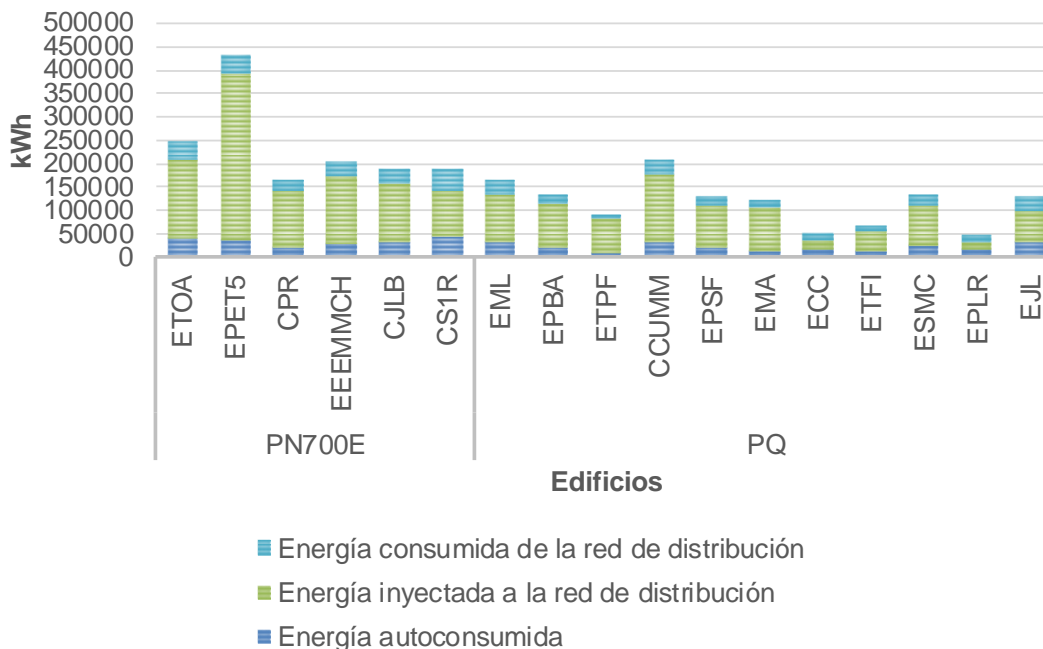


Figura 10: Energía autoconsumida, inyectada y consumida de la red de distribución – Edificios en estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

De Figuras 9 y 10 se observa que los edificios escolares en estudio tienen, en sus cubiertas, un potencial de generación solar fotovoltaica que, además de convertirlos en edificios de energía casi nula, los posiciona como potenciales centros de generación renovable. Esto permite cambiar el paradigma energético respecto de la forma de concebir la energía de aquellos entornos donde la sustentabilidad ambiental se encuentra más comprometida (Pilar *et al.*, 2019).

6. Generación de energía solar fotovoltaica como aporte al desarrollo sostenible

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) promueve, desde el año 2015, la Agenda 2030 compuesta por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) basados en el combate al cambio climático y la defensa del medio ambiente (ODS 13), las ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11), la educación de calidad (OSD 4) y la energía asequible, segura, sustentable (ODS 7), entre otros. Puesto que existe una tendencia generalizada a nivel global de un nulo tratamiento que el urbanismo le da a la energía, es que surge el modelo de ciudad tecnosolar, el cual trata al problema energético en sí mismo (García, 2011; Páez, 2010). Éste tiene por objeto reducir el consumo energético, proteger y mejorar la calidad de los espacios urbanos, mitigar el cambio climático, alcanzar mayores niveles de equidad social y mejorar la calidad de vida de sus habitantes (García Sánchez, 2018). En esta línea, el éxito del despliegue de sistemas fotovoltaicos en entornos urbanos está en función del nivel de exposición local a la luz solar, la cual presenta importantes variaciones en el paisaje urbano (Redweik *et al.*, 2013). Es por lo expuesto que Arizaga *et al.* (2018) define que para la localización de un proyecto de generación distribuida fotovoltaica en una ciudad intermedia se sugieren:

- Zonas de mayor densidad que presenten cualidades morfológicas adecuadas para su implementación;
- Manzanas más compactas;
- Orientación solar de las edificaciones;
- Existencia de alturas homogéneas, puesto que implican menos sombras sobre las techumbres;
- Construcciones con grandes superficies de cubierta que favorezcan la instalación de soluciones fotovoltaicas;
- Estructuras resistentes: A nivel constructivo, la materialidad de la construcción es fundamental para la instalación de paneles solares pues inciden en la resistencia y facilidad de instalación, así como en la posibilidad de su mantenimiento.

En este sentido se destaca que en los casos de estudio se puede aprovechar un promedio del 39% de la superficie útil producto de poseer orientación desfavorable, presencia de sombras del entorno y materialidades que no permiten la disposición de las estructuras solares fotovoltaicas. Puntualmente, el PN700E posee una superficie útil promedio del 51%, mientras que el PQ una del 32%, producto de sus cubiertas inclinadas que, en la mayoría de los casos de estudio, no se encuentran orientadas al norte solar. La Figura 11 expone los resultados por edificio.

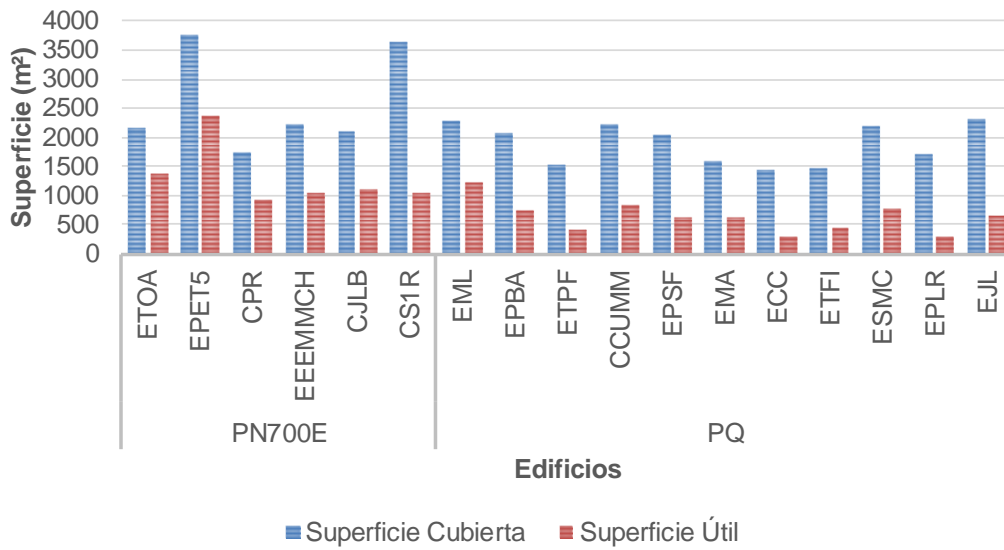


Figura 11: Superficie útil para generación solar fotovoltaica en relación a la superficie cubierta – Edificios en estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

En correspondencia, resulta que el potencial de generación solar fotovoltaica promedio en los casos de estudio es de 71 kWh/m² de superficie cubierta ($\pm 25,43$) y de 186 kWh/m² de superficie útil ($\pm 26,95$), acorde a lo indicado en Figura 12. En lo particular, resulta que el PN700E tiene un potencial de generación por unidad de superficie cubierta superior al PQ. Ello, en términos numéricos, resulta de 93 kWh/m² (± 23) para el primero y de 60 kWh/m² (± 18) para el segundo. En este sentido, se destacan los establecimientos ETOA y EPET 5 del PN700E y el CCUMM del PQ, por su capacidad de generación en términos absolutos.

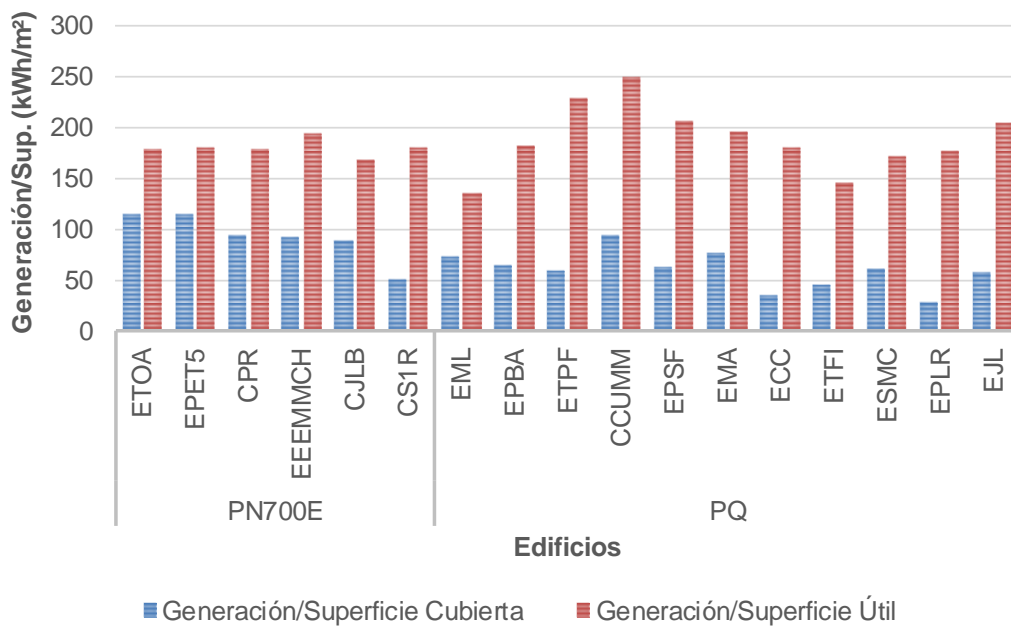


Figura 12: Generación solar fotovoltaica por unidad de superficie cubierta y superficie útil – Edificios en estudio. **Fuente:** Elaboración propia, 2021.

En contraposición, el PN700E tiene un potencial de generación por unidad de superficie útil levemente inferior al PQ, esto es, de 180 kWh/m² (± 8) para el primero y de 189 kWh/m² (± 33).

Conclusiones

La Ciudad de San Juan se destaca por su capacidad para producir energía eléctrica empleando la radiación del sol. En correspondencia, la introducción de centros de generación de energía solar fotovoltaica en áreas urbanas, aprovechando las envolventes edilicias, resulta en un aporte a las medidas nacionales de eficiencia energética. Específicamente, los edificios escolares se conciben como elementos tipológicos que deben concientizar a la población en materia energética, contribuyendo en los esfuerzos por alcanzar los ODS elaborados por la ONU.

En este aspecto, el conjunto de edificios en estudio, tiene la particularidad de contar con extensas superficies de cubiertas. No obstante, por motivos de sombras, materialidad y sistema estructural existente, para el emplazamiento de la tecnología solar fotovoltaica se cuenta con una superficie útil del 51% en el caso del PN700E y del 32% en el PQ. Empero, los proyectos definidos resultan técnicamente viables, alcanzando un promedio de generación por unidad de superficie útil de 186 kWh/m² ($\pm 26,95$) acorde al cálculo efectuado por el Calculador Solar elaborado por la Secretaría de Energía de la Nación. Los resultados exponen que, a pesar de ello, se genera el equivalente al 314% del actual consumo de energía eléctrica, constituyéndose en edificios de energía casi nula cuyo excedente es inyectado a la red de distribución. Se concluye que los edificios escolares pueden constituirse en potenciales centros de generación energía renovable de los entornos urbanos en estas latitudes, a la vez de que se hace un llamamiento a los proyectistas de arquitectura escolar para incorporar estos parámetros en los procesos de diseño.

Referencias

- Alexandre, M. J. T. P. (2020). *Integração de sistemas solares na reabilitação de um edifício escolar para atingir os nZEB* (Doctoral dissertation).
- Al Otaibi, A.; Al Qattan, A.; Fairouz, F. & Al Mulla, A. (2015). Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools' rooftop. *Energy Conversion and Management*, 95, p. 110-119
- Angiolini, J. (2020). *Análisis y propuesta técnica energética para la tipología de escuela pública del Plan Nuevas Escuelas del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Arias, J. J. P. (2020). Sostenibilidad urbana en el contexto latinoamericano y en el europeo. *Cuadernos de investigación urbanística*, (131), 1-128.
- Arizaga, X., Gómez, T., Moris, R. y Carraha, J. (2018). Definición de un framework para la implementación de proyectos de generación distribuida fotovoltaica en ciudades intermedias. Caso de estudio: corredor solar de la Cuenca del Salado. *III Congreso Interdisciplinario de Investigación en Arquitectura, Diseño, Ciudad y Territorio, Santiago. Edition: Ediciones ARQ*,
- Berardi, U.; Manca, M.; Casaldaliga, P.; Pich Aguilera, F. (2017). From high-energy demands to nZEB: the retrofit of a school in Catalonia, Spain. *Science Direct, Energy Procedia*, v.140, p. 141-150.
- Dimoudi, A. y Kostarela, P. (2009). Energy monitoring and conservation potential in school buildings in the C'

climatic zone of Greece. *Renewable Energy*, v.34, p. 289–296.

ENARGAS (2020). Ente Nacional Regulador del Gas. Ministerio de Desarrollo Productivo. Disponible en: <https://www.enargas.gov.ar/secciones/eficiencia-energetica/consumo-artefactos.php>. Acceso: 3/8/2020

ENRE (2020). Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Ministerio de Desarrollo Productivo. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/enre/uso-eficiente-y-seguro/consumo-basico-electrodomesticos>. Acceso: 3/8/2020

EPSE (2021). Proyectos fotovoltaicos San Juan. Recuperado el 29/07/2021 de: <https://www.epse.com.ar/web/proyecto/proyectos-fotovoltaicos-en-san-juan/27>

Eyras, I., Durán, J. C., Parisi, F., Eyras, R., & Álvarez, M. (2016). Proyecto IRESUD: Primeros ejemplos de Energía Solar Fotovoltaica Integrada a la Arquitectura (BIPV) en el país. En *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES) (La Plata, 2016)*.

Figueira, A., Maggi, A., Miguel, S., Fernández, E., Grosso, D., & Santamaria, L. (2019). Metodología para determinar el potencial de generación de energías renovables de base solar a escala urbana. Caso de estudio: Barrio de Flores–CABA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 23, 1-10.

García, A. P. (2011). Energía y Ciudad: Un Enfoque Postambiental. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, (XVI), 927.

García Sánchez, D. (2018). *Planeación y diseño urbano en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí: Hacia la construcción de una agenda para la ciudad sostenible*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (Tesis de Licenciatura en Diseño Urbano y del Paisaje).

Giuliano, G., y Garzón, B. (2019). Integración arquitectónica de sistema fotovoltaico en escuela estatal rural de Santiago del Estero, Argentina. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 277-283.

Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Secyt- UNLu

IEA (2019). Energy Efficiency 2019. International Energy Agency. Recuperado de: www.iea.org.

Instituto Argentino De Normalización (2012). IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. 3° ed. Buenos Aires.

IRENA (2016). Renewables Energy in Cities. International Renewable Energy Agency,

Abu Dhabi. Disponible en: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Statistics_2016.pdf

Iza Quishpe, J. X. (2020). *Diseño de una central fotovoltaica para abastecimiento de energía eléctrica del Campus de la Escuela Politécnica Nacional* (Tesis de grado, Quito, 2020).

Jahnke, E. (2009). Evaluación Económica de Alternativas de Calefacción. Año 2009. Santiago, Chile: Territorio Verde.

Katsaprakakisa, D. y Zidianakisa, D. (2017). Upgrading energy efficiency for school buildings in Greece. *Procedia Environmental Sciences*, v. 38, p. 248 – 255

Katafygiotou, M.C. y Serghides, D.K. (2014). Analysis of structural elements and energy consumption of

schoolbuilding stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school. *Energy and Buildings*, v.72, p. 8–16.

Kolokotsa D. Vagias V., Fytraki L. y Oungrinis K. (2019) Energy analysis of zero energy schools: the case study of child's asylum in Greece. *Advances in Building Energy Research*. Vol. 13, Issue 2, p. 193-204.

Ley Nacional N° 27.424 (2017) Régimen de Fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública. Buenos Aires, Argentina.

Martín Consuegra, F., Oteiza, I., Alonso, C., Cuervo-Vilches, T. y Frutos, B. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto C.C. Eduardo Torroja - CSIC. *Informes de la Construcción*, 66, 536, e043. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.125>.

Montañez, J., Barreto, J. L. V., Romero, E. M. T., y Palacios, S. S. (2018). Análisis de factibilidad del diseño de un sistema solar fotovoltaico en la escuela Campo 45 del corregimiento centro de la ciudad de Barrancabermeja. *Agricolae & Habitat*, 1(2).

Organización de las Naciones Unidas - ONU (2019). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, pp. 93.

Páez, A. (2010). Energy-urban transition: The Mexican case. *Energy Policy*, 38(11), 7226-7234

Palpa Bueno, A. I. (2019). Integración arquitectónica de energía solar fotovoltaica para el mejoramiento de la eficiencia energética en establecimientos de salud de comunidades nativas.

Pilar, C., Vera, L., Martínez, C. y Poladian, A. (2019). Estudio de factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos en viviendas tipo de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. *Revista Arquitecto*, 13, 25-34.

Raichijk, C., Grossi Gallegos, H., Aristegui, R., Righini, R. (2009). Sobre el recurso solar en la provincia de San Juan. *En Tercer Congreso Nacional – Segundo Congreso Iberoamericano. Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN. (San Juan, 2009)*.

Ré, M.G., Mazzocco, M.P., Filippín, C. (2021). Mejoras de eficiencia energética en calefacción. Potencial de intervención en edificio escolar existente del Área Metropolitana de San Juan, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 11(1), 20-31.

Ré, M.G. (2020). Eficiencia térmico-energética de edificios escolares en el Área Metropolitana de San Juan: propuesta metodológica de evaluación post-ocupacional. Informe de Avance, Tesis Doctoral. Doctorado en Arquitectura, Universidad de Mendoza.

Re, M.G., Filippín, C., Blasco Lucas, I. (2018). Consumos energéticos de gas natural y electricidad en edificios escolares del Área Metropolitana de San Juan, Argentina. Análisis estadístico en función de variables arquitectónicas. *Revista Hábitat Sustentable*, 8(2), 105-115.

Redweik, P., Catita, C. y Brito, M. (2013). Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy*, 97, 332–341.

San Juan, G. (2014). Aprendizaje en las escuelas del siglo XXI. Nota 5. Auditoría ambiental y condiciones de confort en establecimientos escolares. Banco Interamericano de Desarrollo.

Secretaría de Energía (2019). Manual de Generación Distribuida Solar Fotovoltaica. Buenos Aires.

Secretaría de Energía (2021). Calculador solar: Autoconsumo residencial. Disponible en: <https://calculadorsolar.minem.gob.ar/calculador>.

Vera Barrios, L. A. (2017). *Percepción de la comunidad educativa acerca del proyecto energías alternativas en la escuela: fortalezas y debilidades* (Master's thesis, Maestría en Educación).