

INTEGRACION DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS EN ARQUITECTURA: HERRAMIENTAS PARA PROYECTISTAS

S. de Schiller¹ y J. M. Evans¹

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Secretaría de Investigaciones
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, CABA.
e-mails: sdeschiller@gmail.com / evansjmartn@email.com

Recibido 15/08/19, aceptado 21/10/19

RESUMEN: La nueva legislación de generación distribuida en Argentina permite instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica. El trabajo identifica 4 tipos principales de instalaciones FVs: grandes centrales de generación, instalaciones medianas en edificios, reducidas instalaciones de escala domestica integrada a la red, e instalaciones autónomas con baterías. En ese contexto, se presenta una herramienta particularmente dirigida a proyectistas a fin de facilitar el diseño de instalaciones eléctricas con conexión a red, que indica la selección de variables y cuantifica los beneficios económicos y ambientales. Así, la planilla electrónica *e-FV.xls*, con base de datos incorporados, permite seleccionar: localidad, tecnología, superficie, orientación e inclinación, forma de integración en el edificio y otras variables, sin necesidad de ingresar datos adicionales. El trabajo evalúa ventajas y desventajas, basado en su aplicación en cursos de maestría en Argentina y Paraguay, y en proyectos de vivienda en 10 localidades de distintas zonas bioambientales de Argentina.

Palabras clave:

Instalación fotovoltaica, generación distribuida, vivienda, herramienta de diseño, planilla electrónica.

INTRODUCCION

La aprobación de la Ley Nacional 27.424 de Generación Distribuida (Boletín Oficial, 2017) permite la realización de instalaciones fotovoltaicas, FVs, con conexión a la red en Argentina. De los 4 tipos principales de instalaciones FVs, la Ley no es aplicable a grandes centrales FVs ni a proyectos autónomos, aunque favorece su implementación en edificios grandes y de escala doméstica.

En ese contexto, el presente trabajo está orientado al segundo tipo de instalaciones, particularmente del sector residencial, categoría donde el proyectista de viviendas u otros edificios de escala similar no cuenta con fácil acceso a un especialista asesor.

A tal fin, cabe considerar que la ‘generación distribuida’ con conexión a red ofrece 2 importantes ventajas para el usuario-instalador de sistemas FVs:

- evita el uso de baterías para almacenar energía eléctrica, el componente más débil de sistemas autónomos que requiere reemplazo periódicamente, además de contener plomo y ácido, materiales potencialmente contaminantes.
- permite reducir la factura eléctrica según la cantidad de energía exportada a la red en periodos cuando la generación propia excede la demanda del edificio.

¹ Directores, Maestría ‘Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo’, SP-FADU-UBA

El proyectista requiere contar con datos iniciales para presentar al comitente y proponer una determinada instalación, y con una guía para evaluar las características de la instalación, tales como superficie total de los módulos, su orientación e inclinación, tipo de tecnología FV y la forma de integración edilicia. Para ello precisa datos iniciales sobre su desempeño económico-ambiental según el recurso solar disponible y la temperatura en la localidad del proyecto.

En esas condiciones, el uso de planillas electrónicas proporciona un método compacto, ágil y amigable a los usuarios para seleccionar las variables de diseño y obtener resultados efectivos. En trabajos anteriores los autores presentaron las ventajas de este formato. (Evans, 2006).

ANTECEDENTES

Hasta 2017, la ley de privatizaciones de 1986 prohibió la conexión de pequeñas instalaciones de generación eléctrica distribuida. Un caso excepcional fue la instalación realizada por el CIHE para Greenpeace en sus oficinas de Chacarita, donde esta ONG logró firmar un convenio con la compañía distribuidora para que les permita donar su excedente de energía eléctrica de su instalación fotovoltaica, dado que la ley anterior no permitía la venta ni un descuento de la factura.

La nueva ley requiere la adhesión de cada provincia a la ley y, hasta la fecha, las jurisdicciones adherentes son: CABA, y las Provincias de Buenos Aires, Córdoba, San Juan, Mendoza y Chubut (Ministerio de Hacienda, 2019).

Existen herramientas disponibles en Internet, para uso 'on-line', por ejemplo, RETScreen Expert (NRS Canada, 2019), o programas como PVSYST (2019), SAM NREL (2019) y PVLBPVSY (2019) (Gurupira y Rix, 2017), para uso sin cargo, exceptuando PVSYS que ofrece 30 días sin cargo y una versión con funciones limitadas. PVLIB trabaja en un entorno MATLAB o PVLIB-Python y requiere cierto conocimiento de programación. Todos los casos requieren datos climáticos, como EPW o TMY, con limitada disponibilidad para localidades en Argentina. Estos archivos contienen datos sintéticos de radiación solar, basados en mediciones satelitales, que tienden a ser de mayor valor que las mediciones realizadas en tierra. Las funciones de análisis económico, ofrecidas en las herramientas son de limitada utilidad en situaciones de alta y variable inflación y cambios del valor de divisas.

Ante ese panorama, para una evaluación inicial de proyectos FVs a escala doméstica en distintas localidades de Argentina, se requiere una herramienta con las siguientes características:

- Datos confiables de temperatura y radiación solar basados en mediciones en tierra.
- Datos genéricos de módulos FVs, aptos para evaluación inicial, considerando los posibles cambios en la disponibilidad de modelos en el mercado durante el desarrollo y construcción el proyecto.
- Datos de ahorros económicos, basados en el costo marginal obtenido de las tarifas de distribuidoras y disponibles en las facturas.
- Facilidad de uso, con código de colores para indicar ingreso de datos (rosa) y resultados (gris).
- Carga de todas las variables sin necesidad de recurrir a otras fuentes de datos, con presentación inmediata de resultados.

Respondiendo a esas condiciones, se elaboró la planilla electrónica *e-FV.xls* que se presenta a continuación con las instrucciones de uso.

PLANILLA

La planilla electrónica *e-FV.xls* es un archivo en Excel de reducido tamaño, 718 kB, organizado en las siguientes hojas:

- Datos: esta hoja principal permite el ingreso de datos y la presentación de resultados, Figura 1.
- Sol y Temp: hoja de datos mensuales de radiación solar y temperatura media mensual de 33 localidades de Argentina.

- Manual: hoja con un manual de uso e instrucciones incluyendo referencias, fuentes de datos y una guía para su actualización. Se puede imprimir la hoja Excel como manual en 4 paginas.
- 1-12: hojas con la estimación de la radiación solar directa, difusa y reflejada de cada mes, según la orientación, inclinación, condiciones del cielo indicadas por kt, transparencia atmosférica y latitud de la localidad seleccionada, con datos indicados en la hoja 'Datos' de la base de datos 'Sol y Temp'. La estimación está basada en métodos de Muneer (2004).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
2	APORTE DE ENERGÍA DE FOTOVOLTAICOS						e-fv	Fecha	25/08/2019				
3	Provincia	Neuquen					Proyecto	Vivienda en Plottier					
4	Localidad	Neuquen					Latitud	-39,0 °S					
5	Generacion distribuida	No permitido en Neuquen					Longitud	68,1 °O					
6	Tipo de PV	Policristalina SI					Altura snm	270 m					
7	Superficie bruta módulos	6,0	m ²				Valores recomendados						
8	% superficie util	94%					Orientación	N +/- 30°	OK				
9	Eficiencia	Promedio	14%				Inclinacion fija	29 °					
10	Superficie de colectores	5,64	m ²				Inclinación invierno	57 °					
11	Orientación FV, azimut	0	°				Inclinacion verano	19 °					
12	Inclinación FV invierno	20	°				Resultado anual						
13	Inclinacion FV verano	20	° inclinación fijo				Radiación solar	20235	KWh				
14	Albedo techo	Muy claro	0,4				Energia generada	2691	KWh				
15	Eficiencia inversor y BOS	95%					Ahorro anual	2341	\$ / año				
16	Eficiencia nominal y final	14,0%	13,3%				Ahorro emisiones	1884	kg CO ₂ /año				
17	Ubicación del modulo	Techo+camara ventilada					Costo de energía	0,87	\$/kWh				
18	Ajuste temperatura del aire	0,2 % / °C	sobre 25° C				Factor emisiones	0,70	kg CO ₂ /kWh				

Figura 1. Ingreso de datos y presentación de resultados

En la hoja 'Datos', se ingresan las variables en las casillas de color amarillo claro, utilizando listas desplegables para seleccionar los valores alternativos. La primer línea de la hoja presenta el título con la fecha actualizada, Casilla L2, a fin de registrarlos en caso de múltiples impresiones de resultados.

Las primeras columnas presentan los siguientes datos:

- Provincia, Casilla C3: con la selección de la provincia se actualiza la lista de localidades correspondientes, incluyendo localidades de Paraguay y Uruguay.
- Localidad, Casilla C4: el usuario puede seleccionar las localidades disponibles de la lista desplegable. La planilla actual contiene datos de temperatura y radiación solar de 33 localidades en Argentina y países limítrofes.
- Generación distribuida, Casilla C5: indica si la provincia seleccionada se encuentra adherida a la Ley 27.424. La Hoja 'Sol y Temp' presenta las instrucciones para actualizar los datos.
- Tipo de FV, Casilla C6: el ingreso de una opción permite establecer la eficiencia genérica, las opciones son: SI amorfo, poli cristalino, o mono cristalino, o cadmio telurio. El usuario puede agregar otras tecnologías o datos de módulos específicos en las Casillas B56:G57.
- Superficie bruta de los módulos fotovoltaicos, Casilla C7: en metros cuadrados. En el caso de ingreso de datos de un módulo específico, la superficie unitaria aparece en la Casilla F7. Para el proyectista, el dato inicial es la superficie potencial disponible.
- % Superficie útil, Casilla C8: permite estimar la superficie de las celdas, como proporción de la superficie bruta. Los módulos 'semi-transparentes' presentan menor porcentaje útil.
- Eficiencia, Casilla C9: con la misma tecnología FV, se obtienen distintos niveles de eficiencia y distintos costos. En esta Casilla se pueden elegir eficiencias genéricas 'máximas', 'mínimas' y 'promedios'. En la Casilla F56-F58 se ingresan los datos específicos, por ejemplo, valores de la etiqueta de eficiencia, según Norma IRAM 210017 (2019).
- Superficie de colectores, Casilla C10: es la superficie efectiva de las celdas FV, en m².
- Orientación FV, azimut, Casilla C11: ángulo en planta: 0° = N, 90° = E, 180° = S, y 270° = O.
- Inclinación, FV invierno, Casilla C12: ángulo de inclinación del plano del módulo desde el horizonte.

- Inclinación FV verano, Casilla C13: permite realizar instalaciones con inclinación ajustable 2 veces por año. En casos típicos de instalaciones con igual inclinación en invierno y verano, sin ajuste estacional, la Casilla E13 indica ‘inclinación fija’.
- Albedo techo, Casilla C14: permite seleccionar la reflexión del techo o la superficie horizontal frente al módulo FV, lo cual puede modificar levemente la intensidad de la radiación reflejada.
- Eficiencia inversor y BOS, Casilla C15: convierte la corriente directa a corriente alterna, con leves pérdidas de eficiencia, BOS es Balance de Sistema, del inglés *Balance of System*.
- Eficiencia nominal y final, Casilla B16: indica la eficiencia nominal del módulo FV, mientras la Casilla E16 indica la eficiencia final con pérdidas del inversor, etc.
- Ubicación del módulo, Casilla C17: permite elegir entre 3 opciones: integrado en el techo sin ventilación, colocado sobre el techo con cámara ventilada o con estructura independiente al aire libre. La integración al techo sin cámara ventilada alcanza mayor temperatura con leve reducción de eficiencia, mientras los módulos al aire libre con menor temperatura logran una eficiencia levemente mayor. La planilla ajusta la eficiencia según la temperatura media mensual, calculada según el tipo de módulo, color y condiciones mensuales de temperatura e intensidad de radiación solar en cada localidad.
- Ajuste por temperatura del aire, Casilla C18: indica la reducción de eficiencia por cada grado superior a 25° C. El valor de ajuste aparece automáticamente según las características o tecnología del módulo seleccionado en Casilla C6.

Con el ingreso de las 12 variables se obtiene la estimación de generación anual de energía fotovoltaica y su variación mensual en kilowatt horas, y la radiación solar incidente mensual y anual.

El segundo grupo de columnas presenta la siguiente información sobre la ubicación, los valores recomendados y los resultados:

Proyecto y ubicación

- Proyecto, Casilla K3: nombre del proyecto, a ingresar por el usuario, casilla en amarillo fuerte.
- Latitud, Casilla K4: según la localidad seleccionada, se utiliza para calcular la radiación.
- Longitud, Casilla K5: según la localidad, en grados al Oeste del meridiano de Greenwich.
- Altura snm, Casilla K6: altura sobre el nivel del mar en metros.

Valores recomendados

- Orientación, Casilla K8: orientación óptima, rango e indicación de valor aceptable.
- Inclinación fija, Casilla K9: inclinación óptima, rango e indicación de valor aceptable.
- Inclinación invierno, Casilla K10: conviene lograr inclinaciones más verticales.
- Inclinación verano, Casilla K11: convienen inclinaciones más horizontales.

Nota: la inclinación óptima puede variar según las sombras proyectadas por posibles obstáculos.

Resultado anual

- Radiación solar, Casilla K13: total anual sobre los módulos fotovoltaicos en KWh.
- Energía generada, casilla K14: generación anual de los módulos en KWh.
- Ahorro anual, Casilla K15: reducción en el costo de energía eléctrica, en \$ / año, considerando el costo marginal de un KWh.
- Ahorro de emisiones, Casilla K16: reducción anual de emisiones de gases efecto invernadero, GEI, en kg CO₂e/año.

Datos

- Costo de energía, Casilla **K17**: se considera el costo marginal en pesos de un KWh con impuestos y sin cargos fijos, obtenido de las tarifas o de los valores publicados por la distribuidora.
- Factores de emisiones, Casillas **K18**: valores en Kg CO₂e/KWh, kilogramos de dióxido de carbono y el equivalente en otros gases GEI, con valores publicados en el sitio de MINEM (2019).

La sección inferior de la hoja ‘Datos’ presenta los siguientes datos adicionales:

- Grafico que indica la variación mensual de la radiación solar incidente y la generación de energía eléctrica de un metro cuadrado de módulo, en KWh/m² día, Figura 2.

- Tabla con los cálculos de radiación solar mensual y generación fotovoltaica, incluyendo el efecto de la temperatura.
- Tabla editable de las características de tecnologías fotovoltaicas, con sus eficiencias según temperatura, etc.

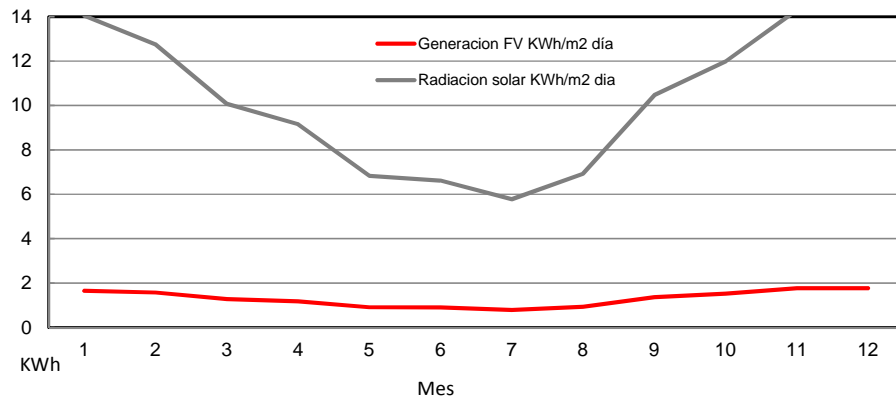


Figura 2. Valores mensuales de la radiación solar (gris) y generación FV (rojo) en KWh/m2 día

La Hoja ‘Sol y Temp’ presenta una base de datos de localidades y su provincia, latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar, con datos mensuales de temperatura media y claridad de la atmosfera.

DATOS DE ENTRADA		DATOS INTERMEDIOS		RESULTADOS				Sin Vidrio
Neuquen								
Datos		Dato	Valor	Hora	Directa	Difusa	Reflej.	Total
Dia	15	cd	0,017453292	0	0	0	0	0
Mes	1	Lat	-0,680678397	1	0	0	0	0
Latitud	-39	Azim	2,879793217	2	0	0	0	0
Azimut	15	Pend	0,349065844	3	0	0	0	0
Pendiente	20			4	0	0	0	0
Albedo	0,4	dia1	0	5	0	12	1	13
Kt	0,62		7	6	72	70	4	146
N° Vidrios	0	dia	15	7	181	127	7	315
		dec	-0,371222359	8	307	180	11	498
		dec°	-21,26	9	432	226	15	673
		x	-0,315224686	10	536	261	18	815
		oms	1,891487074	11	602	283	20	905
		oms1	7,2	12	616	290	21	927
		oms1	14,4	13	576	283	20	879
		Ho	38,39739794	14	488	261	18	767
		Ho	42,97030881	15	369	226	15	609
		Ht	26,64159146	16	237	180	11	428
		Hd	91,12788444	17	113	127	7	247
		Hd	9,961504723	18	14	70	4	87
		Hd	9,961504723	19	0	12	1	13
				20	0	0	0	0
		cthe0	0,121386844	21	0	0	0	0
		cthe1	0,874279657	22	0	0	0	0
		cthe2	0,082491677	23	0	0	0	0
Promedio diario								
Watts/m2	610,2	a	0,783945758	%	Directa	Difusa	Reflej.	Total
KWh/m2	14,6439	b	0,304567051		62%	36%	2%	100%
MJ/m2	21,9658							

ENERO

Legend:
— Directa
— Difusa
— Reflej.
— Total

Figura 3. Ejemplo del resumen del cálculo de la radiación solar, mes de enero

La Figura 3 presenta un resumen de la planilla mensual de radiación en enero, con valores horarios de la intensidad de radiación solar directa, difusa, reflejada y total solar en W/m2, y los totales expresados en porcentajes. Los datos de ingreso, provenientes de la hoja ‘Datos’, se muestran en color celeste.

Las Hojas 1 a 12 corresponden a los 12 meses del año, permitiendo evaluar la radiación solar incidente sobre superficies en distintas inclinaciones y orientaciones o transmitida a través de 1 o 2 vidrios.

APLICACION

Con el fin de evaluar la facilidad de uso de las planillas, la misma fue puesta a prueba en 2 cursos de Maestría, 'Diseño y Construcción Sustentable' dictada en la Universidad Católica de Asunción, Paraguay, con 20 maestrandos, y 'Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo' dictada en la FADU, Universidad de Buenos Aires, con 30 maestrandos. Con indicaciones breves de 30' aprox., fue posible aplicar las planillas para verificar la superficie necesaria de FVs para lograr una 'vivienda energía 0', considerando el balance energético anual. El estudio involucró estudios complementarios del balance de calor requerido para calefacción, la demanda de energía para agua caliente con el aporte de colectores solares, y una estimación de la demanda de energía eléctrica y cocción.

En una segunda aplicación, la planilla fue utilizada en un proyecto de eficiencia energética y energías renovables en vivienda social a nivel país, distribuida a 8 Institutos Provinciales de Vivienda, habiéndose utilizado en varios casos, para verificar alternativas de ubicación e integración. También fue empleada para verificar el diseño de 32 instalaciones fotovoltaicas en las 8 provincias, cuyos ensayos demostraron rapidez y sencillez de uso, con la posibilidad de probar y comparar alternativas.

RESULTADOS

Los estudios permitieron comprobar que la Planilla *e-PV.xls* facilita la evaluación de alternativas, la comparación de tecnologías y el estudio de factibilidad de proyectos en distintas localidades. Como herramienta didáctica, demuestra, con valores específicos, las siguientes características de instalaciones FVs:

- La inclinación óptima de una instalación fija, sin ajuste estacional, es relativamente horizontal en la mayoría de las latitudes de Argentina, de latitud 25° a 45°. Los colectores solares para calentar agua requieren mayor inclinación para lograr óptimo rendimiento, aunque una inclinación idéntica solamente disminuye el rendimiento de los módulos fotovoltaicos en 5-12 % según localidad.
- La variación de orientación también es muy flexible, una orientación al 45° al Este (u Oeste) del Norte solo disminuye 3 % del rendimiento anual, basado en estimaciones de La Plata, con 26° C de inclinación óptima, Figura 4.
- La planilla permite una rápida evaluación de alternativas de orientación e inclinación.

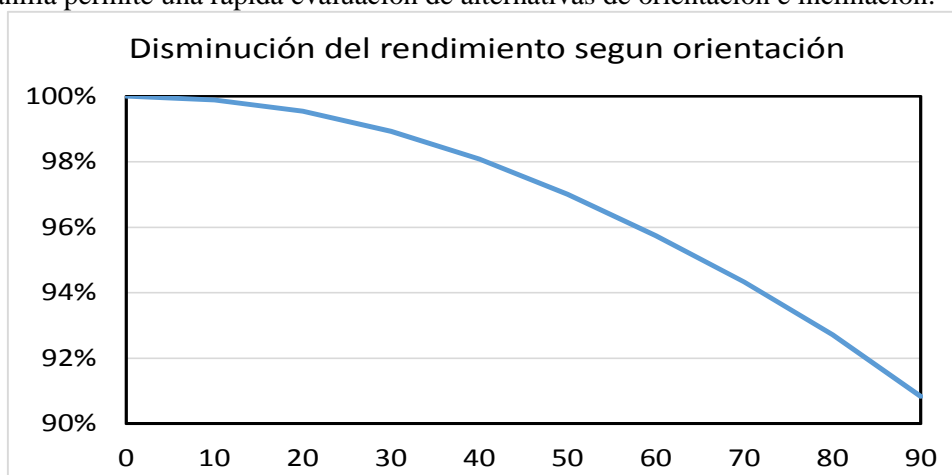


Figura 4. Reduccion porcentual, variacion del Norte, 0°, basado en instalacion FV en La Plata, inclinacion 26°

- La planilla indica que la variación de rendimiento según latitud es limitado con leve tendencia en disminución de latitud 25° a 45°. Las localidades de mayor altura con climas secos, tales como Salta, Guaymallén y Zapala, logran mayor generación, y menores valores en las localidades con mayor humedad y nubosidad.

- Ushuaia logra muy limitada generación debido a la combinación de alta latitud con baja altura de sol invernal, importante nubosidad, sombras proyectadas de las montañas y una pendiente desfavorable en la mayoría de la zona urbana orientada al Sur, con vistas hacia el Canal de Beagle. La situación desfavorable de Ushuaia para instalaciones fotovoltaicas coincide con la evaluación de las características térmicas y la etiqueta de eficiencia energética de ventanas de la Norma IRAM 11507-6, (2018) ‘Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Parte 6 - Etiquetado de eficiencia energética’, recién aprobada. Fue necesario establecer una zona especial para Tierra del Fuego a fin de responder a las marcadas diferencias con otras regiones de la Patagonia.

La Figura 5 indica la generación de un metro cuadrado de módulo FV, con la misma tecnología, orientación Norte e inclinación fija, optimizada para cada localidad en distintas latitudes, desde Formosa, 26°, Tucumán, 27° y Salta 25°, Región Norte; San Nicolás, Buenos Aires, 33°, y Guaymallén, Mendoza, 33°, Región Centro; y Rawson, 43°, Zapala 39° y Ushuaia 55°, Región Sur.

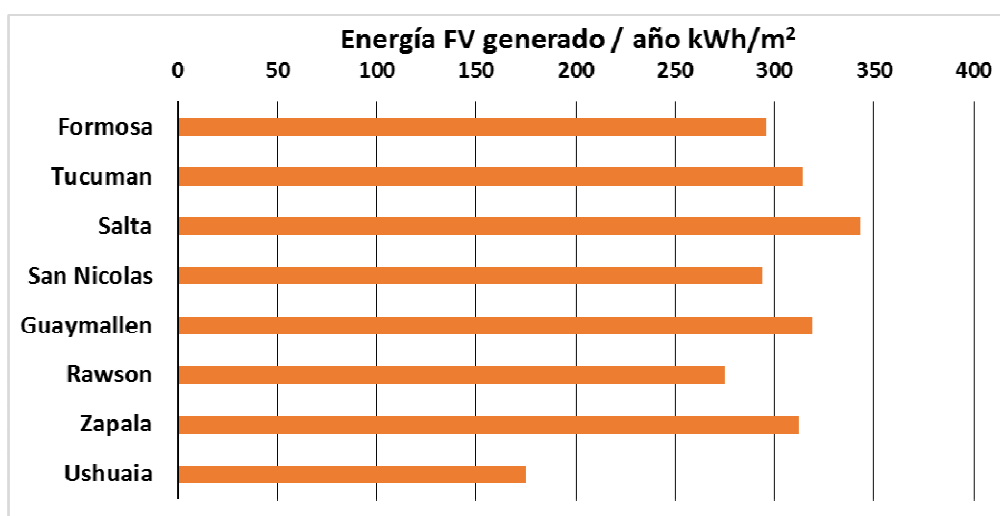


Figura 5. Variación de generación eléctrica en distintas localidades.

CONCLUSIONES

La planilla electrónica *e-FV.xls* fue desarrollada con el fin de proporcionar una herramienta para proyectistas en las etapas iniciales de proyectos de escala doméstica que incorpora instalaciones fotovoltaicas.

Los objetivos fueron implementar una herramienta de fácil manejo, con rápido acceso a los datos necesarios y posibilidades de optimizar el diseño y su integración en arquitectura. Las experiencias en aplicaciones en el campo académico y profesional demuestran su utilidad.

Con el fin de promover la difusión de instalaciones fotovoltaicas en edificaciones, los proyectistas no especializados requieren información sobre superficies, alternativas de ubicación, beneficios económicos y ambientales. La herramienta presentada en este trabajo fue elaborada para contribuir a este objetivo y aportar a la implementación de la edificación energéticamente eficiente en el marco del desarrollo sustentable del hábitat construido.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación UBACyT Interdisciplinario ‘Estrategias de eficiencia energética y energía renovable en edificación y su aporte ambiental, económico y social’, 2017-2019, Resol. CS 7053, Código 20620160100006BA, y proyectos previos UBACyT, con financiación parcial de Secretaría de Ciencia y Técnica, Universidad de Buenos Aires.

REFERENCIAS

- Boletín Oficial (2017) Ley 27424, Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada A La Red Eléctrica Pública, Boletín Oficial, 20/12/2017, CABA.
- Evans, J. M. (2006), Simulación de temperaturas internas en el proceso proyectual: e-temp.xls, un nuevo enfoque para evaluar comportamiento térmico, Avances en Energías Renovables y medio Ambiente, Vol. 10, INENCO, Salta.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2009), Atlas de Energía Solar de la República Argentina, CONICET, Buenos Aires.
- Gurupira, T. y Rix, A. J. (2017), PV Simulation Software Comparisons: PVSYST, NREL, SAM and PVLIB, Conference Proceedings, SAUPEC 2017, disponible en https://www.researchgate.net/publication/313249367_PV_SIMULATION_SOFTWARE_COMPARISONS_PVSYST_NREL_SAM_AND_PVLIB/
- IRAM (2018) Norma IRAM 11507-6, 2018, Carpintería de obra. Ventanas exteriores. Parte 6 - Etiquetado de eficiencia energética. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, CABA.
- IRAM (2019) Norma IRAM 210017, 2019, Energía solar. Módulos fotovoltaicos. Etiquetado de eficiencia energética. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, CABA.
- MINEM (2019), Factor de emisiones, Electricidad, Argentina, disponible en <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-elctrica>
- Ministerio de Hacienda (2019), Mapa de Provincias Inscriptas en la Plataforma Digital, disponible en <https://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/Ley%2027424-2017.pdf>
- Muneer, T. (2004), Solar Radiation and Daylight Models for the Energy Efficient Design of Buildings, Architectural Press, 2nd Edition, Londres.
- NRS (2019), RETScreen Expert, National Resources Canada, disponible en <https://www.nrcan.gc.ca/energy/retscreen/7465>
- PVLIB (2018), PV Performance Modeling Collaborative, PV_LIB Toolbox, disponible en: https://pvpmc.sandia.gov/applications/pv_lib-toolb.
- PVSYS (2019), PVSyst Software Development, disponible en: <http://www.pvsyst.com/en/software/software-development>
- SAM (2019), System Advisor Model, disponible en: <https://sam.nrel.gov>

ABSTRACT

The recently approved legislation on distributed generation in Argentina allows grid-connected photovoltaic installations. This paper identifies 4 principal types of PV installations, largescale PV generating stations, intermediate scale installations on larger buildings, smaller installations on domestic scale buildings and autonomous installations with batteries. The paper presents a tool for designers that aids the development off-grid connected installations, facilitating the selection of variables and providing data on economic and environmental benefits. The electronic spread-sheet *e-FV.xls* incorporates databases that allow: locality selection with associated climate data, PV technology, surface area, orientation and slope, alternatives of integration in buildings and other variables, without searching for additional information. An evaluation of the advantages and disadvantages are presented, based on use in Masters Courses in Argentina and Paraguay.

Keywords: photovoltaic installations, distributed generation, housing, design tool, electronic spreadsheet.