

# USE AND COMPARISON OF FOUR COMPUTATIONAL TOOLS FOR SIZING AN ISOLATED AND INTERCONNECTED RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM

## USO Y COMPARACIÓN DE CUATRO HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA EL DIMENSIONADO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL AISLADO E INTERCONECTADO

**Karen Yesenia Arias, Yeny Alejandra Ortiz, Anyela Marcela Arenas, Eduard Rodrigo Galvis, Juan Manuel Villamil, MSc. Alejandro Parrado Duque, Ing. Alejandra Martínez Peñaloza, PhD. German Osma Pinto**

### Universidad Industrial de Santander

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones Facultad de ingenierías Fisicomecánicas Carrera 27 #9.

Bucaramanga, Santander, Colombia.

Tel.: 57-7- 6344000, Ext. 2361

E-mail: karen.arias@correo.uis.edu.co; yeny.ortiz@correo.uis.edu.co; alejandro.parrado@correo.uis.edu.co; gealosma@e3t.uis.edu.co

**Abstract:** Photovoltaic solar (PV) energy shown a growth in recent years. This leads to increased studies to strengthen the national critical mass in this area. This document studies the advantages and disadvantages of different computer tools for commercial and educational use in the sizing of PV systems (PVS). For this, PVsyst, PV\*SOL and Solarius PV, which are commercial, and SAM, which is free to use, were used in the sizing and results of two (2) PVS, one isolated and the other interconnected. The comparative analysis was on characteristics and functions that tools was in common. So, 37 criteria identified during the sizing process were listed and divided in three (3) general topics (basic data, sizing and selection of equipment and reports of the simulation process). In addition, this document presents the energy for self-consumption and surplus energy by the PVsyst, PV\*SOL and Solarius PV software's. in other hand, Solarius PV and SAM did not consider the typical connection of an insulated PV, because they used the interconnection feature.

**Keywords:** sizing, computing tools, photovoltaic system.

**Resumen:** La energía solar fotovoltaica (FV) presenta un crecimiento considerable en los últimos años. Esto conlleva al incremento de estudios para fortalecer la masa crítica nacional en este tema. En especial este documento estudia las ventajas y desventajas de distintas herramientas computacionales de uso comercial y educativo, empleadas en el dimensionamiento de sistemas FV (SFV). Para esto, se utilizaron PVsyst, PV\*SOL y Solarius PV, que son comerciales, y SAM, que es de uso libre y gratuito; en el dimensionamiento y análisis de resultados de dos (2) sistemas FV (SFV), uno aislado y otro interconectado. El análisis comparativo estuvo basado en características y funciones únicas o que tienen en común las herramientas, se listaron 37 criterios identificados durante el proceso dimensionamiento y divididos en tres (3) tópicos generales (datos básicos, dimensionamiento y selección de equipos y simulación e informes). Adicionalmente, se presenta la energía destinada para autoconsumo y de excedentes por las herramientas PVsyst, PV\*SOL y Solarius PV. Para el SFV aislado, Solarius PV y SAM dimensionaban un SFV conectado a la red con sistema de almacenamiento.

**Palabras clave:** dimensionamiento, herramientas de cómputo, sistema fotovoltaico.

### 1. INTRODUCCIÓN

La energía solar FV es la tecnología de energía renovable de mayor crecimiento, por tanto, tiene

un rol importante en la actual y futura matriz de generación de energía eléctrica (Agencia Internacional de Energías Renovables, n.d.). a escala global en 2019, la capacidad instalada (CI)

de los SFV aumentó 115 GW, el mayor crecimiento anual registrado a la fecha (REN21, 2020).

Por su parte, Colombia tiene una tendencia creciente en esta tecnología en los últimos tres (3) años. Su CI pasó de 11,32 MW en 2017 a 89,52 MW en 2019 (Agencia Internacional de Energías Renovables, n.d.). Tal crecimiento fue incentivado por la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014), la cual promueve la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético del país, entre otras disposiciones.

En consonancia con este crecimiento, existen herramientas computacionales con funciones y características de los SFV que pueden ser empleadas según el interés del usuario. Por tal motivo este documento presenta un análisis comparativo de las características y resultados de las herramientas computacionales PVsyst, PV\*SOL, Solarius y SAM empleadas en el dimensionamiento de dos (2) tipos de SFV

Para llevar a cabo lo mencionado, este documento fue organizado así: La sección 2 presenta la metodología empleada para el dimensionamiento, mencionando el proceso de selección de las herramientas computacionales, los casos de estudio y los resultados. La sección 3 presenta el análisis de resultados, mostrando la operación de los SFV dimensionados en las cuatro herramientas. Finalmente, la sección 4 presenta las conclusiones.

## 2. METODOLOGÍA

Un SFV es un conjunto componentes eléctricos encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica. Existen dos tipos de SFV: conectado a la red, presentado en la Fig. 1 y aislado, mostrado en la Fig. 2.

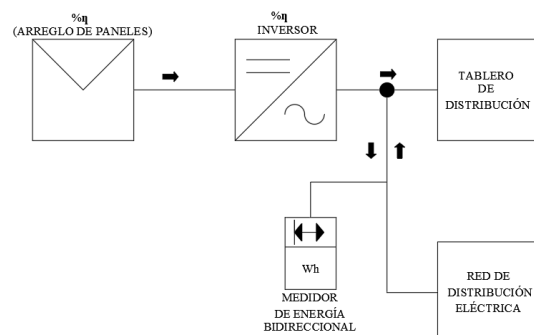


Fig. 1. Esquema de conexión del SFV conectado a la red. Fuente: Autores

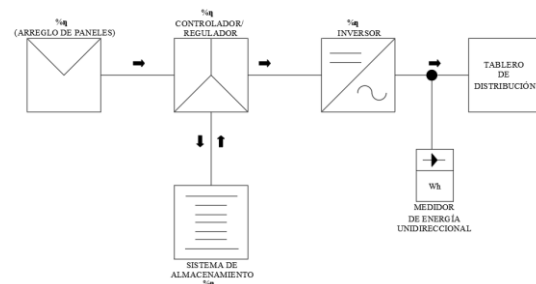


Fig. 2. Esquema de conexión del SFV aislado.

Fuente: Autores

Este estudio fue desarrollado en tres etapas, a saber, inicialmente se realizó la búsqueda y selección de las cuatro herramientas computacionales a implementar, luego, se ejecutó el dimensionamiento de dos SFV (uno aislado y uno conectado a la red) en las localidades de Bucaramanga y Piedecuesta, Colombia. Por último, se llevó a cabo un análisis comparativo de los resultados de dimensionamiento y de las capacidades de las herramientas estudiadas.

### 2.1 Selección de las herramientas de cómputo

Las cuatro herramientas seleccionadas fueron: PVsyst, Solarius PV, PV\*SOL y SAM. Las dos primeras son incluidas por su amplio uso en la industria local y la adquisición de licencias completas.

La tercera herramienta es SAM, la cual ha sido desarrollada por NREL. Este software es de acceso gratuito y de emergente uso en el mercado.

A partir de un proceso de revisión bibliográfica, se seleccionó la cuarta herramienta. La Fig. 3 muestra la representatividad de uso en 50 documentos de investigación, donde la herramienta PV\*SOL tiene un 12% de participación. Se descartó MATLAB-Simulink porque no está orientado a uso comercial como herramienta de dimensionamiento de SFV.

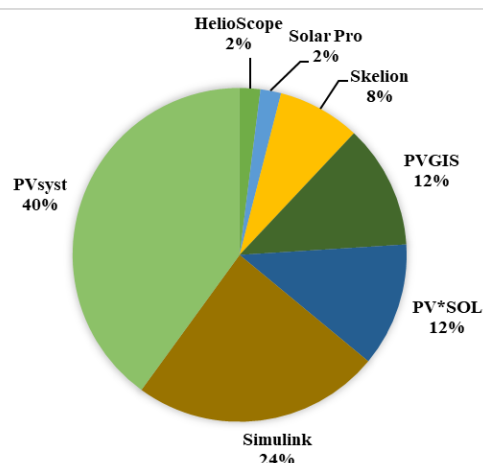


Fig. 3. Porcentaje de utilización de las herramientas consultadas. Fuente: Autores

Como primer criterio, PVsyst fue la herramienta referente para la selección del software faltante, lo que conllevó a la construcción de La Tabla 1 que muestra las características de comparación.

Los nombres de los programas se representan con siglas de la siguiente forma: PV\*SOL (PL); SAM (SM); PVsyst (PS); Solarius PV (SP); SolarPro (SR); Skelion (SK); Helio Scope (HS); Simulink (SL); PVGIS (PG).

Tabla 1: Comparación de PVsyst con las herramientas de cómputo encontrados

Característica	PS	SR	SK	PL	HS	SL	PG
Diseño del SFV aislado	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
Diseño del SFV conectado a la red	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Base de datos de equipos y datos meteorológicos	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
Aplicación 3D para simular sombras cercanas	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Importación de datos radiación de PVGIS o NASA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Importación de datos del panel FV	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗
Base de datos de baterías	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗
Importación de la demanda del usuario	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗

PV\*SOL cumple con todos los criterios de dimensionamiento que tiene PVsyst, por esta razón, fue incluida en el análisis objeto de la investigación. Los cuatro programas seleccionados con su respectiva versión fueron: PVsyst 6.8.6 desarrollado en Suiza, Solarius PV (BIM 2(c)) desarrollado en Italia, System Advisor Model 2020.2.29 desarrollado en EE. UU. y PV\*SOL premium 2020 (R8) desarrollado en Alemania.

## 2.2 Casos de estudio

Se dimensionaron dos SFV (uno aislado y otro conectado a la red) con características de usuario residencial de pequeña escala.

- *SFV conectado a la red (vivienda unifamiliar)*

Residencia familiar ubicada en Bucaramanga, con superficie disponible de 56 m<sup>2</sup> y uso promedio de energía al mes (año 2019) de 147 kWh/mes. Se buscó abastecer el 100% de la demanda de energía eléctrica.

- *SFV aislado (residencial)*

Vivienda y espacio para producción de licor de mandarina ubicada en Piedecuesta, con total disponibilidad de superficie y uso promedio de energía al día (año 2019) de 124 kWh/mes. Se pretendió suplir el 100% de la demanda de energía y potencia eléctrica.

## 2.3 Dimensionamiento de los SFV

Para el dimensionamiento de los SFV se utilizó el panel FV Canadian Solar CS3W 400P. Los demás equipos utilizados en el dimensionamiento variaron en cada herramienta según la disponibilidad y las características técnicas requeridas.

La Tabla 2 presenta los resultados de dimensionamiento para las cuatro herramientas de cómputo.

Los resultados de comparación se presentan en las filas. A (número de paneles FV), B (superficie que ocupan los paneles FV [m<sup>2</sup>]), C (CI del arreglo FV [kW]), D (número de inversores), E (potencia nominal DC por inversor [kW]), F (número de baterías), G (capacidad de cada batería [Ah]), H (número de controlador/regulador), I (demanda anual [MWh]) y J (desempeño energético anual [MWh]).

Tabla 2: Resultados de dimensionamiento del SFV aislado

	Finca residencial, aislado				Vivienda unifamiliar, interconectado			
	SP	PL	SM	PS	SP	PL	SM	PS
<b>A</b>	3				3			
<b>B</b>	6,63	6,63	6,6	6,62	6,63	6,63	6,6	6,62
<b>C</b>	1,2				1,2			
<b>D</b>	1	1	1	-	1			
<b>E</b>	1,28	1,5	1,61	-	1,3	1,5	1,6	1,4
<b>F</b>	20	2	-	-	-	-	-	-
<b>G</b>	33	100	-	-	-	-	-	-
<b>H</b>	-	1	-	-	-	-	-	-
<b>I</b>	1,46				1,76			

J 1,59 1,58 1,78 1,5 1,56 1,76 1,7 1,68

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados pretende identificar las semejanzas y diferencias de dimensionamiento de los SFV en las herramientas empleadas.

#### 3.1 Herramientas computacionales utilizadas

En general el dimensionamiento de SFV sigue las etapas mostradas en la Fig. 4, diferenciando el proceso de dimensionamiento del SFV aislado (verde) del conectado a la red (azul).

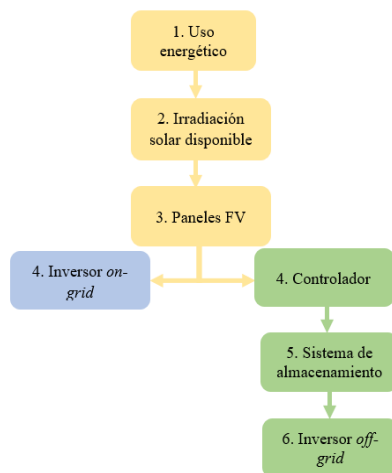


Fig. 4. Etapas para dimensionar los SFV.  
Fuente: Autores

Según el caso de estudio y las opciones de la herramienta se configuró el estudio de las cargas. Seguido se estableció la ubicación exacta para obtener la irradiación solar disponible, a partir de bases de datos meteorológicas.

El proceso de selección de equipos se realizó de la siguiente manera: para el SFV interconectado se eligió el panel FV e inversor *ON-GRID*, mientras que para SFV aislados se seleccionó panel FV, controladores, baterías e inversor *OFF\_GRID*.

Tabla 3: Opciones de configuración de las herramientas computacionales

Opciones de las herramientas meteorológicas	SP	PL	SM	PS
PVGIS	✓	✓	✗	✓
Meteonorm	✓	✓	✗	✓
NASA	✓	✓	✗	✓
NSRDB	✗	✗	✓	✓

Opciones para definir la CI del SFV	SP	PL	SM	PS
Área disponible	✗	✗	✗	✓
CI deseada	✓	✓	✓	✓
Porcentaje de demanda que se desea satisfacer	✓	✓	✗	✗
Irradiación promedio mensual específica	✗	✓	✗	✗

Esta investigación reconoció las características para el dimensionamiento de los SFV. La Tabla 5 lista los 37 ítems definidos en los criterios de comparación, los cuales están divididos en tres tópicos generales:

(A) Datos básicos, (B) Dimensionamiento y selección de equipos, (C) Simulación e informes

#### 3.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento realizado en las diferentes herramientas presentó variedad en los resultados respecto a la cantidad y capacidad de los equipos. La Tabla 4 muestra los resultados de dimensionamiento en los cuatro programas.

Tabla 4: Resultados de dimensionamiento.

SFV conectado a la red				
Nombre Programa	V. unifamiliar			
	SP	PL	SM	PS
# Paneles FV	3			
Paneles FV [m <sup>2</sup> ]	6,63	6,63	6,6	6,62
CI del arreglo FV [kW]	1,2			
# inversores	1			
Pnom DC por inversor [kW]	1,3	1,5	1,6	1,4
Demanda anual (2019) [MWh]	1,76			
Des energético (año) [MWh]	1,56	1,76	1,70	1,68
SFV aislado				
Nombre Programa	Finca residencial			
	SP	PL	SM	PS
# Paneles FV	3			
Paneles FV [m <sup>2</sup> ]	6,63	6,63	6,6	6,62
CI del arreglo FV [kW]	1,2			
# inversores	1	1	1	-
Pnom DC por inversor [kW]	1,28	1,5	1,61	-
# baterías	20	2	-	8
Cap energética de cada batería [Ah]	33	100	-	200
# controlador /regulador	-	1	-	1
Demanda anual (2019) [MWh]	1,46			
Des energético anual [MWh]	1,59	1,58	1,78	1,5

*Tabla 5: Cumplimiento de cada ítem de comparación*

Criterios		SP	PL	SM	PS
<b>Información meteorológica</b>					
A1	Permitir la ubicación en cualquier parte del globo terráqueo	✓	✓	✓	✓
A2	Tener una base de datos mínima de 10 años	✓	✓	✓	✓
A3	Incluir parámetros mínimos: irradiación y temperatura	✓	✓	✓	✓
<b>Información general</b>					
A4	Información detallada del cliente	✓	✓	✗	✗
A5	Información detallada del proyectista	✓	✓	✗	✗
A6	Información detallada de la instalación	✓	✓	✗	✗
<b>Información del perfil de carga</b>					
A7	Configurar el perfil por horas, mes y año	✓	✓	✓	✓
A8	Permitir el ingreso por estudio de cargas	✓	✓	✗	✓
A9	Permitir el ingreso a partir de importación de perfiles	✓	✓	✗	✗
<b>Base de datos de equipos</b>					
B10	Permitir el ingreso de equipos que no estén en la base de datos	✓	✓	✓	✓
B11	Actualizar la base de datos por los fabricantes	✓	✓	✗	✓
B12	Separar los equipos del SFV aislado del conectado a la red (inversores)	✗	✗	✗	✓
B12	Integración de controladores/reguladores (esquema de referencia Figura 12)	✗	✗	✗	✓
<b>Ayudas en el dimensionamiento</b>					
B14	Definir el tamaño del arreglo	✓	✓	✗	✗
B15	Presentar el arreglo FV durante el dimensionamiento (escrito o gráfico)	✓	✓	✓	✓
B16	Presentar el diagnóstico durante la selección de equipos	✗	✓	✗	✗
B17	Revisar la compatibilidad de conexión eléctrica entre los equipos	✓	✓	✗	✓
B18	Presentar las características eléctricas y físicas de los equipos	✓	✓	✓	✓
B19	Configurar los días de autonomía y baterías a utilizar	✓	✓	✗	✓
B20	Ayudas audiovisuales y foros de preguntas por parte del desarrollador	✓	✓	✗	✓
<b>Diseño 3D</b>					
B21	Importar planos y archivos de estructuras diseñadas	✓	✓	✓	✓
B22	Presentar de forma opcional el diseño 3D para el dimensionamiento	✗	✓	✓	✓
B23	Calcular pérdidas por sombreado a partir de fotos	✓	✗	✗	✗
B24	Insertar volumetrías definidas por el software para el cálculo de sombreado	✓	✓	✓	✓
<b>Diagnóstico pre-informe</b>					
B25	Entregar gráficas horarias	✓	✓	✗	✓
B26	Entregar gráficas mensuales	✓	✓	✓	✓
B27	Presentar el índice de rendimiento de la instalación	✗	✓	✓	✓
B28	Entregar el valor de la energía inyectada a la red y de autoconsumo	✓	✓	✗	✓
B29	Entregar el valor de la energía faltante en el SFV aislado	✗	✓	✗	✓
<b>Tiempo de simulación</b>					
C30	Simular un periodo mínimo de un año	✓	✓	✓	✓
C31	Realizar la simulación con valores horarios	✓	✓	✓	✓
C32	Entregar el “presupuesto” del proyecto	✓	✓	✓	✓
<b>Informes entregados por cada software</b>					
C33	Entregar el diagrama general de pérdidas de energía	✗	✗	✓	✓
C34	Entregar el valor de energía generada por el SFV	✓	✓	✓	✓
C35	Entregar los datos técnicos del SFV (capacidad instalada, PR, energías)	✓	✓	✓	✓
C36	Entregar los datos generales del SFV (geográficos y meteorológicos)	✓	✗	✗	✗
C37	Entregar los criterios de verificación de la conexión entre equipos	✓	✗	✗	✗

### 3.3 Análisis de operación

El análisis de operación involucra la identificación de todos los elementos que componen el SFV y determina si su funcionamiento es el esperado o presenta fallas.

- *SFV conectado a la red*

La Tabla 6 presenta los resultados del dimensionamiento de la vivienda unifamiliar para un año.

*Tabla 6: Dimensionamiento del SFV (vivienda unifamiliar)*

Parámetro	SP	PL	SM	PS
Irradiación solar [MWh/m <sup>2</sup> ]	1,73	1,73	1,86	1,73
Desemp. energético [MWh]	1,56	1,76	1,70	1,68

Prod específica [MWh/kWp]	1,31	1,46	1,43	1,40
Índice de rend (PR) [%]	75,48	84,70	76	80,33
Energía iny a la red [MWh]	0,86	1,09	1,70	1,02
Energía para autoc [kWh]	712,8	669,2	-	663,6
Energía de la red [MWh]	1,05	1,09	1,76	1,10
Energía iny a la red [%]	54,51	62,02	-	60,53
Energía para autoc [%]	45,49	37,98	-	39,47

La Fig. 5 muestra una variación de desempeño mensual. Para destacar PV\*SOL y SAM simulan un desempeño similar para los primeros meses del año, pero entre junio y agosto SAM decrece notoriamente respecto a PV\*SOL.

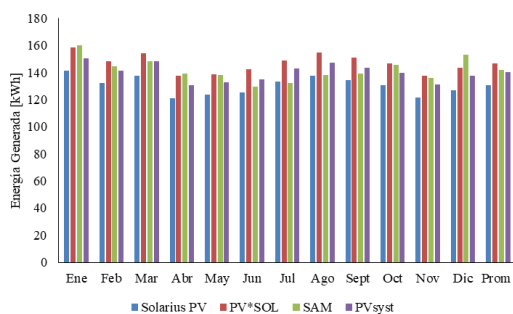


Fig. 5. Desempeño mensual del SFV (vivienda unifamiliar)

La Fig. 6 presenta el comportamiento de los programas en cuestión, respecto a excedentes y autoconsumo de energía eléctrica.

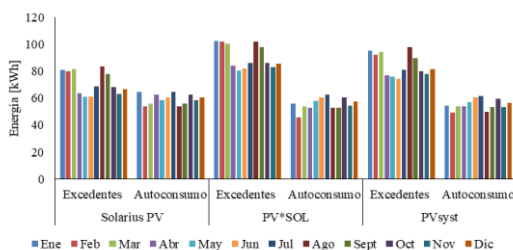


Fig. 6. Excedentes y autoconsumo del SFV (vivienda unifamiliar)

#### • SFV aislado

Para la simulación en PV\*SOL fue necesario realizar un deslastre de carga del 10,27% de la demanda, ya que el software no permitió la simulación con el 100%. Descrito esto, PV\*SOL tuvo una fracción solar (porcentaje de demanda atendida) del 89,73%. La Tabla 7 presenta los resultados de dimensionamiento para un año de la finca residencial.

Tabla 7: Dimensionamiento del SFV (finca residencial)

Parámetro	SP	PL	SM	PS
Irradiación solar anual [MWh/m <sup>2</sup> ]	1,75	1,75	1,97	1,76
Dessemp. energético [MWh]	1,59	1,58	1,78	1,50

Prod específica [MWh/kWp]	1,32	1,45	1,48	1,40
Índice de (PR) [%]	75,5	82,8	75	69,55
Fracción solar [%]	-	89,73	-	98,37
Energía suministrada al SA [MWh]	-	1,11	0,44	1,02
Energía suministrada desde el SA a la carga [kWh]	240,9	875	434,1	962,9
Energía suministrada a la demanda [kWh]	-	475,6	-	470,61

La Fig. 7 permitió evidenciar una tendencia diferente de los SFV aislados de interconectados. Esto es, SAM simula el mejor desempeño de las cuatro herramientas. PVsyst simuló el menor desempeño, pero fue suficiente para atender el 98,37% de la demanda anual.

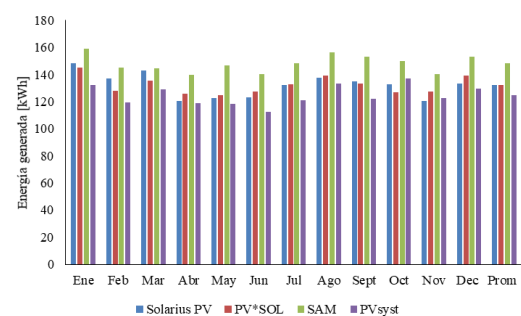


Fig. 7. Desempeño mensual del SFV (finca residencial)

Con respecto al SA, la Fig. 8 indica que PVsyst simuló el mejor desempeño en cuestión de la demanda atendida, evidenciado el mayor valor de la fracción solar, aun cuando simuló el menor desempeño durante el año. Mientras tanto, PV\*SOL y Solarius PV simulaban desempeños análogos en el promedio mensual.



Fig. 8. Desempeño mensual del SFV (finca residencial)

La simulación de los SFV permitió identificar características necesarias para el análisis de operación listadas en la Tabla 8. Esta presenta los indicadores de valor, con el fin de resaltar las ventajas (✓) y desventajas (✗) de cada herramienta computacional.



*Tabla 8: Características identificadas en el análisis de resultados de las herramientas*

Características	SP	PL	SM	PS
Valor de energía para autoconsumo	✓	✓	✗	✓
Valor de energía inyectada a la red	✓	✓	✓	✓
Valor de excedentes	✓	✓	✗	✓
Producción específica	✓	✓	✓	✓
Índice de rendimiento	✗	✓	✓	✓
Operación diaria (mejor y peor)	✓	✓	✗	✓
Índice PLOL (porcentaje de demanda que no se va a suplir)	✗	✗	✗	✓
Índice de fracción solar (SFV aislado)	✗	✗	✗	✓
Energía suministrada al SA	✗	✓	✓	✓
Energía suministrada desde el SA a la carga	✓	✓	✓	✓
SOC diario	✗	✓	✗	✓
Utilizar deslastre de carga	✓	✗	✓	✓

#### 4. CONCLUSIONES

Solaris PV, PVsyst y PV\*SOL entregan resultados a cerca de la energía excedente, tomada de la red, de autoconsumo e inyectada a la red con los cuales se pueden determinar el comportamiento de los SFV como autogeneradores y generadores distribuidos según la normativa regulatoria vigente en Colombia. Además, estos resultados influyen en la viabilidad de este tipo de proyectos, que de ser llevando a cabo obtiene beneficios económicos y tributarios, lo que conlleva al incremento de la implementación en este tipo de generación de energía eléctrica

Las cuatro herramientas computacionales efectivamente dimensionaron el SFV conectado a la red. Sin embargo, PV\*SOL es el más recomendado para dimensionar este caso porque cumplió con la mayor cantidad de criterios y presentó el mejor desempeño en los resultados de simulación.

Por otra parte, para dimensionar SFV aislados, se recomienda utilizar PVsyst, porque los otros programas presentaron problemas de dimensionamiento en el deslastre de carga controlador/regulador, y utilizaban o exportaban energía desde/hacia la red. Igualmente, Solaris PV y SAM, arrojaron como resultados excedentes de energía, esto es considerar un SFV conectado con SA y no propiamente el esquema presentado en la Fig 2.

PV\*SOL y PVsyst son las herramientas más completas para analizar la operación de SFV, porque entregaron datos y gráficas diarias de las

diferentes variables que conforman el SFV. SAM no entregó resultados de operación diaria haciendo menos preciso, pero no menos importante, el análisis del comportamiento del SFV.

SAM y PVsyst presentaron en sus resultados el diagrama de flujo de energía, con lo cual se pudo identificar el funcionamiento del SFV, el porcentaje de pérdidas debido a parámetros climatológicos y la operación de los equipos.

#### REFERENCIAS

- A. P. Duque, G. A. O. Pinto, G. O. Plata. (2019). Instalación de un sistema fotovoltaico en el edificio de Ingeniería eléctrica de la Universidad Industrial de Santander. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA
- Agencia Internacional de Energías Renovables. (n.d.). IRENA. <https://www.irena.org/>
- Ajgaonkar, Y., Bhirud, M., & Rao, P. (2019). Design of Standalone Solar PV System Using MPPT Controller and Self-Cleaning Dual Axis Tracker. *2019 5th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2019*, 27–32. <https://doi.org/10.1109/ICACCS.2019.8728494>
- Arif, M. T., Oo, A. M. T., Ali, A. B. M. S., & Shafiullah, G. M. (2015). *Predict System Efficiency of 1 MWc Photovoltaic Power Plant Interconnected to the Distribution Network using PVSYS Software*. 3–8.
- Congreso de la República de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014* (Vol. 2014, Issue August, pp. 1–43).
- De Oliveira, H. M., & De Aguiar Sodre, E. (2018). Study of a grid-tied photovoltaic system in Caruaru using PVsyst and Skelion. *SBSE 2018 - 7th Brazilian Electrical Systems Symposium*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395615>
- Jaiswal, P., Srivastava, S. K., & Sahay, K. B. (2016). Modeling and simulation of proposed 100 KW solar PV array power plant for MMMUT Gorakhpur. *International Conference on Emerging Trends in Electrical, Electronics and Sustainable Energy Systems, ICETEESES 2016*, 261–266.

<https://doi.org/10.1109/ICETEESES.2016.7581391>

<https://doi.org/10.1109/EEEIC.2015.7165419>

- J. G. Tapias, C. L. Sandoval, J. J. Coronel. (2018). Análisis de prospectiva del sector energético de Colombia, para la integración de fuentes fotovoltaicas en los sistemas de distribución de energía eléctrica aplicando una revisión en bases de datos científicas. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGÍAS DE AVANZADA*
- Kumar, N., Yadav, P., & Chandel, S. S. (2015). Comparative analysis of four different solar photovoltaic technologies. *International Conference on Energy Economics and Environment - 1st IEEE Uttar Pradesh Section Conference, UPCON-ICEEE 2015*. <https://doi.org/10.1109/EnergyEconomics.2015.7235077>
- Markovic, M. L., & Ciric, R. M. (2017). Efficiency analysis of grid-connected photovoltaic power plants. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 3(3), 269–277. <https://doi.org/10.17775/cseejpes.2016.01100>
- Mathew, M., & Hossain, J. (2018). Analysis of a grid connected solar photovoltaic system with different PV technologies. *IEEE International Conference on Circuits and Systems, ICCS 2017, 2018-Janua(Iccs)*, 264–269. <https://doi.org/10.1109/ICCS1.2017.8326002>
- Nadkarni, S. S., Angadi, S., & Raju, A. B. (2018). Simulation and Analysis of MPPT Algorithms for Solar PV based Charging Station. *Proceedings of the International Conference on Computational Techniques, Electronics and Mechanical Systems, CTEMS 2018*, 45–50. <https://doi.org/10.1109/CTEMS.2018.8769191>
- REN21. (2020). Renewables 2020 Global Status Report. In *REN21 Secretariat*. <http://www.ren21.net/resources/publication/s/>
- Sajjad, I. A., Manganelli, M., Martirano, L., Napoli, R., Chicco, G., & Parise, G. (2015). Net metering benefits for residential buildings: A case study in Italy. *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering, EEEIC 2015 - Conference Proceedings*, 1647–1652.
- Sharma, R. (2017). Grid Connected Solar PV System Design and Calculation By Using PV\*SOL Premium Simulation Tool for Campus Hostels of RTU Kota. 10–14.
- Simulink, M., & Mohammed, S. S. (2014). Simulation and analysis of stand-alone photovoltaic system with Boost Converter using MATLAB/Simulink. 814–821.
- Soualmia, A., & Chenni, R. (2017). Modeling and simulation of 15MW grid-connected photovoltaic system using PVsyst software. *Proceedings of 2016 International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2016*, 702–705. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2016.7984069>
- Tahiri, F. E., Chikh, K., & Khafallah, M. (2019). Modeling and performance analysis of a solar PV power system connected to a three phase load under irradiation and load variations. *Green Energy and Technology*, 1–23. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1945-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1945-7_1)
- Thula, M., Kumar, M. N., & Reddy, V. S. (2017). Simulation and performance analysis of 100kWp solar rooftop using Solar Pro software. *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, i-PACT 2017, 2017-Janua*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IPACT.2017.8244917>
- Tidjani, F. S., Chandra, A., & Pillay, P. (2014). Design of building integrated photovoltaic system to the grid with power quality improvement features for Central African countries. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 2023–2029.
- Yaghi, M., El-Fouani, H., Assi, A., Noun, Z., Rammal, R., & Assi, I. (2018). Toward green LIU campuses using PV systems. *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM, 2017-Decem(ICM)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICM.2017.8268840>