

# ANALISIS ECONOMICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

I. A. BLASCO †; F. GARCES‡

Instituto de Energía Eléctrica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan  
Av. Libertador Gral. San Martín 1109 (O) - 5400 San Juan - Argentina  
Tel.: +54 (0) 64 22 6444 - Fax: +54 (0) 21 0299 - E.Mail: iblasco@iec.unsj.edu.ar

## RESUMEN

Se presenta una metodología sencilla, cuyo soporte informático constituye una herramienta versátil para análisis económico de sistemas fotovoltaicos (PV). Las contribuciones de mayor importancia radican en la formulación de criterios de codificación y la lógica relacional correspondiente junto con la implementación computacional de la metodología. La estructura de la base de datos, la forma de codificar y relacionar cada tipo de datos, y el ordenamiento de los cálculos involucrados, permite el análisis de Sistemas PV, tanto de pequeña como gran potencia, centralizados o dispersos (individuales o en conjunto), para diferentes aplicaciones. Se aplica el "Método Dinámico de Ciclo de Vida".

## INTRODUCCION

Las posibilidades de inserción de una nueva tecnología en el mercado, dependen de su nivel de complementación y/o competitividad técnico-económica respecto a las existentes. Los criterios aplicados en la definición de las variables y parámetros involucrados en los métodos usuales de evaluación son decisivos para esta determinación, ya que son uno de los factores que permiten partir de una base de comparación más homogénea de las diferentes soluciones técnicas.

Estos criterios están relacionados con la distribución de inversiones, y con la cantidad y calidad de energía provista (disponibilidad y confiabilidad). Los sistemas solares están caracterizados por una elevada inversión inicial, y bajos costos de operación y mantenimiento; lo que permite un importante ahorro durante su ciclo de vida. Por ello un análisis económico de sus costos y beneficios debe ser realizado aplicando el "Método Dinámico de Ciclo de Vida".

En el presente trabajo se muestran resultados obtenidos con la aplicación de la metodología, utilizando todas sus posibilidades de cálculo, tal como sucede con los Sistemas Domésticos Solares (SDS) para el suministro eléctrico de viviendas rurales, calculando el valor presente, el valor anual y los índices de rentabilidad correspondientes a las configuraciones seleccionadas.

## DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA

La Fig. 1 muestra la estructura de relaciones utilizada para la metodología. En ella se tienen en cuenta tanto los requerimientos del método aplicado como los de cada sistema a analizar y las condiciones implicadas por la herramienta informática. Los niveles de complejidad son crecientes, secuenciales y convergentes, y puede ser utilizados independientemente. Los aspectos posibles de analizar secuencialmente son aquellos concernientes al análisis de costos; la evaluación económica, tanto en forma no-comparativa como comparativa con soluciones convencionales, tales como generador diesel, conexión a la red y soluciones locales precarias (baterías, pilas, lámparas de aceite, etc.); y a las modalidades de financiamiento.

La estructura de la base de datos se organiza a partir de los criterios de ordenamiento definidos para simplificar el tipo de análisis requerido y aumentar el rango de posibilidades de aplicación de la metodología. Con este propósito, se consideran tres niveles generales de datos (Subsistema, Sistema, Macrosistema). El primer nivel tiene en cuenta la conformación general conceptual de los sistemas analizados, respecto a la integración de subsistemas funcionales (generación, control, almacenamiento, distribución, demanda) y operacionales (instalación y mantenimiento). Ver Tabla 1.

† Investigadora Asistente del CONICET. Miembro de ASADES.

‡ Investigador Independiente del CONICET.



En la Tabla 2 se indican los items considerados y los criterios de ordenamiento de los cálculos conformados para facilitar el análisis de los siguientes aspectos: Determinación y Análisis de Costos (A), Evaluación Económica, Modalidades de Financiamiento (B y C), y estudios de sensibilidad.

La Tabla 3 esquematiza los resultados posibles de obtener, mediante selección automática a nivel de Sistemas, Macrosistemas y Comparaciones entre los mismos.

Tabla 1. Criterios utilizados para ordenar la estructura de la base de datos.

<b>Datos de Subsistemas</b>	<b>Características, Proveedores, Precios, Vida Útil, Fecha de la Información</b>			
<b>Funcionales / Operacionales</b>	<b>Componentes y Elementos</b>			
<b>Technologías</b>	<b>PV</b>	<b>Local</b>	<b>Diesel</b>	<b>Red</b>
<b>Generación</b>	Paneles, Soportes Estructura, etc	Combustibles Pilas, Baterías	Generadores	Línea Transformadores
<b>Control</b>	Regulador Llaves, etc.		Interruptores Medidores	Interruptores Medidores
<b>Almacenamiento</b>	Baterías, Cajas Conexiones, etc.		Baterías, Cajas Conexiones, etc.	
<b>Distribución</b>	Cables, Grampas Conversores, etc.		Cables, Grampas Conversores, etc.	Cables, Grampas Conversores, etc.
<b>Demanda</b>	Luminarias Balastos, Fusibles Tomas, etc.	Iluminación Comunicación Refrigeración	Luminarias Balastos, Fusibles Tomas, etc.	Luminarias Balastos, Fusibles Tomas, etc.
<b>Instalación / Mantenimiento</b>	Equipo Técnico Transporte Obras Civiles	Equipo Técnico Transporte	Equipo Técnico Obras Civiles, Transp. Combustible, etc.	Equipo Técnico Transporte Obras Civiles
<b>Datos de Sistemas</b>	Tipo y cantidad de Componentes y Elementos (Selección Automática). Tasa de Interés. Tasa de Inflación. Ciclo de Vida. Beneficios. Valor Residual. Contribuciones. Cantidad de Provisión de Energía Anual.			
<b>Datos de Macrosistemas</b>	Indices de Proporcionalidad. Tipo y Cantidad de Sistemas. (Selección Automática).			

Tabla 2. Criterios para ordenar los cálculos.

<b>Cálculos Principales e Items considerados</b>				
<b>No Comparativo</b>	A) Inversión Inicial [Año I]	Materiales		
		Instalación		
<b>por Sistema</b>	B) Op. & Mant. [Vida Útil]	Equipo	Periódico (Inspecciones) (viáticos, honorarios, transporte)	X veces / año
		Técnico	Permanente (honorarios)	X veces / Y años.
<b>y Macrosistema</b>	C) Suministro (A+B) : PV / AV / AUS / CUS	Repuestos	X veces / año o % de la Inversión Inicial	X veces / año
			X veces / Y años o % de la Inversión Inicial	
			Cantidad Fija por Año o % de la Inversión Inicial	
<b>Comparativo</b>	Indices de Rentabilidad (PV- Sistema Convencional) : PNS/ANS/AAUS/ACUS/SIR/ROI			

Tabla 3. Tipos de resultados

<b>Resultados para el Primer Año y para el Ciclo de Vida</b>			
<b>Matriz</b>		<b>Gráficos</b>	
<b>Parciales</b>	<b>Totales (Resumen)</b>	<b>Sectoriales</b>	<b>Barras</b>

## EJEMPLO DE APLICACIÓN

La evaluación económica no comparativa para sistemas individuales fue aplicada a la tecnología fotovoltaica (Sistema Doméstico Solar SDS: 53 Wp; y Sistema Escolar Solar SES: 265 Wp) y a soluciones locales precarias (baterías, pilas, lámparas de aceite, etc.: SH1 y SH2). Los datos usados corresponden a un período de vida útil de 20 años, una tasa real de interés de 8% y un valor residual del 10% de la inversión inicial, un pago inicial de \$40 por Sistema instalado y otro anual de \$120. Ver Tabla 4. La evaluación económica para el pueblo completo consideró 14 casas y una escuela, para lo cual se aplicaron índices de proporcionalidad. Ver Tabla 5. La evaluación comparativa de Sistemas PV respecto a los convencionales considera las diferencias existentes entre los respectivos costos y beneficios asociados. Ver Tabla 6.

Tabla 4. Resumen de resultados para sistemas individuales.

Sistema	Inv. Ini. [\$]	Energ./CV [kWh]	En./año [kWh]	PV [\$]	AV [\$]	AUS [\$/kWh]	CUS [\$/kWh]
SHS	1893.75	1728.00	86.40	5606.37	571.02	6.61	3.24
SSS	6422.06	8640.00	432.00	13027.72	1326.90	3.07	1.51
SH1	173.00	22000.00	1100.00	3319.14	338.06	0.31	0.15
SH2	173.00	28000.00	1400.00	4278.40	435.76	0.31	0.15

Tabla 5. Resumen de resultados para sistemas de suministro para el pueblo completo.

Sistema	Inv. Ini. [\$]	Energ./CV [kWh]	En./año [kWh]	PV [\$]	AV [\$]	AUS [\$/kWh]	CUS [\$/kWh]
PV	27838.34	31104.00	1555.20	32531.28	3313.38	2.13	1.05
Diesel	15957.89	435456.00	21772.80	93140.46	11880.24	0.55	0.21
Grid	70417.31	484876.00	24243.84	65067.27	8299.45	0.34	0.13
Local	2422.00	314000.00	15700.00	47427.26	4839.57	0.31	0.14

Table 6. Resumen de resultados comparativos en valores absolutos.

Comp. PV	Inv. Ini. [\$]	En./CV [kWh]	En./año [kWh/y]	PNS [\$]	ANS [\$]	AAUS [\$/kWh]	ACUS [\$/kWh]	SIR [-]	ROI [y]
Diesel	11880.45	-404352.00	-20217.60	-60609.18	-7730.82	0.36	0.14	6.16	2
Grid	-42578.96	-453772.80	-22687.80	-24243.72	-3092.33	0.13	0.05	-0.23	1
Local	25416.34	-282896.00	-14144.80	-14895.98	-1517.19	1622.81	1401.87	12.63	8

## CONCLUSIONES

Respecto al ejemplo de aplicación considerado, los resultados obtenidos demuestran que ninguna solución técnica, es rentable en toda su vida útil, debido a las bajas tarifas que pagan los usuarios, sin embargo la tecnología fotovoltaica resulta con las menores pérdidas. Tomando en cuenta la cantidad y calidad de energía suministrada, se puede observar que existen grandes diferencias entre las soluciones técnicas consideradas. La propuesta metodológica basada en la desagregación / agregación de Sistemas en Subsistemas y Componentes, permite simplificar la estructuración de la base de datos y los criterios utilizados, en estrecha relación con los algoritmos de cálculo respectivos. Se implementó una herramienta computacional para cálculo económico de Sistemas PV que permite el análisis tanto no comparativo como comparativo de diferentes diseños respecto a tres soluciones convencionales. Los resultados obtenidos determinan la conveniencia de definir índices cuali-cuantitativos para la consideración económica de las ventajas y desventajas involucradas en los sistemas analizados.

## REFERENCIAS

- Ruegg, R. and G. Thomas Sav (1979). The Microeconomics of Solar Energy. In: *Solar Energy Handbook* (Kreider, F. and F. Kreith, Ed.), Chap. 28, pp 1-42. Mc Graw-Hill Inc., New York.
- Finck, H. and G. Oelert (1985). A Guide to the Financial Evaluation of Investment Projects in Energy Supply. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn.
- Blasco I. y Garcés F. (1996). Economic Analysis of Photovoltaic Systems. Proceedings of the VI World Renewable Energy Congress. Vol. III. Denver, Colorado, USA. Editorial: Elsevier.