



## APLICACIÓN A LA COMPUTACIÓN

Sistemas Integrados de energías con fuentes renovables, requisitos y opciones.

*Integrated systems of energy with renewable sources, requirements and options*

Antonio – Sarmiento Sera  
María - Rodríguez Gámez

Orestes - Castillo Castillo  
Antonio - Vázquez Pérez

**Recibido:** Febrero del 2013

**Aprobado:** Mayo del 2013

### Resumen/Abstract

En el presente reporte se consideró una instalación conectada a la red eléctrica en la isla de Cuba. Se tenía el interés de introducir un determinado % de energía a partir de fuentes renovables, y se poseía un determinado potencial de energía eólica y fotovoltaica. Se analizaron los requisitos y opciones energéticas, se realizaron simulaciones de alternativas con el programa HOMER y se concluyó con la determinación de las condiciones o potenciales de las fuentes renovables para la recomendación de cada opción energética, y se presentaron los resultados de forma gráfica y fácil comprensión. Se ofreció un análisis de las posibilidades reales que en el ámbito de una localidad, pueden aprovecharse en función de diversificar de manera sostenible, el esquema energético comunitario con la utilización de las fuentes renovables de energía, utilizando la variante que desde el punto económico y ambiental resulte de más conveniencia.

**Palabras clave:** energías renovables, HOMER, simulación energética, sistemas integrados de energías.

*In this report was considered an electric net connected installation in the island of Cuba. It had the interest of introducing a certain % of energy starting from renewable sources, and a certain potential of wind and photovoltaic energy was possessed. The requirements and energy options were analyzed, and it were carried out simulations of alternative with the HOMER program and it was concluded with the determination of the conditions or potentials of the renewable sources for the recommendation of each energy option, and the results were presented in graphic way and easy understanding. It was offered an analysis of the real possibilities in the environment of a town. It can take advantage in function of diversifying from a sustainable way, with the community energy outline using the renewable sources of energy, and taking the variant of more convenience from the economic and environmental point of view.*

**Key words:** renewable energy, HOMER, energy simulation, integrated systems of energy.

### INTRODUCCIÓN

La aspiración humana por hallar fórmulas energéticas sostenibles al desarrollo, se enfoca en las posibilidades de operar cambios cualitativos en la base de generación, distribución y transportación de la energía a nivel de la sociedad.

La opinión pública internacional hace comunión en el criterio, de que más allá del debate sobre la causalidad de la compleja situación que presenta la salud ambiental del planeta, el desarrollo sostenible no es posible lograrlo sobre la base del actual esquema energético, donde predomina el uso y explotación de los recursos fósiles cada vez más agotados y costosos.

Se ha llegado hasta nuestros días privilegiando un sistema energético hijo de una filosofía centralizada, que a la luz de las realidades del siglo XXI, sigue llevando demasiado lejos unos principios y estructuras técnicas que nacieron sobre las bases de combustibles muy baratos y cuando no se tenía suficiente conciencia de las consecuencias de su sobreexplotación y consumo desmedido.

La operación de un cambio conceptual, estructural y técnico, constituye una necesidad de urgencia para alcanzar el reto de la sostenibilidad energética a escala social. No existe formulación técnica posible para lograr el desarrollo sostenible, con el uso de los combustibles fósiles.

Las fuentes renovables de energía se encuentran presentes en toda la superficie del planeta. La energía solar y el viento figuran entre las más distribuidas, su uso constituye una realidad viable desde el punto de vista económico y ambiental; pero el aprovechamiento adecuado de estas, requiere la realización de estudios y evaluaciones que garanticen lograr altos niveles de eficiencia y calidad.

En el uso de las fuentes renovables de energía, se reconocen las ventajas del uso de los sistemas integrados sobre la aplicación de las fuentes aisladas, lo que conlleva que en ocasiones parezca suficiente que existan determinada irradiación solar y viento para considerar preferible el uso de un sistema integrado eólico fotovoltaico por encima de un sistema eólico puro o fotovoltaico puro. [1].

En el presente artículo se analizan las condiciones que deben cumplirse para que afirmaciones como la señalada en el párrafo anterior sean válidas o no, en el caso de una instalación donde se consideran como fuentes: la irradiación solar, la energía eólica y la conexión a la red.

Las alternativas de estructuras energéticas a seleccionar son:

- 1) Conexión a la red.
- 2) Conexión a la red y FV.
- 3) Conexión a la red y eólica.
- 4) Conexión a la red, FV y eólica.

Como variables independientes se tiene a la irradiación solar ( $\text{kWh/m}^2$  día) y la velocidad del viento (m/s).

El problema está en poder seleccionar cual de las alternativas de estructura energética debe seleccionarse [2]. Para cada juego de valores de las variables independientes, fijando como condición que el costo de la energía equivalente (COE) sea mínimo. [3-4].

## MATERIALES Y MÉTODOS

La instalación tiene una demanda de 3,55 kW promedio diario en el año, con un consumo promedio anual de 85,2 kWh/día, como se muestra en la figura 1. La distribución mensual de la demanda se muestra en la figura 2.

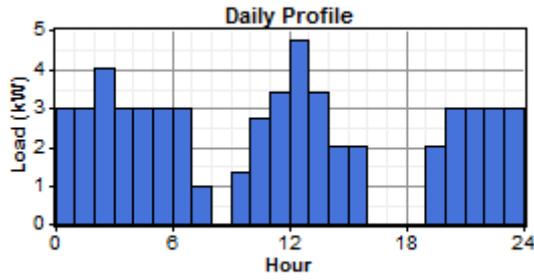


Fig. 1. Distribución promedio de la demanda.

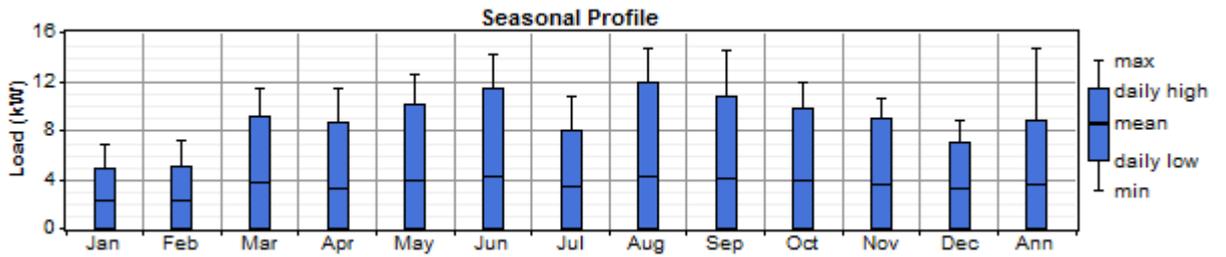


Fig. 2. Distribución mensual de la demanda.

La distribución mensual de la irradiación se muestra en la figura 3, con un valor promedio de 5,0 kWh/m<sup>2</sup> día [5].

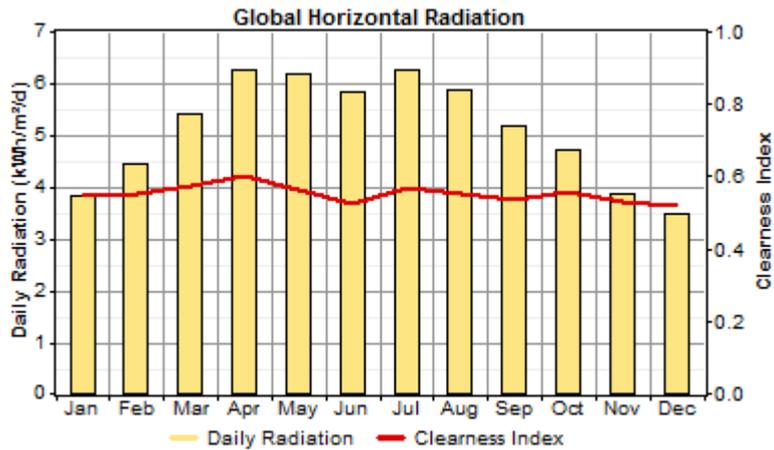


Fig. 3. Distribución mensual de la irradiación.

La distribución de la velocidad promedio del viento medida a 10 m de altura se muestra en la figura 4, con un valor promedio de 3,9 m/s .

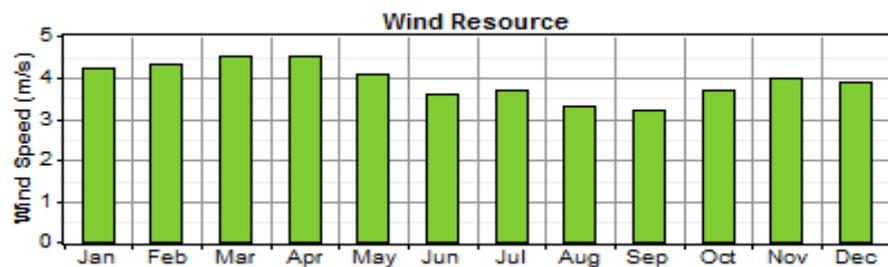


Fig. 4. Distribución mensual de la velocidad del viento.

El aerogenerador seleccionado fue el modelo WES TULIPO 5 de 2,5 kW, con una torre de 15 m y se utilizó un inversor de 14 kW con un costo de \$ 8 400,00. Su característica de potencia vs velocidad del viento se muestra en la figura 5.

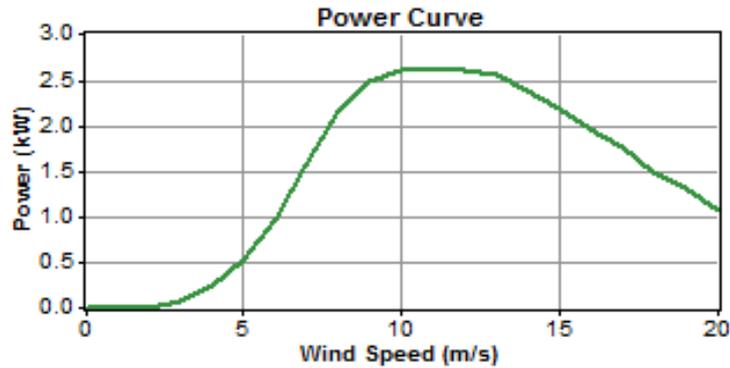


Fig. 5. Característica P-v del aerogenerador seleccionado.

El sistema fotovoltaico considerado fue de 16,56 kWp [6], con una inclinación de 23° [7], para la instalación, sin seguimiento solar y para su diseño se utilizó el software PVSYST v5.2 (Ver parámetros de diseño en la fig.6).

**Global System configuration**

Number of kinds of sub-fields: 1

**Global system summary**

Nb. of modules	68	Nominal PV Power	16.3 kWp
Module area	113 m²	Maximum PV Power	15.7 kWdc
Nb. of inverters	1	Nominal AC Power	14.3 kWac

**Homogeneous System**

**Presizing Help**

Enter planned power: 16.6 kWp. ... or available area: 115 m²

**Select the PV module**

Sort modules: Power (selected), Technology, Manufacturer

240 Wp 26V Si-mono SW 230 M (240W) Sunworx Photon Maq. 20C

Approx. needed modules: 69 Sizing voltages: Vmpp (60°C) 25.6 V, Voc (-10°C) 42.4 V

**Select the inverter**

Sort inverters by: Power (selected), Voltage (max), Manufacturer

14 kW 315 - 630 V 50/60 Hz SUNWAY TG 19 - 600V Santerno

Nb. of inverters: 1 Operating Voltage: 315-630 V Global Inverter's power: 14.3 kWac

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Mod. in series: 17 (should be between 13 and 17)

Nbre strings: 4 (only possibility 4)

Overload loss: 0.0% Pnom ratio: 1.14

**Operating conditions**

Plane irradiance: 1000 W/m² (Max. in data, STC selected)

Vmpp (60°C): 435 V, Vmpp (20°C): 545 V, Voc (-10°C): 721 V

Imp (STC): 30.8 A, Isc (STC): 33.3 A, Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 14.3 kW

Isc (at STC): 32.9 A **Array nom. Power (STC): 16.3 kWp**

**Global Summary:** Nb. modules: 68, Area: 113 m²

Buttons: User's needs, Detailed losses, Cancel, OK

Fig. 6.

Parámetros de diseño de la instalación fotovoltaica.

## RESULTADOS

Utilizando el software HOMER [8-10], se simuló el comportamiento del sistema y en la figura 7, se muestra como ejemplo el comportamiento de la demanda o carga, así como la potencia entregada por el sistema FV y el eólico para un día determinado (22 de enero).

En la figura 8, se muestra para el mismo día, la potencia entregada y recibida de la red eléctrica.

El kWp FV se evaluó en \$ 1 900.

Cada aerogenerador tiene un costo de \$ 5 000.

El proyecto se analizó para un tiempo de vida de 25 años y una tasa de interés bancario del 6 % [11]. La conexión a la red se realizó con una tarifa de venta de 0,20 \$/kWh y un precio de compra de 0,24 \$/kWh.

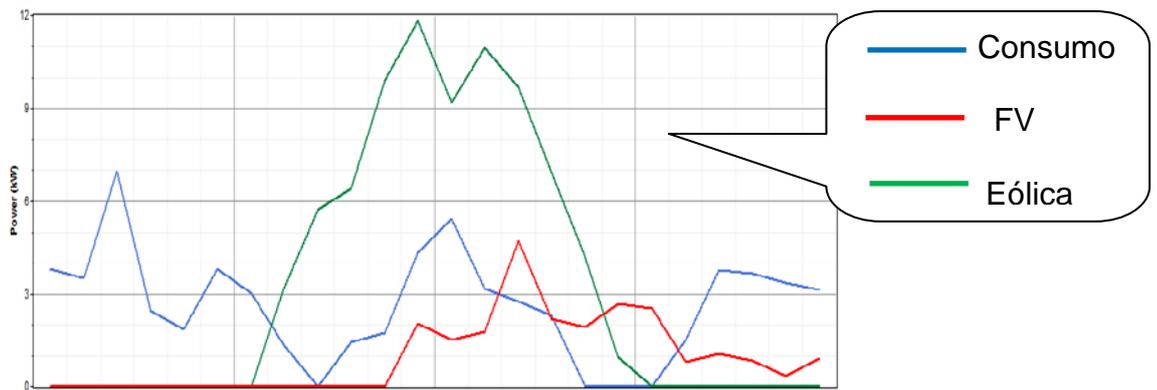


Fig. 7. Distribución de la demanda, la potencia fotovoltaica y la potencia eólica en un día.

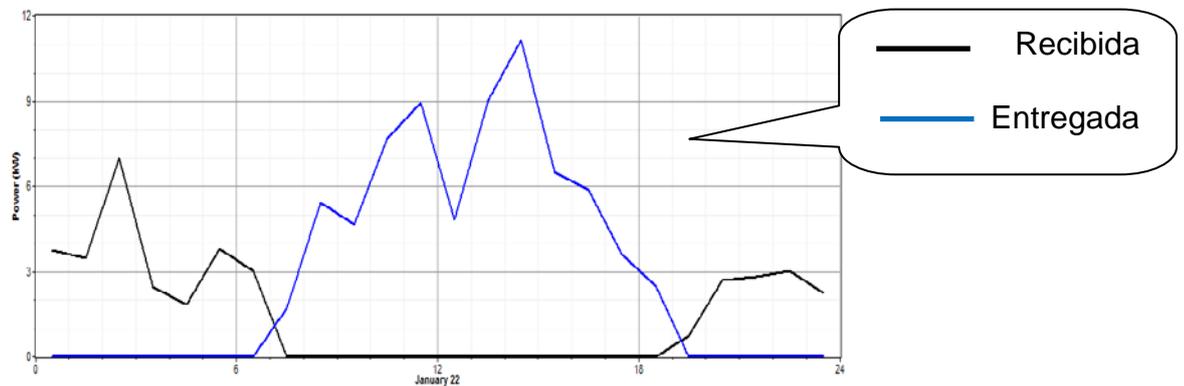


Fig.8. Distribución de la potencia entregada y recibida del mismo día.

El sistema energético diseñado posee un balance de energía según se muestra en la figura 9 y en la tabla 1.

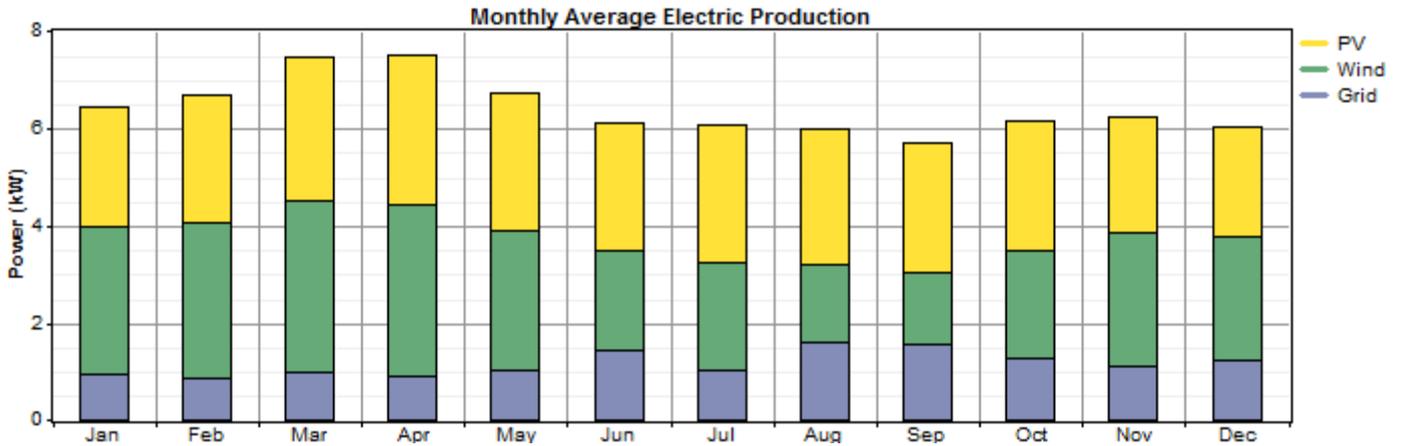


Fig. 9. Distribución mensual de la generación eléctrica.

GENERACIÓN			CONSUMO		
	kWh/año	%		kWh/año	%
Fotovoltaica	23 400	42	Carga AC Primaria	31 100	56
Eólica	22 600	40	Venta a la red	24 000	44
Compra a la red	10 200	18	Total	55 000	100
Total	56 200	100			

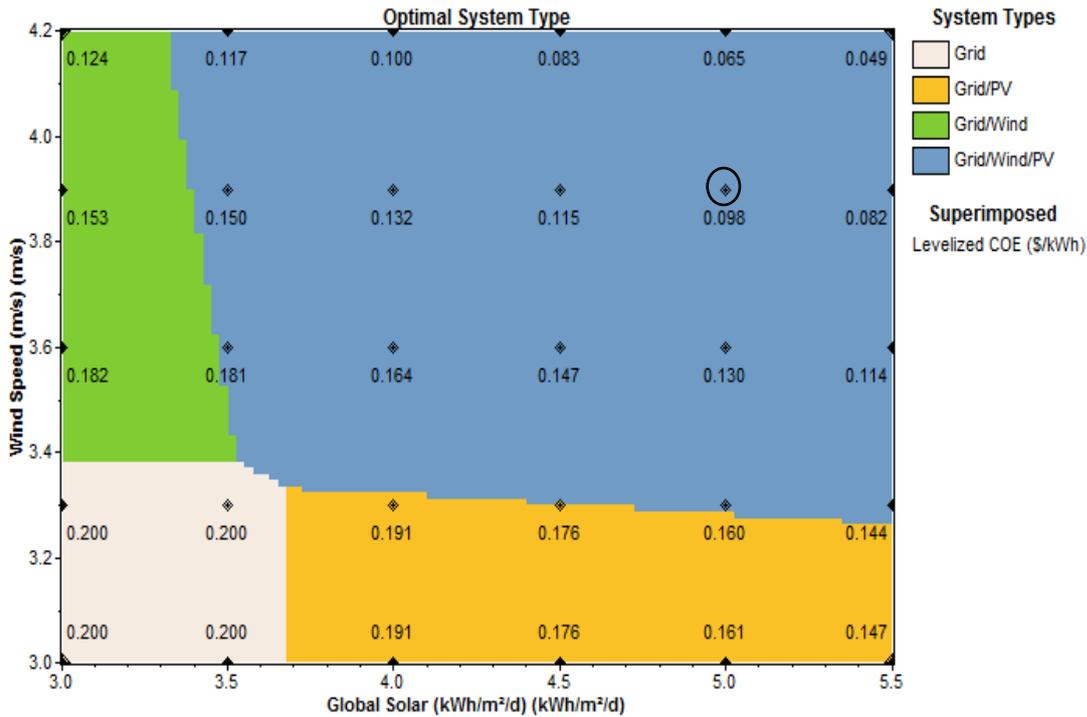
En la tabla 1, se puede apreciar que se requiere de 10 200 kWh/año desde la red, por otra parte, a la red se le suministran 24 000 kWh/año y este balance favorece que el sistema tenga un tiempo de retorno de la inversión de 7,25 años

También se observa que entre la eólica y la fotovoltaica se entregan 46 000 kWh/año a la demanda del sistema, lo que representa un aporte del 82 % con un ahorro de 11 040,00 \$/año y dejando de emitirse 44,1 ton de gases contaminantes al año.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La región para la estructura (red + eólica) se muestra en color verde y es recomendable para velocidades del viento mayores de 3,1 m/s, aunque con valores de irradiación solar mayores de 3,5 kWh/m<sup>2</sup> día, aunque con alguna mayor precisión este valor también depende de la velocidad del viento, como se muestra en la línea que separa la región verde de la azul. En esta línea se puede observar que en la medida en que la velocidad del viento sea mayor, se requiere de una irradiación menor, lo que compensa la participación conjunta de las fuentes renovables.

Las otras dos regiones se muestran de forma similar. La región de color azul (red + eólica + FV) no cubre todos los rangos de los potenciales analizados para las FER, pues solo dentro de la región mencionada es que el sistema integrado es recomendable. Dentro de la figura 10, se encuentran los valores del kWh generado, los que disminuyen en la medida en que ambas fuentes renovables incrementan sus potencialidades.



**Fig.10. Distribución de las estructuras energéticas en función de la irradiación solar y la velocidad del viento. En diversos puntos se señala el costo de la energía equivalente (\$/kWh).**

En la figura 10, se muestra de forma gráfica el resultado esperado. La estructura energética de suministro solo con la red eléctrica (color blanco) es preferible para bajos valores de radiación solar ( $G < 3,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$ ) con baja velocidad del viento ( $v < 3,4 \text{ m/s}$ ). En esa región se muestra el valor del kWh con \$ 0,20 tal como se había prefijado. Además, se muestra en dicha figura, con un círculo, el punto de operación del sistema en sus condiciones promedio anuales, donde se aprecia como recomendable el uso del sistema integrado (red + eólica + FV).

Aunque estos resultados cualitativamente eran esperados, los valores numéricos de las condiciones que enmarcan la recomendación para una estructura u otra, resultan de utilidad en la toma de decisiones y pueden obtenerse a partir de un procedimiento relativamente simple y con una representación gráfica de fácil comprensión.

### Impactos a nivel comunitario.

Los resultados presentados en el presente reporte corroboran, que la demanda de electricidad en la instalación estudiada puede ser cubierta con el aprovechamiento del potencial solar y de viento, pudiendo entregarse a la red un excedente, con un ahorro anual estimado de 46 MWh/año no generado con combustible fósil, que equivale a reducir los gastos por este concepto en 11 040,00 \$/año, dejando de emitir a la atmósfera 44,1 ton de gases contaminantes al año.

### CONCLUSIONES

Partiendo de las conocidas ventajas del uso de sistemas integrados de energías, en el presente reporte se muestra un procedimiento para obtener cuales condiciones de los potenciales de las fuentes renovables disponibles en una instalación, son las recomendadas para decidir por alguna de las posibles alternativas de sistemas energéticos a utilizar. Se consideró el Valor Presente Neto de la inversión con valor mínimo para cada alternativa energética, como condición de selección. Se destaca la forma gráfica de la respuesta encontrada, lo cual hace más simple su comprensión, gracias a las facilidades de las herramientas de cálculo utilizadas,

Se señala la posibilidad de obtener un excedente energético que apoya el balance económico de la alternativa seleccionada, con sus ventajas ecológicas o de bajo impacto ambiental, como dirección sostenible a seguir.

## REFERENCIAS

- [1] CABRERA, I., “Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red”. *Revista ENERGÍA Y TÚ*, 2005, n.31, [Consulta 5 de Noviembre de 2012], ISSN 1028-9925, Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/revista31.htm>.
- [2] HERNÁNDEZ L., “Sistemas fotovoltaicos: ¿Autónomos o conectados a la red?” *Revista ENERGÍA Y TÚ*, 2007, n.38, [Consulta 5 de Noviembre de 2012], ISSN 1028-9925, Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/revista38.htm>.
- [3] MONTGOMERY, J., “Solar PV equipment replacements to ramp from 2013-2016”. *Renewable Energy World*, February 15, 2012, [Consulta 16 de Noviembre del 2012], Disponible en <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/02/solar-pv-equipment-replacements-to-ramp-from-2013-2016>.
- [4] GANG L.; *et al.*, “Techno-economic simulation and optimization of residential grid-connected PV system for the Queensland climate”. *Renewable Energy*, September 2012, vol.45, p. 146-155, [Consulta 6 de Diciembre de 2012], Disponible en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- [5] IGLESIAS J.; MORALES J. “Dimensionado de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética” *Revista Energética*, Enero- Abril 2013, vol.34, n.1, p.55 - 65, ISSN 1815-5901.
- [6] VICK, B.; NEAL, B., “Analysis of off-grid hybrid wind turbine/solar PV water pumping systems”. *Solar Energy*, May 2012, vol.86, n.5, p. 1197-1207, [Consulta 6 de Diciembre de 2012], Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- [7] DEL MORAL, C; SARMIENTO, A., “Influencia de la orientación de los colectores solares en la captación de energía”. *Revista ECOSOLAR*, 2006, n.16, [Consulta 20 de Junio de 2012], ISSN 1028-6004, Disponible en <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/revista16.htm>.
- [8] “Micropower System Modelling with HOMER”.2012, [Consulta 5 de Septiembre de 2012] Disponible en <https://analysis.nrel.gov/homer/>.
- [9] JUHARI A.R.; *et al*, “Optimization of PV-Wind-Diesel Hybrid System by Minimizing Excess Capacity” *European Journal of Scientific Research*, 2009, vol.25, n.4, [Consulta 15 de Febrero de 2012], Disponible en : [www.eurojournals.com/ejsr.htm](http://www.eurojournals.com/ejsr.htm).
- [10] PANAYIOTOU, G.; KALOGIROU, S., “Design and simulation of a PV and a PV–Wind standalone energy system to power a household application”. *Renewable Energy*, January 2012, vol.37, n.1, p. 355-363, [Consulta 6 de Diciembre de 2012], Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- [11] SHAN, N.; CHEE, W., “Assessment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, January 2012, vol.16, n.1, p. 634-647, [Consulta 6 de Diciembre de 2012], ISSN 1364-0321, Disponible en: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

## AUTORES

### **Antonio Sarmiento Sera**

Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Cujae, La Habana, Cuba.  
e-mail: [sarmiento@ceter.cujae.edu.cu](mailto:sarmiento@ceter.cujae.edu.cu)

### **María Rodríguez Gámez**

Licenciada en Educación en la especialidad de Física, Doctora en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Cujae, La Habana, Cuba.  
e-mail: [maria@electrica.cujae.edu.cu](mailto:maria@electrica.cujae.edu.cu)

### **Orestes Castillo Castillo**

Ingeniero Electrónico, Especialista Energético, Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos (ECASA), La Habana, Cuba.  
e-mail: [castillo@ecasa.avianet.cu](mailto:castillo@ecasa.avianet.cu)

### **Antonio Vázquez Pérez**

Licenciado en Derecho, Profesor Principal, Departamento de Preparación para la Defensa, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Cujae, La Habana, Cuba.  
e-mail: [antoniov@testa.cujae.edu.cu](mailto:antoniov@testa.cujae.edu.cu)