



## TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

### Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red

#### *Feasibility of installation of connected photovoltaic systems to grid*

Carlos M. –Giraudy Arafet  
Ivan - Massipe Cano  
Raciel - Rodríguez Rivera

María - Rodríguez Gámez  
Antonio - Vázquez Pérez

**Recibido:** marzo de 2013

**Aprobado:** diciembre de 2013

#### **Resumen/ Abstract**

Se muestra la posibilidad de implementar sistemas fotovoltaicos conectados a red en las áreas próximas a las centrales eléctricas para la generación distribuida en la provincia Santiago de Cuba, introducir alternativas de generación de energía, aprovechando los sistemas de transformación, distribución y subestaciones existentes, proponiendo una nueva visión con la explotación de la energía renovable, como alternativa viable de desarrollo sustentable. Se hace un análisis desde el punto de vista del ordenamiento territorial, de la capacidad que pudiera instalarse, así como las ventajas que traería el montaje de los sistemas renovables conectados a red. Los estudios se realizan a partir de la radiación solar que incide en las áreas próximas a la central eléctrica (CE) de San Luis, aportando los criterios sobre la cantidad de energía que se podría generar y la reducción de los gastos asociados al combustible fósil y los impactos ambientales.

**Palabras clave:** ahorro de combustible, energía renovable, generación distribuida, sistemas conectados a red.

*The possibility is shown of implementing connected photovoltaic systems to net in the next areas to the electric power stations for the generation distributed in the county Santiago from Cuba, to introduce alternative of energy generation, taking advantage of the transformation, distribution and existent substations systems, proposing a new vision with the exploitation of the renewable energy, as viable alternative of sustainable development.*

*An analysis is made from the point of view of the territorial ordination, of the capacity that could settle, as well as the advantages it would bring the assembly from the connected renewable systems to grid. The studies are carried out starting from the solar radiation that impacts in the next areas to San Luis power station, contributing the approaches on the quantity of energy that you could generate and the reduction of the expenses associated the fossil fuel and the environmental impacts.*

**Key Word:** *save of fuel, renewable energy, distributed generation, connected systems to grid.*

#### INTRODUCCIÓN

El costo de los combustibles fósiles cada día va variando, debido a su agotamiento y por los conflictos existentes en las zonas petroleras, la explotación de estos hace que la contaminación aumente peligrando los ecosistemas. La producción de energía a base de los sistemas

tradicionales se debate en un constante reto de sostenibilidad económica y medioambiental, el incremento del precio de los combustibles fósiles y los gastos asociados a la reducción de impactos, hacen que la producción de energía se convierta en un elemento determinante para el sostén del territorio, en función de garantizar la satisfacción de la demanda eléctrica en las tareas del desarrollo económico y social.

España es en la actualidad uno de los primeros productores mundiales de energía fotovoltaica con una potencia instalada estimada de 3.200 MW, por detrás de Alemania que cuenta con unos 3.850 MW. Tan solo en 2008 la potencia instalada en España ha sido de unos 2.500 MW [1].

Alemania es en la actualidad el segundo fabricante mundial de paneles solares fotovoltaicos tras Japón, con cerca de 5 millones de metros cuadrados de paneles solares, aunque sólo representan el 0,03% de su producción energética total. La venta de paneles fotovoltaicos ha crecido en el mundo al ritmo anual del 20% en la década de los noventa. En la Unión Europea el crecimiento medio anual es del 30%.

El crecimiento de las instalaciones solares fotovoltaicas estuvo limitado por la falta de materia prima en el mercado (silicio de calidad solar). A partir de la segunda mitad de 2008 el precio del silicio de grado solar comenzó a disminuir al aumentar su oferta debido a la entrada en escena de nuevos productores. La inyección en red de la energía solar fotovoltaica, estaba regulada por el Gobierno Español mediante el RD 661/2007 con el 575 % del valor del kilovatio-hora normal, lo que se correspondía con unos 0,44 euros por cada kWh que se inyectaba en red. A partir del 30 de septiembre de 2008 esta actividad está regulada mediante el RD 1578/2008 de retribución fotovoltaica que establece unas primas variables en función de la ubicación de la instalación (suelo: 0,32 €/kWh o tejado: 0,34 €/kWh), estando sujetas además a un cupo máximo de potencia anual instalada a partir de 2009 que se adaptará año a año en función del comportamiento del mercado [2].

Actualmente el acceso a la red eléctrica en España requiere una serie de permisos de la administración y la autorización de la compañía eléctrica distribuidora de la zona. Esta tiene la obligación de dar punto de enganche o conexión a la red eléctrica, pero en la práctica el papeleo y la reticencia de las eléctricas están frenando el impulso de las energías renovables. Las eléctricas buscan motivos técnicos como la saturación de la red para controlar sus intereses en otras fuentes energéticas y con la intención de bloquear la iniciativa de los pequeños productores de energía solar fotovoltaica [3].

Esta situación provoca una grave contradicción entre los objetivos de la Unión Europea para impulsar las energías limpias y la realidad de una escasa liberalización en España del sector energético, que impide el despegue y la libre competitividad de las energías renovables.

El objetivo de este artículo es dar a conocer y argumentar las ventajas que podría tener la implementación de esta tecnología fotovoltaica para la sostenibilidad de la energía y la economía, teniendo en cuenta que lo más importante de la introducción de una central fotovoltaica conectada a la red, que sin dudas es la generación de electricidad libre de agentes altamente contaminantes al medio ambiente, puede ser una experiencia para su introducción que las áreas próximas a la CE donde hay condiciones estudiadas de potencial solar y suelos disponibles que pueden ser aprovechados para estos usos, además del aprovechamiento de las instalaciones de transformación y traspotación ya existente en la CE [4].

El sistema de generación de energía eléctrica, depende mayormente del combustible fuel oil, Diesel y en menor escala de minihidroeléctricas aisladas del Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Dentro de la generación con combustible fósil están las CE de grupos de generación para casos de emergencia [5].

Existe una termoeléctrica que el suministro de combustible es de manera directa, al encontrarse próxima a una refinería, mientras que a las CE distribuidas se realiza mediante camiones cisternas, incrementando aún más los gastos en la etapa de explotación de la central.

La investigación propone, alcanzar un adecuado equilibrio entre los componentes de la matriz energética de la provincia, con las posibilidades económicas y de recursos renovables del territorio

mediante la aplicación de alternativas que garanticen a su vez, la satisfacción de la demanda energética que sea compatible con los la existencia del recursos, su sostenibilidad y que aseguren la sustentabilidad en las zonas donde se apliquen.

En la provincia y en especial el municipio estudiado, existen potencialidades de recursos renovables que pueden ser utilizados en función de la producción de energía eléctrica. El potencial solar que incide en el territorio constituye una atractiva propuesta para la materialización de proyectos inversionistas basados en sistemas fotovoltaicos conectados a red, que pudieran traducirse como una alternativa viable de producción energética, ahorro de recursos económicos y reducción de impactos medioambientales.

En el estudio se hizo un análisis de los parámetros que hoy afectan los altos consumos de combustibles en varias etapas. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se realizó una propuesta de instalar una central fotovoltaica que pueda servir de partida en el proceso de la introducción de otras fuentes generadoras de energía en la matriz energética de la provincia y teniendo en cuenta estudios realizados en otros territorios [6].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), para gestionar el ordenamiento del territorio donde se encuentra ubicada la central, los SIG son herramientas que ayudan en la administración de recursos, planificación del territorio, transporte, energía, entre otras, constituyendo un elemento necesario para el desarrollo local, además de servir de soporte en la toma de decisiones basado en información especializada, para dar solución a problemas complejos [7].

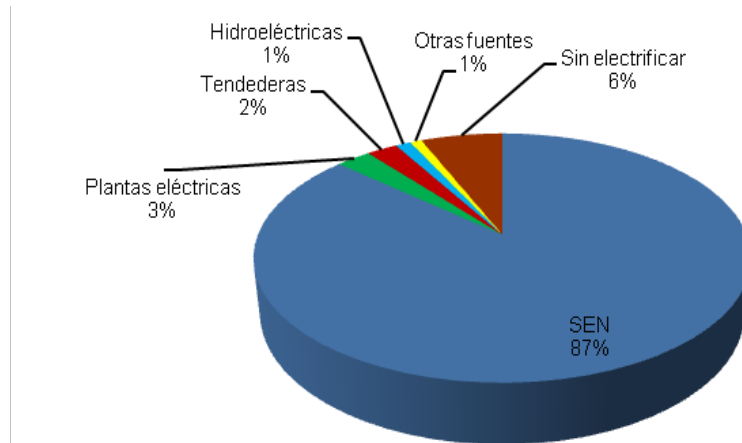
Para realizar el estudio completo de la introducción de la generación de energía con energía solar se analizó el comportamiento de las normas, regulaciones y otras disposiciones que inciden en el proceso inversionistas fundamentalmente en los que están vinculados a la energía convencional, además de utilizar información de lo que está ocurriendo en el CE experimentada. En la tabla 1, se pueden observar los consumos de materiales de servicio, como se observa los costos en combustibles son considerablemente altos, el costo de operación es de 65.56 \$/MW-h, cifra que podría disminuir en sistemas que no utilicen los combustibles fósiles para su generación.

| <b>Tabla 1. Consumo de las materias de servicios de la central eléctrica en estudio.</b> |                |
|--|----------------|
| Indicadores  | Consumo (L)    |
| Fuel oil.  | 18.015.55      |
| Diesel.  | 629.471        |
| Lubricante.  | 103.027        |
| Costo de Operación.  | 65.56 \$/MW-h. |

El costo del combustible Diesel es elevado, además que ser transportado al lugar encarece el costo de funcionamiento, su utilización es fundamentalmente para los arranques y paradas de los motores, aportando también potencia a la red.

Los impactos ambientales asociados a la generación se han considerados, teniendo en cuenta la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que se vierten a la atmósfera y de residual que se vierte al suelo, a pesar de que controlan, son de considerar.

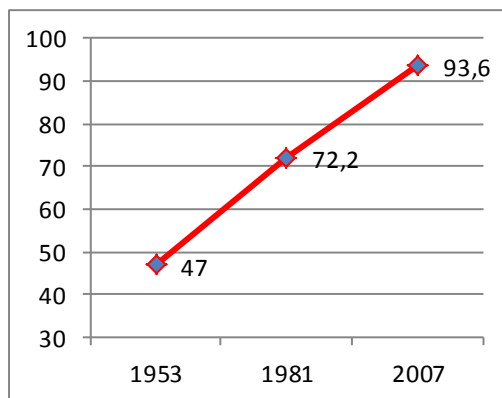
El comportamiento de la electrificación del territorio estudiado es del 93,6 % de viviendas y 6.4 % sin electrificar, aún no se ha alcanzado la media nacional, por tener el 66% de su territorio está localizado en zonas montañosas. Debido a sus características topográficas se han implantado varias fuentes de electrificación según el informe anual del 2008 de la Oficina Nacional de Estadística la electrificación en Santiago de Cuba, mostrado en la figura 1.



**Fig. 1. Fuentes de electrificación en la provincia en estudio.**

Como se observa el mayor porcentaje de electrificación se abastece con el SEN, siendo necesario aumentar las formas de generación con alternativas energéticas que no tengan que consumir combustibles fósiles y disminuir los impactos económicos y medioambientales asociados como es introducir tecnologías que aprovechan los recursos naturales el caso de las centrales fotovoltaicas conectadas a red.

El esfuerzo realizado para mejorar los índices de electrificación y por consiguiente la mejora de la calidad de vida en la satisfacción creciente de la demanda se puede observar el gráfico de la figura 2, donde se ha mantenido en ascenso del proceso de electrificación en el transcurso de los años, pero la mayor parte de esta generación sigue siendo a base de combustibles fósiles. Esto muestra la necesidad de ir pensando en introducir nuevas fuentes generadoras en la matriz energética territorial.

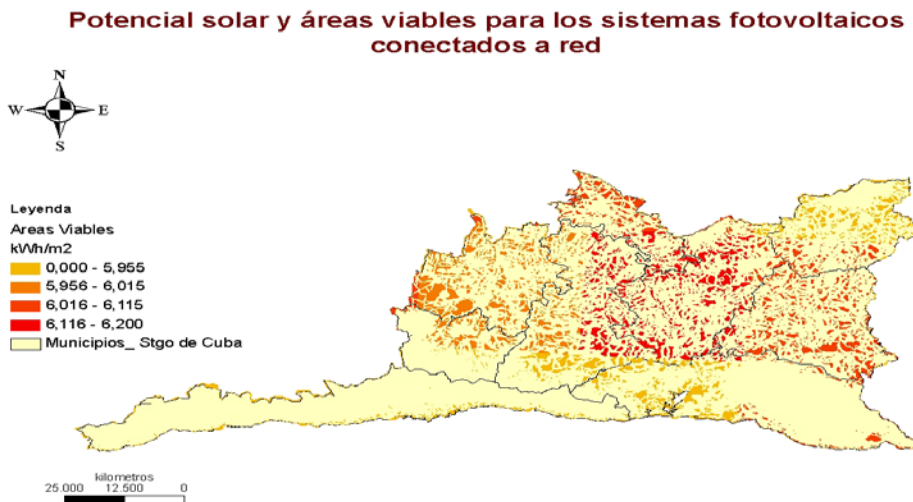


**Fig. 2. Crecimiento de la electrificación en el territorio.**

## RESULTADOS

A partir de los datos que describen los objetos del mundo real próximos a la CE y su ubicación geográfica relacionados con las características topológicas y climatológicas que inciden en la comprensión de su naturaleza y el comportamiento de la información unida a las técnicas administrativas de la ordenación del territorio se estudiaron las zonas con condiciones de potencial solar y suelo adecuados llamadas (zonas viables), que están en condiciones para acometer inversiones de una central fotovoltaica conectada a red en las proximidades del CE de forma modulares.

Las áreas se calcularon con el SIG, pudiéndose determinar los espacios en el territorio que presentan condiciones de viabilidad para la implementación de los sistemas renovables de energía de energía, existiendo un total de 1140.09 km<sup>2</sup> para el 18,5 % del territorio total de la provincia. En la figura 3, se pueden observar las áreas del territorio de la provincia que corresponden a zonas viables para la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados a red.



**Fig. 3. Áreas viables para la implementación de los sistemas fotovoltaicos conectados a red.**

Se seleccionó el municipio donde está situada la CE y se utilizando los mismos procedimientos metodológicos para determinar el comportamiento del potencial solar y las áreas viables para la implementación de los sistemas fotovoltaicos conectados a red. Se determinó que el área del potencial solar estudiada es de 765.68 km<sup>2</sup>, en ella influyen valores de radiación comprendidos entre 5,9 y 6,2 KWh/m<sup>2</sup>/día, demostrándose que este municipio recibe niveles adecuados de radiación solar, por lo que resulta interesante el estudio sobre la introducción de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

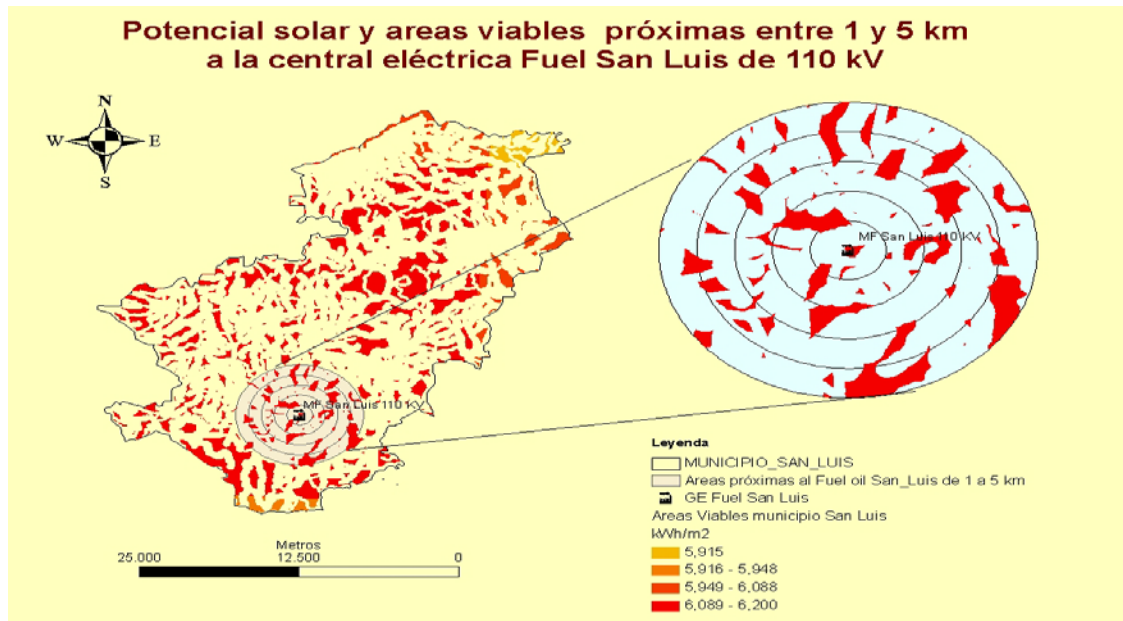
## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los estudios realizados del potencial solar en el municipio, se determinaron las áreas viables donde se podrían instalar los sistemas fotovoltaicos para su conexión a red próxima a la CE, se seleccionaron diferentes distancia alrededor de la central desde uno a cinco kilómetros, demostrando que existen espacios con condiciones de potencial solar para la instalación de la central fotovoltaica. Como se puede ver en la figura 4, en el mapa del municipio están reflejadas las áreas viables al ampliar estas en las áreas próximas a la CE, se observa que existen espacios con condiciones para introducir la tecnología fotovoltaica.

El cálculo sobre el espacio territorial que presentan condiciones de viabilidad para la implementación de los sistemas fotovoltaicos, se extiende a un total de 166,43 km<sup>2</sup>, para el 21,7 % del territorio total del municipio, se apreciar además las áreas viables próximos a la subestación.

Para la implantación de estos sistemas, es necesario dentro de la inversión, el montaje de una subestación con el fin de aportar al SEN la energía generada por los módulos fotovoltaicos, al contar con una subestación de transformación no es necesario construirla disminuyendo los costos por este objetivo.

Con la propuesta de la introducción de esta tecnología se pretende liberar generación de energía eléctrica con combustibles convencionales.



**Fig. 4. Viabilidad del territorio del municipio San Luis para la implementación de los sistemas fotovoltaicos conectados a red.**

Uno de los inconvenientes de usar las subestaciones es la lejanía de la generación de electricidad a la distribución de esta, por lo que se determinaron las áreas viables en la cercanía de la subestación de San Luis hasta 5 km. En la tabla 2, se pueden apreciar los datos sobre el comportamiento del potencial solar en las áreas viables próximas a la Subestación San Luis teniendo en cuenta que la radiación solar incidente promedio es de 6.2 kW-h/m<sup>2</sup> /día y considerando que el día de radiación solar es de 5 horas [8], se determinó que la potencia que incide sobre los módulos es de 1.24 kW-h/m<sup>2</sup>. Se nuestra además la cantidad de energía que se puede generar en las áreas viables próximas hasta 5 km de la subestación, demostrando esto que se puede generar energía teniendo en cuenta el potencial solar y las áreas disponibles sin utilizar combustibles fósiles, sin contaminar el medioambiente y siendo sostenibles, pues el sol irradia energía todos los días. Nuestro país es una isla situada en el Caribe, por lo que abunda la nubosidad [6]. Normalmente se considera solo el 80 % de la energía incidente. Los módulos fotovoltaicos aprovechan solo alrededor del 10 % de la energía incidente.

**Tabla 2. Comportamiento del potencial solar y la factibilidad territorial para las inversiones en sistemas fotovoltaicos conectados a la red a diferentes distancias.**

| Distancias   | Áreas Viables (Km <sup>2</sup> ) | Total energía incidente (MW-h/día) | Total energía incidente (MW-h) |
|--------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Total</b> | <b>15,03</b>                     | <b>93,17</b>                       | <b>18,634</b>                  |
| 1 KM         | 3,7                              | 22,94                              | 4,588                          |
| 2 KM         | 1,49                             | 9,23                               | 1,846                          |
| 3 KM         | 1,86                             | 11,53                              | 2,306                          |
| 4 KM         | 3,35                             | 20,74                              | 4,148                          |
| 5 KM         | 4,63                             | 28,71                              | 5,742                          |

Después de haber tenido en cuenta los anteriores criterios, se confeccionó la tabla 3. Donde se calculó la energía incidente afectada por la nubosidad y la energía aprovechada por los módulos.

| <b>Tabla 3. Comportamiento del potencial solar y la factibilidad territorial teniendo en cuenta las pérdidas por nubosidades y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos conectados.</b> |                                       |   |  |
|---|---------------------------------------|---|--|
| <b>Distancias</b>   | <b>Áreas Viables (Km<sup>2</sup>)</b> | <b>Energía afectada por nubosidad. (MW-h)</b> | <b>Energía aprovechada por los módulos. (kW-h)</b> |
| <b>Total</b>  | <b>15,03</b>                          | 14,9072                                       | 1.490,7  |
| 1 KM  | <b>3,70</b>                           | 3,6704  | 367,0  |
| 2 KM  | 1,49                                  | 1,4768  | 147,7  |
| 3 KM  | 1,86                                  | 1,8448  | 184,5  |
| 4 KM  | <b>3,35</b>                           | 3,3184  | 331,8  |
| 5 KM  | <b>4,63</b>                           | 4,5936  | 459,4  |

Con la Implantación de los sistemas conectados a red sólo a 5 km de distancia de la subestación, se liberan 1.490,7 kW-h de potencia generada con combustibles fósiles, pues el costo de operación de la tecnología fotovoltaica es cero. En la tabla 4, se muestra una comparación de ambas tecnologías del ahorro que representa una con respecto a la otra.

| <b>Tabla 4. Comparación de los costos de operación para un año de explotación de ambas tecnologías. Basados en 5 horas diarias de radiación solar y 5 días de sombra promedio.</b> |                |                        |               |
|--|----------------|------------------------|---------------|
| <b>Energía</b>   | <b>\$/MW-h</b> | <b>\$/MW-día solar</b> | <b>\$/año</b> |
| <b>Fuel Oil</b>  | 65,56          | 327,80                 | 118.008,00    |
| <b>Solar</b>   | 0,00           | 0,00                   | 0,00          |

El tiempo promedio de vida de un módulo fotovoltaico es de 30 años, en ese tiempo la provincia deja de gastar \$3.540.240,00 generando la misma capacidad de potencia. En este valor no se encuentran los costos de mantenimientos, piezas de repuesto y la reducción de impactos medioambientales provocados por la tecnología convencional y que algunos de ellos se manifiestan como externalidades.

## CONCLUSIONES

Es económicamente viable introducir nuevas alternativas de generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos conectados a red en las proximidades de la CE de San Luis, en la provincia de Santiago de Cuba. Las inversiones se pueden abaratar aprovechando los sistemas de transformación y distribución de la subestación existentes, proponiendo una nueva visión con la explotación de la energía renovable, como alternativa viable de desarrollo energético de la provincia Santiago de Cuba. En el trabajo se desarrolló un ordenamiento del territorio que permitió calcular las áreas viables y la energía total incidente en (MW-h) que se pudiera generar.

## REFERENCIAS

[1]. IDAE, "Solar Fotovoltaica". [en línea], [consulta: 2011], Disponible en: <http://www.renovablesmadeinspain.com/tecnologia/pagid/17/titulo/Solar%20Fotovoltaica/>.

- [2]. EPIA, "Solar Electricity in 2010, Building on a Decade on Industrial and Political Commitment". 2003, [consulta: junio 2009], Disponible en: [http://www.epia.org/documents/Solar\\_Electricity\\_2010.pdf](http://www.epia.org/documents/Solar_Electricity_2010.pdf).
- [3]. García, J.O.; *et al.*, "The use of solar energy in the buildings construction sector in Spain". *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2007, vol.11, p. 2166-2178, ISSN 1364-0321.
- [4]. Rodríguez Gámez, M.; *et al.*, "Ordenamiento territorial de los sistemas de energías renovables a partir de los análisis de la radiación solar en Cuba". *Revista Ecosolar*, 2011, [consulta: noviembre 2011], Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar35/Ecosolar35.html>, ISSN 1028-6004.
- [5]. Rodríguez, M., "Aplicación de los Sistemas de información geográfica en el ordenamiento territorial y la planeación de las fuentes renovables de energía en el municipio de Guamá (Cuba)". *Informes Técnicos CIEMAT*. España: Editorial CIEMAT, 2009, ISSN 1135-9420.
- [6]. Rodríguez, M., *et al.*, "Sistemas fotovoltaicos y la ordenación territorial". *Ingeniería Energética*, 2013, vol.34, n.3, p. 247-259, Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/viewFile/378/380>, ISSN 1815-5901.
- [7]. GARCIA-ABAD, A., "Una aproximación a la cartografía dinámica de la ocupación del suelo: Ensayo en el Área de Mondéjar (Guadalajara)", *Revista Estudios Geográficos*, Madrid, octubre-diciembre 1991, vol.52, n.205, p. 625-652, e-ISSN 1988-8546.
- [8]. NASA. "Surfacemeteorology and Solar Energy: Global Data Sets NASA". 2008, [consulta: abril 2010], Disponible en: <http://swera.unep.net>.

## AUTORES

### **Carlos Manuel Giraudy Arafet**

Ingeniero Eléctrico, Técnico principal de mantenimiento y operaciones, Generación y Fuentes Renovables de Energías, Santiago de Cuba.  
e-mail: [carlos@elecstg.une.cu](mailto:carlos@elecstg.une.cu)

### **Ivan Massipe Cano**

Ingeniero Eléctrico, Técnico en mantenimiento y operaciones.UEB Generación y Fuentes Renovables de Energías, Stgo de Cuba.  
e-mail: [massipe@elecstg.une.cu](mailto:massipe@elecstg.une.cu)

### **Raciel Rodríguez Rivera**

Ingeniero Eléctrico, Técnico en mantenimiento y operaciones.UEB Generación y Fuentes Renovables de Energías, Santiago de Cuba.  
e-mail: [raciel@elecstg.une.cu](mailto:raciel@elecstg.une.cu)

### **María Rodríguez Gámez**

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

### **Antonio Vázquez Pérez**

Licenciado en Derecho, Profesor Principal, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergética, CIPEL. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.  
e-mail: [antoniov@tesla.cujae.edu.cu](mailto:antoniov@tesla.cujae.edu.cu)