

# Modelo para diseñar y simular sistemas renovables de energía para calentar agua a dos niveles de temperatura

## Model to design and simulate renewables energy systems to hot water to two temperature level

Joel Morales-Salas<sup>I</sup>, Conrado Moreno-Figueroa<sup>I</sup>, Johannes Mario-Pfann<sup>II</sup>

I. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables. La Habana. Cuba

II. Universidad Tecnológica de Múnich, Facultad de Mecánica. Múnich. Alemania

Correo electrónico: [jmorales@ceter.cujae.edu.cu](mailto:jmorales@ceter.cujae.edu.cu)

Recibido: 6 de enero de 2015

Aceptado: 5 de abril de 2015

### Resumen

Para esta investigación se obtuvo un modelo para el diseño y simulación de sistemas renovables de energía para producir agua caliente para diferentes temperaturas de uso, de bajo nivel de temperatura, hasta 60 °C, y de medio nivel de temperatura, hasta 100 °C, en zonas aisladas de las redes eléctricas. El modelo propuesto lleva a cabo simulaciones de diferentes configuraciones de sistemas de energía para determinar cuál es la más apropiada.

Se obtuvo el diseño final y diferentes simulaciones de dos casos de estudio para una demanda energética, y se analizan los resultados alcanzados.

**Palabras claves:** modelo, diseñar, simular, sistemas renovables de energía, agua caliente.

### Abstract

For the investigation paper was carried out a model for the design and simulation of renewable energy systems to produce hot water for different temperatures of use, of low level, until 60 °C, and medium level, until 100 °C, in isolated zone of electric grid. The proposed model carries out simulations to different configurations of energy system to determine which the most appropriate. The final

design and different simulations of two case studies for energy demand was obtained, and the results achieved are analyzed.

**Key words:** model, design, simulate, renewable energy system, hot water.

### Introducción

El desarrollo de sistemas con fuentes renovables de energía, para el calentamiento de agua a diferentes temperaturas, en los últimos 20 años, ha ido incrementándose, no solo en los países en desarrollo, también en aquellos países subdesarrollados y en vías de desarrollo. El uso del agua a diferentes temperaturas se observa principalmente en las ganaderías y comunidades aisladas [1].

La energía solar térmica ha tenido un desarrollo más rápido, incluso en aquellos países donde la radiación solar no es elevada [2]. El uso de la biomasa para la generación de calor, principalmente la utilización de biodigestores, también ha experimentado un desarrollo, principalmente en los países en vías de desarrollo.

Muchas investigaciones se han realizado en el campo de la utilización de la energía solar y el biogás para el calentamiento, tanto de agua como de aire.

Iglesias y Morales determinaron un método para dimensionar y simular instalaciones térmicas solares, estableciendo los criterios para el análisis del sistema energético y la descripción del método de recuperación diferencial de la inversión, llegando como conclusión a un análisis integral anual donde se define el comportamiento de la instalación solar en el período de explotación [3]. En esta investigación, se limita en la energía solar térmica para el calentamiento de agua.

FA Ghaith y R Abusitta abordan la viabilidad del uso de sistemas integrados para el enfriamiento y calentamiento solar en edificios residenciales, desarrollando un modelo matemático para representar el sistema completamente integrado [4]. En esta investigación solo trabaja con la energía solar como fuente primaria, y descarta las otras fuentes.

G. Lorenzini y otros realizan una fundamentación y explicación en los contenidos que se puede trabajar tanto con la energía solar, como la biomasa [5]. Brindan una pormenorizada explicación de los métodos de diseño tanto para el calentamiento solar, como el calentamiento con la biomasa. En la referencia citada, no se trabaja en el diseño de un sistema integrado entre la energía solar y la biomasa.

Wai Shin Ho realiza un diseño óptimo de un modelo para un sistema biomasa/solar para la producción de electricidad y calor [6]. La producción de calor se centra en la generación de vapor de agua baja presión para en un proceso posterior convertirla en alta presión y generar electricidad.

En [7, 8] realizan un estudio de la utilización de la energía solar térmica para el calentamiento del aire que se introduce dentro de los fermentadores.

Del análisis anterior se aprecia que muchos escenarios de la utilización de la energía solar térmica y el biogás están siendo investigados aún, pero no todos los escenarios han sido estudiados a profundidad. Existe poca información sobre el tema del diseño y simulación de sistemas renovables de energía para la generación de agua caliente de baja y mediana temperatura.

Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo brindar un modelo el cual diseñe y simule sistemas renovables de energía para el calentamiento de agua a baja y mediana temperatura, y brinde las configuraciones de sistemas más adecuados.

La investigación plantea como hipótesis que se obtengan configuraciones que técnicamente den respuestas a las demandas energéticas utilizando solamente la energía solar y el biogás, apoyados en un costo económico bajo.

## Métodos y Materiales

Para una comunidad aislada se considerará una demanda de agua caliente para dos niveles de temperatura: baja temperatura,  $T_{low}$  ( $< 60$  °C), para agua sanitaria, y una de media temperatura,  $T_{med}$  ( $\approx 100$  °C), para la cocción de los alimentos. La parte de baja temperatura será aportada por la energía solar y lo que pueda aportar los biodigestores. Se precalentará el agua que va al nivel medio con los colectores solares. La temperatura del agua fresca deberá ser  $T_{cold}$  (por defecto del modelo  $T_{cold} = 20$  °C). La figura 1 muestra el esquema del proceso como base de los cálculos.

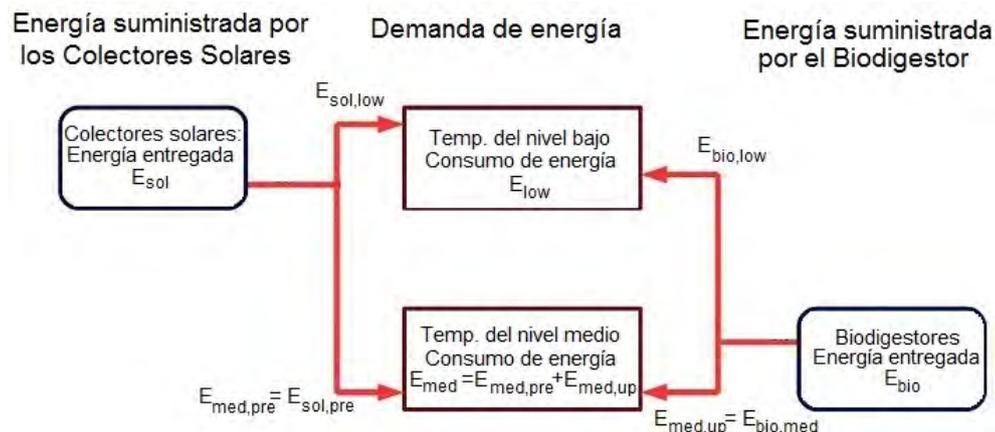


Fig. 1. Información general de las variables y flujo de energía

Las siguientes variables describen las características del sistema: la demanda es la cantidad de energía a nivel medio,  $E_{med}$ , dada por el volumen de agua ( $V_{w, day}$ ), por ejemplo, para un día y una densidad de 1 kg por litro de agua ( $\rho_w$ ), que no es más que la masa de agua para el nivel medio ( $m_{w,med}$ ), la temperatura del agua fresca y la temperatura más alta o media del agua caliente ( $T_{med}$ ), con un coeficiente de calor del agua  $C_p$ . (1)

$$E_{med} = \rho_w V_{w,day} C_p (T_{med} - T_{cold}) \quad (1)$$

En [9] se considera que la máxima temperatura de los colectores solares con una eficiencia aceptable es alrededor de 60 °C, la cantidad de calor al nivel de temperatura media puede ser compartida, en una parte por  $E_{med,pre}$ , (ecuación 2) que podría ser cubierta con los colectores solares para el precalentamiento, y una segunda parte,  $E_{med,up}$ , (ecuación 3) que describe el calentamiento desde la temperatura de 60 °C hasta cerca de 100 °C a través de la quema del biogás.

$$E_{med,pre} = m_{w,med} C_p (T_{low} - T_{cold}) \quad (2)$$

$$E_{med,up} = m_{w,med} C_p (T_{med} - T_{low}) \quad (3)$$

La demanda de energía de nivel de baja temperatura  $E_{low}$  se define en la ecuación 4, que no es más que la masa o volumen de agua  $m_{w, low}$  y la temperatura del agua fresca en el entrada  $T_{cold}$  y temperatura del agua caliente en la salida,  $T_{low}$ . El término 1,15 tiene que ver con las pérdidas de calor al ambiente.

$$E_{low} = 1,15 m_{w,low} C_p (T_{low} - T_{cold}) \quad (4)$$

Otra variable es la energía disponible de biomasa,  $E_{bio}$ . Está definida por la cantidad de energía que se puede aprovechar del biodigestor, en dependencia a la biomasa a utilizar. La energía  $E_{bio}$  se divide por una parte por  $E_{bio,med}$ , por el calentamiento del agua a la temperatura del nivel medio y uno para calentar a

temperatura del nivel bajo,  $E_{bio,low}$ . La energía de los colectores,  $E_{sol}$ , se divide en la energía que va al nivel bajo,  $E_{sol,low}$ , y la energía que va a precalentamiento del nivel medio,  $E_{sol,pre}$ .

Para el montaje de los calentadores solares, hay muchas posibilidades. La primera es que la energía de los biodigestores es suficiente para calentar la cantidad de agua desde la temperatura del agua fría a 20 °C, al nivel medio. En este caso, el resto del biogás puede ser usado para apoyar el calentamiento de los colectores solares. En la figura 1, esto podría significar que  $E_{med,pre} = 0$ . La otra posibilidad es que la energía de la biomasa no sea suficiente para calentar el agua desde 20°C, pero si desde una temperatura de 60 °C, a 100 °C. Por tanto, es necesario precalentar el agua con los colectores solares y llevarlo después a la caldera con una temperatura elevada, cercana a los 60 °C (ver Fig. 2). Puede que ahora se entenderá que la realización de un sistema híbrido ofrece muchas posibilidades, donde cada uno de ellos requiere otro método de cálculo. El modelo ofrece los distintos escenarios en los cuales el sistema renovable puede trabajar. Hay que señalar que como limitante, el modelo su punto de partida será el suministros de los dos niveles con la utilización de la energía proveniente del biogás.

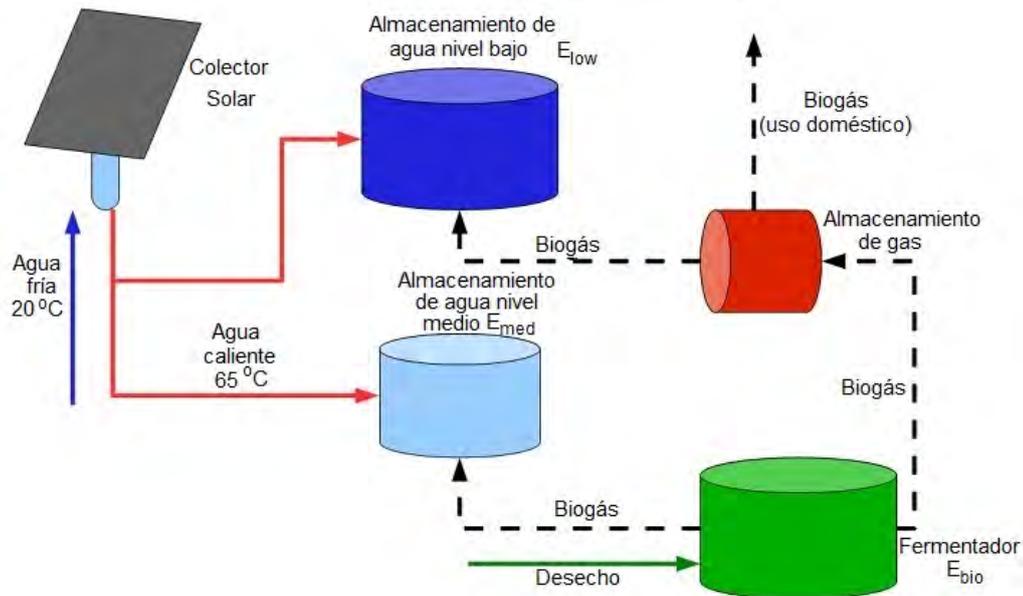


Fig. 2. Mirada general del montaje del Sistema y el esquema de flujo

### Energía a partir de biomasa

La cantidad de energía que se puede transformar en calor en el nivel medio es calculada en la ecuación 5.

$$E_{med,up} = E_{bio,med}^* \eta_{med} \quad (5)$$

Aquí  $\eta_{med}$  es el coeficiente de pérdidas en el nivel medio y  $E_{bio,med}^*$  es la energía entregada por los biodigestores al nivel medio es la energía disponible. La demanda está ahora dividida en la parte de  $E_{med,up}$ , y el resto de la energía que no se utiliza para la calefacción a nivel de temperatura media:  $E_{bio,low}$ , ecuación 6

$$E_{bio,low} = \left( E_{bio} - \frac{E_{med,up}}{\eta_{med}} \right) / \eta_{low} \quad (6)$$

Donde  $\eta_{low}$  son las pérdidas de energía para el nivel.

### Energía a partir de los colectores solares

El mes crítico (menor radiación) se selecciona automáticamente por el modelo junto con la irradiación horaria de cada día. Si el suministro del mes crítico es suficiente, la demanda de todo el año será satisfecha. La demanda de energía se puede calcular con la ecuación 7.

$$E_{sol} = E_{med,pre} + E_{low} - E_{low,bio} \quad (7)$$

La ecuación 8 muestra como determinar el número de colectores solares.

$$n = \frac{E_{sol}}{GA_{col} \eta_{col}} \quad (8)$$

Donde n es la cantidad de colectores, G es la radiación solar promedio del mes crítico,  $A_{col}$  es el área del colector y  $\eta_{col}$  es el rendimiento del colector.

Finalmente se conoce el tipo de biodigestor y el número de colectores solares que se necesitan para cubrir la demanda. El cálculo se realiza con un número considerable de escenarios.

## Resultados

Para la investigación se tomaron dos Casos de Estudio (C.E.) ubicado el primero en una latitud de 20°10' (para el cálculo de las radiaciones) y el C.E. 2 en una latitud de 23°08'. La demanda energética, para ambos casos, es de unos 300 litros de agua para el nivel medio y unos 670 litros para el nivel bajo. La cantidad de materia prima diaria al biodigestor es de 378 kg. Como resultado del dimensionamiento, el escenario más adecuado resultó donde el C.E. 1 se necesitan 5 colectores solares y en el C.E. 2, 7 colectores. Ambos sitios trabajarán con un biodigestor de 12 m<sup>3</sup>. El suministro de energía de la biomasa cubre toda la demanda del nivel medio para los dos casos, y hay un sobrante que cubrirá parte del nivel bajo. Por la variabilidad de la radiación solar, nos concentraremos en la simulación del nivel bajo, debido que el nivel medio está garantizado el suministro.

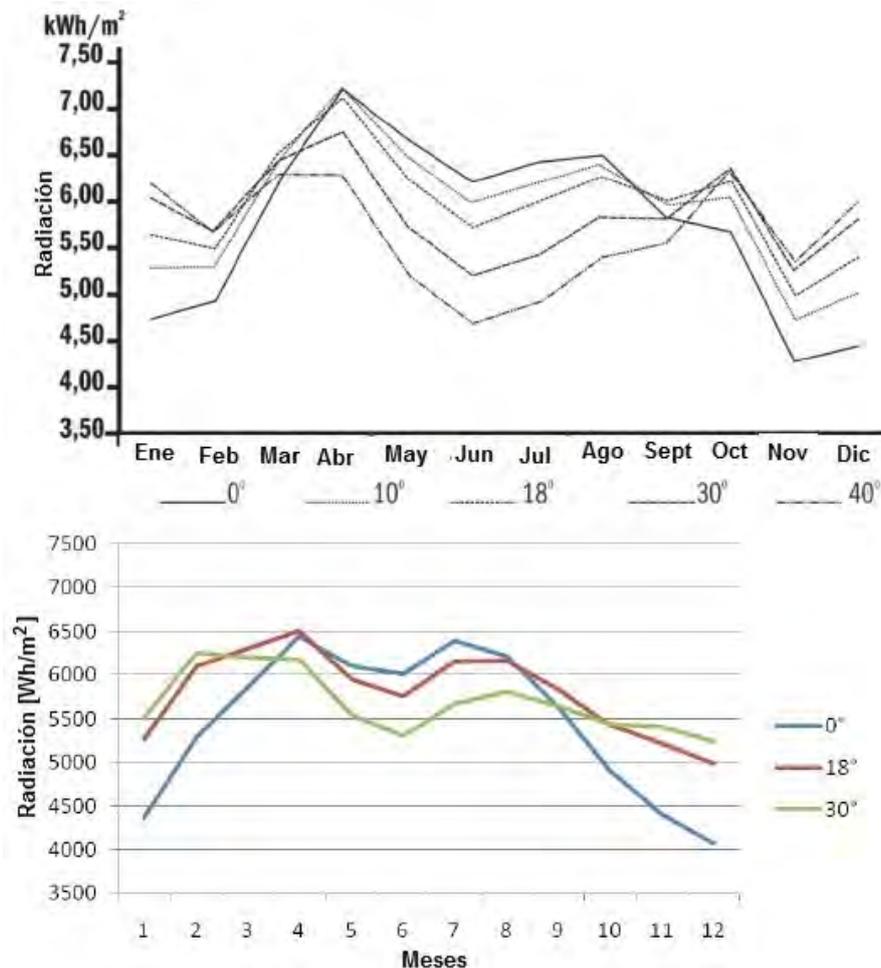
La simulación ofrece la variación de la temperatura sobre el tiempo. Por lo tanto, tenemos que dividir toda la duración de la observación en muchos incrementos de tiempo. En nuestro ejemplo, toda la duración es de un año y los incrementos tendrán una duración de una hora. Para la simulación del sistema el componente central es el almacenamiento de agua caliente. La capacidad del sistema de almacenamiento está determinada por dos variables: la masa de agua en el almacenamiento  $m_s$  y su temperatura  $T_{low}$ . Se considera que el agua en el tanque está perfectamente mezclada, de modo que hay una misma temperatura dentro y el tanque está siempre lleno. Con la ecuación 9 se obtiene la temperatura en el tanque.

$$T_{low(i+1)} = T_{low(i)} + \frac{\Delta t}{m_s C_p} \left[ E_{low} - L - (UA)_s (T_{low(i)} - T_{\infty}) \right] \quad (9)$$

Donde  $C_p$  es el poder calórico del agua,  $L$  es la carga del consumo,  $(UA)_s$  representa las pérdidas de calor de almacenamiento, que se define por el producto del coeficiente de transferencia de calor del almacenamiento y el área de superficie, y la diferencia de temperatura entre el tanque y el ambiente,  $(T_s - T_{\infty})$ .

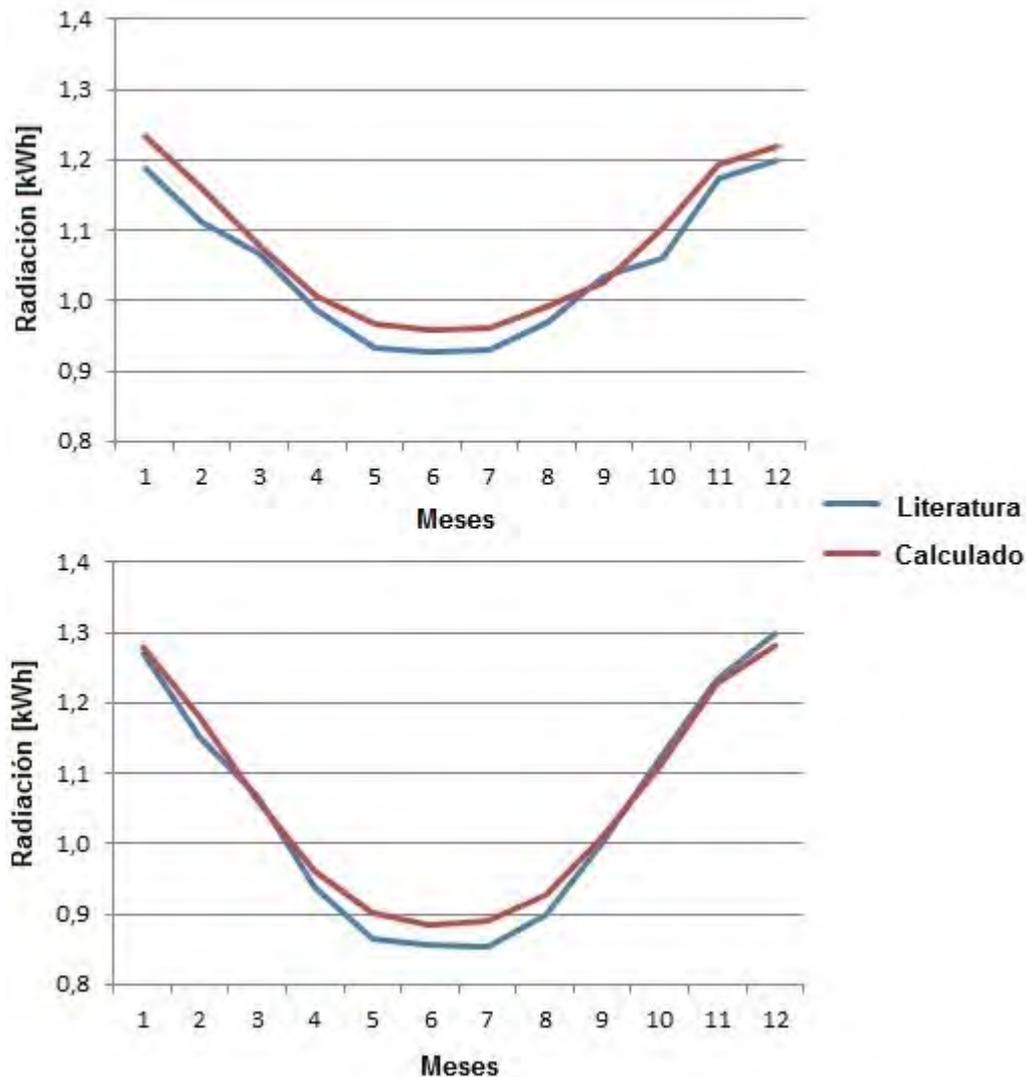
## Validación y Verificación

La primera verificación que se realizó, fue la radiación para un plano inclinado (ver Fig. 3) en C.E. 1.



**Fig. 3.** Comparación de los valores tomados de la literatura con los resultados calculados del modelo para una radiación sobre una superficie inclinada en el C.E. 1

La comparación muestra que los valores no son idénticos y como los datos de la radiación (G) vienen probablemente de diferentes fuentes, esto fácilmente se puede explicar con el clima que no es el mismo cada año. En un primer análisis, los diagramas son similares pero las diferencias pueden ser vistas, por ejemplo, en los meses de marzo, abril y octubre. Para probar la exactitud de los cálculos se puede comparar la relación entre los ángulos de incidencia de 0°, 18° y 30° durante un mes en particular con  $G_{18^\circ} / G_{0^\circ}$  y  $G_{30^\circ} / G_{0^\circ}$  y luego comparar los gráficos de medición y cálculo. Los resultados de ese proceso se muestran en la figura 4, donde se puede observar que existe una buena correspondencia entre el diagrama de la literatura y de los valores calculados para los ángulos de 18° en relación a la superficie horizontal de 0° de inclinación. Un comportamiento perfecto sería, si los gráficos son idénticos pero el error relativo de la comparación es para todo el año más pequeño que el 4,5 %. Esto confirma que los valores calculados están cercano a los valores de [10]. Los valores promediados absolutos de la irradiación de un año tienen una desviación máxima de 5,3 %, que también está en el rango de las variaciones naturales del clima.

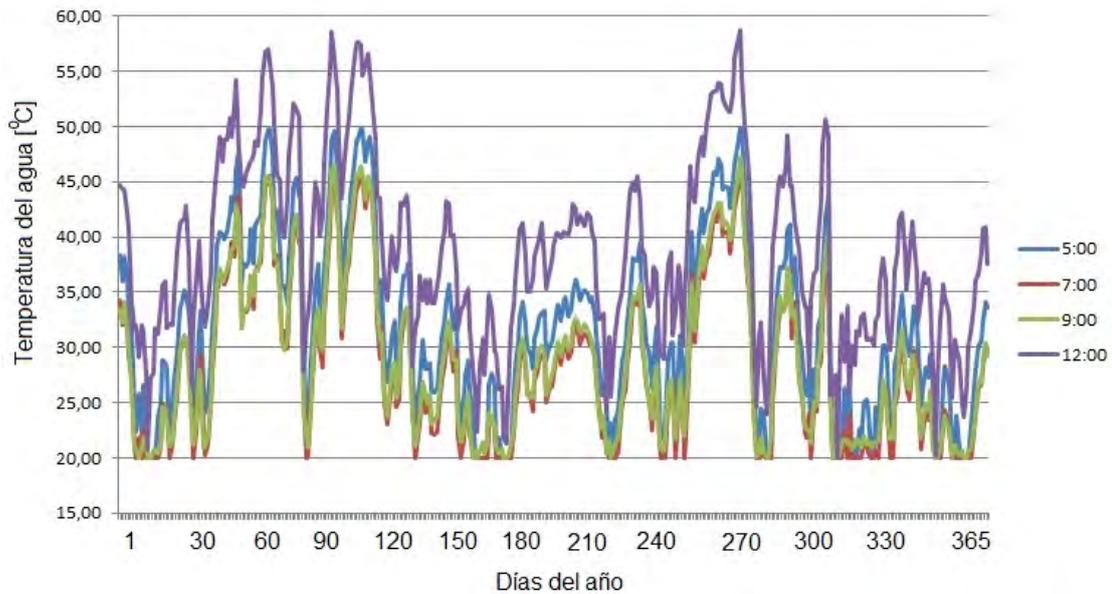


**Fig. 4.** Comparación de la radiación de 18° a 0° de inclinación (diagrama de la izquierda) y la radiación de 30° and 0° ángulo de inclinación (diagrama de la derecha) entre los valores calculados (línea roja) y el tomado por la literatura (línea azul)

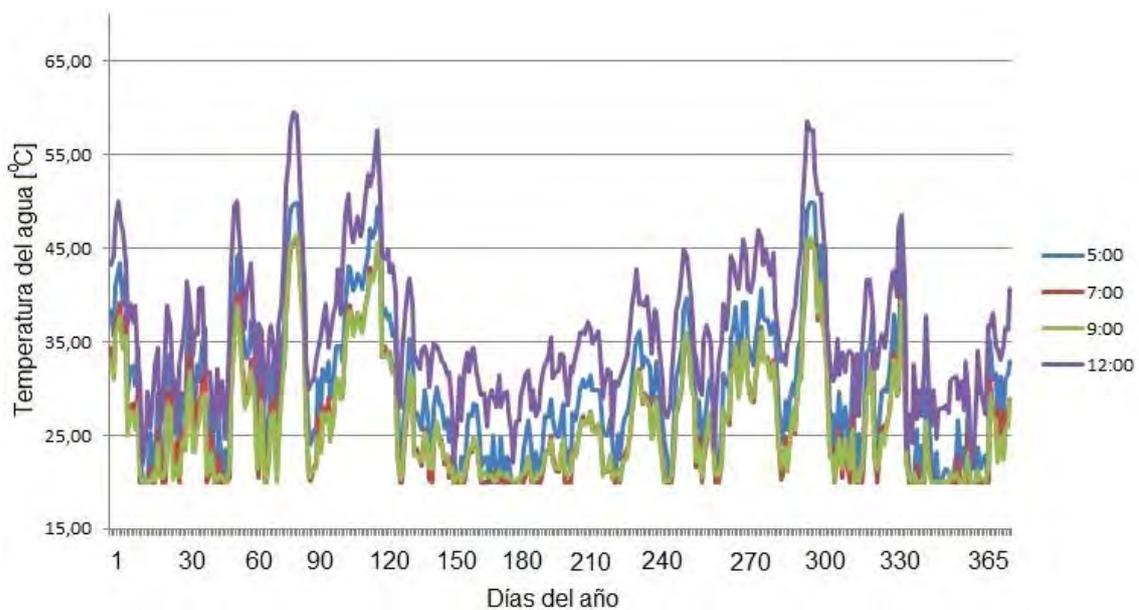
## Discusión

### Resultados de la simulación

En la figura 5 se puede observar el gráfico de la temperatura del tanque del agua en la instalación simulada en C.E. 1 y en la figura 6 para otro tanque en C.E. 2, sin la utilización de la biomasa. Para la simulación se utilizó el método de Iglesias y Morales [3].

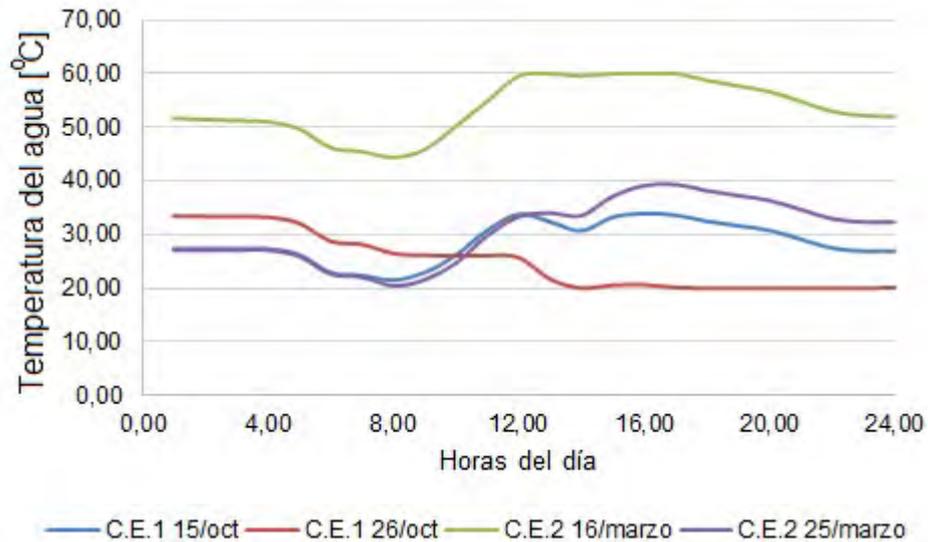


**Fig. 5.** Línea de la temperatura para diferentes horas del día durante un año, C.E. 1



**Fig. 6.** Línea de la temperatura para diferentes horas del día durante un año, C.E. 2

Lo que se observa en la figuras anteriores es que las mediciones a las 12:00 del mediodía suelen ser los más altos. En las horas de la mañana, sobre todo a las 7 de la mañana, las temperaturas son muy bajas debido a la alta demanda de agua caliente y baja radiación. No se excederá de una temperatura de 60 °C, ya que se consideró una temperatura máxima en el agua que sale del colector solar. Como consecuencia de ello, la gráfica de las 12:00 m, se convierte en una línea recta por 2 días del año. La figura 7 muestra las tendencias continuas durante tres días representativos del mes para ambos lugares, para C.E. 1, es el mes de octubre, y marzo para el C.E. 2.



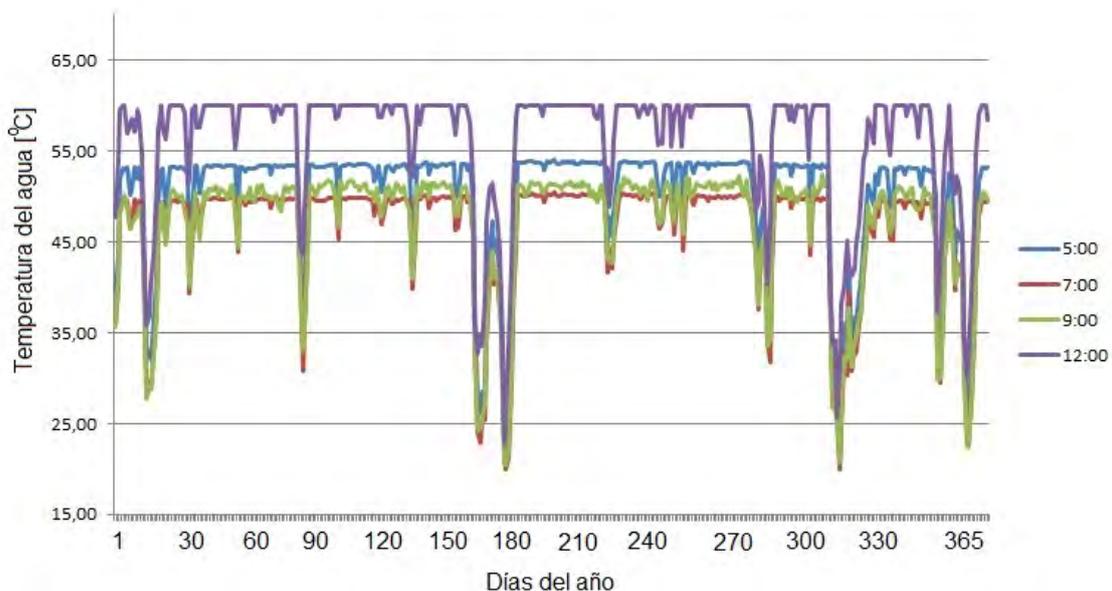
**Fig. 7.** Temperatura del agua en el tanque para dos días representativos de octubre y marzo para C.E. 1 y C.E. 2

En la figura 7 se puede observar un ligero descenso de la temperatura 10 p.m. - 04 a.m. Durante este tiempo no hay consumo de agua caliente y la temperatura cae justo a causa de las pérdidas de calor. En las horas de la mañana, desde las 5 am, la demanda aumenta y la temperatura en el tanque disminuye. A las 8 a.m., los colectores solares pueden entregar más energía al tanque, y en las horas de mediodía la temperatura aumenta drásticamente, causada por la alta irradiación. En la puesta del sol, hay otra vez una disminución debido a la falta de radiación y aumento de la demanda de agua caliente al mismo tiempo. Otro ejemplo a destacar es el día 26/oct. Se puede observar un comportamiento similar al igual que para el resto de los días, pero el crecimiento de la gráfica es casi cero y cae después del mediodía. La única razón concebible es que en este día particular, la radiación es muy débil, debido a un día lluvioso.

Dado que el consumo de agua caliente se considera que es constante, la única posibilidad es que la radiación de los días mencionados es muy baja para el C.E. 1 y alta para el C.E. 2.

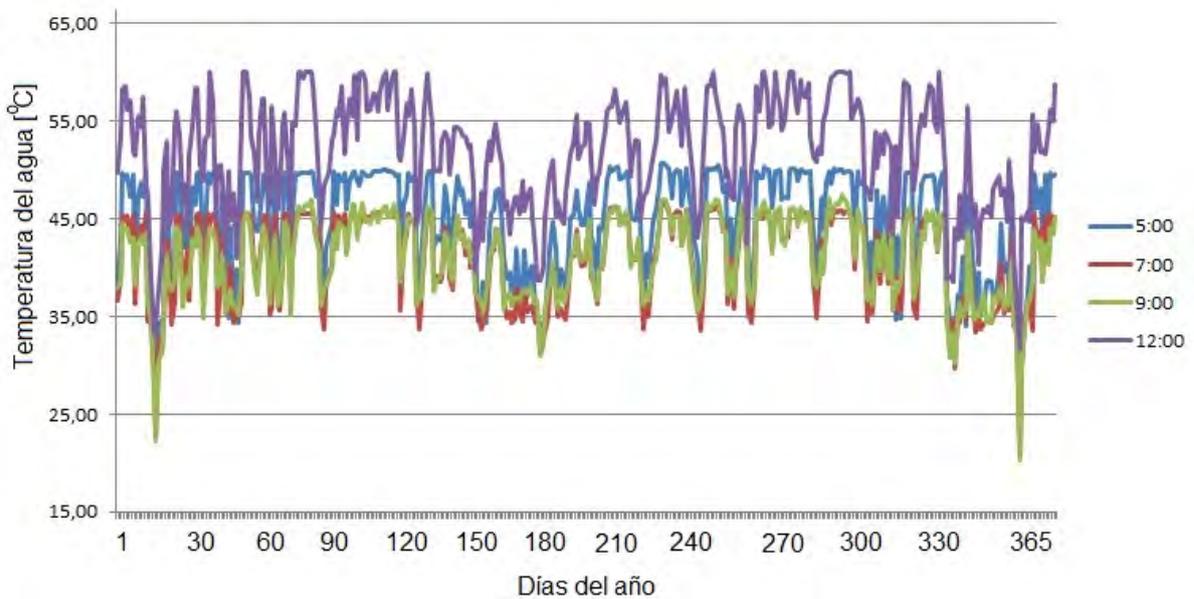
En las figuras anteriores se observó que las temperaturas están más tiempo muy por debajo del número de diseño, de 60 °C, y esto también es debido al parcial y no completo uso de la biomasa. Posteriormente se da la versión de suministro de biomasa para el calentamiento de agua.

En la figura 8 se muestra la simulación para el C.E. 1 utilizando la energía de la biomasa. Se utilizó el método de Havukainen (2014), para la simulación de energía que brinda la biomasa [11]. Se puede ver en comparación a la figura 5 un nivel promedio claramente elevado. El promedio más alto de la temperatura se debe por el uso de la biomasa. Hay que señalar que todavía existen días del año en los cuales todavía no se puede cubrir la demanda. En estos días, la demanda será cubierta con el sistema auxiliar de los colectores.



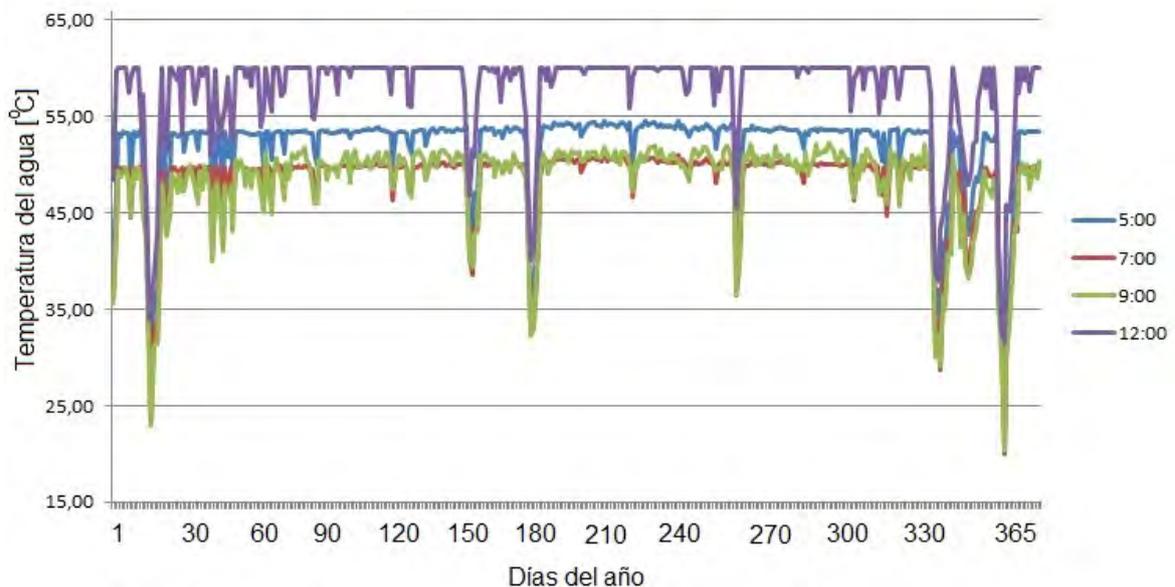
**Fig. 8.** Simulación para el sistema en C.E. 1 con tanque de almacenamiento de gas

En este caso, se podría hacer la pregunta si todavía tiene sentido operar con un sistema de almacenamiento, ya que se utiliza el 93 % del gas. El esfuerzo se puede evitar, cuando el gas se canaliza directamente desde el fermentador a la caldera sin almacenamiento de gas y el compresor de gas. En el caso del C.E. 2, la figura 9 muestra los resultados, con la utilización de un tanque de almacenamiento de gas.



**Fig. 9.** Simulación para el sistema de C.E. 2 con almacenamiento de gas pero con uso directo del biogás producido

Como se observa en la figura 9, todavía no hay una estabilidad en la temperatura del agua. Si no se utiliza el tanque de gas, se puede observar en la figura 10 la estabilidad de la temperatura del agua.



**Fig. 10.** Simulación para el sistema de C.E. 2 sin almacenamiento de gas pero con uso directo del biogás producido

Para una temperatura más estable para el C.E. 2, el diseño estará sin el tanque de almacenamiento de gas.

#### Limitaciones del modelo

La primera limitación del modelo es que tiene como tope inferior de temperatura los 20 °C, lo que puede limitar su utilización en aquellas latitudes superiores a los 30 ° donde el agua ambiental, en el invierno, es inferior a la del diseño del modelo. Otra limitación es que tanto al nivel bajo como el medio, cuando alcanza la temperatura máxima, 60 y 100 °C respectivamente, no tiene en cuenta que sucede después de esta temperatura. Está diseñado a que la temperatura permanece a ese valor máximo. En las mejoras que se están realizando al modelo, se tienen en cuenta estas limitaciones. La validación del modelo, por la no existencia de

instalaciones u otros modelos previos, no se puede realizar como un todo, es decir, debe de realizarse en parte: solo con los colectores solares térmicos, y después solo con la biomasa.

### Análisis económico

A continuación se dará una breve comparación entre el sistema híbrido con fuentes renovables y un sistema que funciona con la energía fósil convencional (eléctrico). El método de análisis se denomina índice de recuperación de la inversión (ecuación 10), donde se puede calcular el tiempo de duración hasta que el ahorro de combustible alcanza los costos de la inversión [12-14].

$$t = \frac{I_{renew}}{C_{fossile}} \quad (10)$$

Aquí  $I_{Renew}$  es la inversión para la instalación con el biodigestor, colectores solares y todas las otras partes requeridas,  $C_{fossile}$  son los costos anuales de combustible que tienen que ser pagados. El precio de 1 kWh producido por un motor de pistón de diésel se considera a 0,13 Dólares Americanos (USD) y si se asume que la energía eléctrica se usa totalmente para el calentamiento del agua, podemos calcular los costos anuales de combustible para la comunidad por la multiplicación con la demanda de un año. Para el ejemplo simulado, 27254 Wh se requiere para calentar 670 litros de agua fría a 20 °C hasta 55 °C, que es aproximadamente la temperatura ya para el consumidor cuando la temperatura en el tanque es de 60 °C. Para el calentamiento de 300 litros de agua hasta 100 °C, 45327 Wh son necesarios. De esta manera, el costo del combustible,  $C_{fossile}$ , para calentar el agua por año es 2160,48 USD. La inversión para la instalación en C.E. 2 es para el tipo de digestor de 12 m<sup>3</sup>, 795,8 USD, 7 colectores solares, 2102,47 USD, las tuberías de 10 casas y bomba de agua, 1048,78 USD, en total de 3946,22 USD. A esta cantidad hay que añadir los gastos de transporte. En [15] da el dato del 3 %, lo que al final los costos serán 4065,44 USD. Para la instalación en C.E. 1, sólo se necesitan 5 colectores solares y la inversión final es de unos 3446,712 USD. Con la ecuación 10, teniendo los montos de los costos anuales y la inversión, el índice de recuperación de la inversión es de 1,88 años para la instalación en C.E. 2 y 1,60 años para un sistema para cubrir la misma demanda en C.E. 1. La diferencia en el índice de recuperación de la inversión es debido a las diferentes condiciones naturales, como la radiación en C.E. 1 es mayor que en C.E. 2, como consecuencia, un colector solar produce más energía en C.E. 1. El período de recuperación es muy corto, lo que es una indicación de una inversión muy efectiva. Otro resultado del modelo es el precio de la energía producida. Los precios de todos los colectores solares, para un tiempo de operación de 20 años, se divide con la energía producida y los resultados muestran que en el caso de C.E. 1 es de 0,54 centavos USD por kWh, mientras que en C.E. 2, de 0,77 centavos USD por kWh. Esta diferencia es debida a que en C.E. 1 la producción de energía es mayor, producto a que hay más radiación, comparado con el C.E. 2.

### Conclusiones

La investigación bibliográfica reveló que el estudio de la biomasa y los colectores solares térmicos es muy frecuente. El calentamiento del agua del biodigestor con energía solar térmica, es una opción viable, y garantiza un ahorro de energía. A pesar de ello, no se encontró en la literatura consultada un estudio de la generación de agua caliente, a dos niveles de temperatura. Por lo que el modelo propuesto, a pesar de que utiliza modelos conocidos para la energía solar térmica y la biomasa, la combinación de los mismos lo hace novedoso.

El modelo presenta limitaciones, las cuales hacen que el modelo se encuentre restringido a una latitud entre 20 y 24°. Otras limitaciones provocan que el modelo opere hasta las temperaturas máximas de cada nivel de trabajo. Esta limitación puede afectar principalmente el nivel bajo, ya que el agua puede tomar temperaturas mayores a los 60 °C.

En general, el modelo propuesto ofrece una solución para el diseño y simulación de sistemas renovables energéticos para la producción de agua caliente a diferentes temperaturas en zonas aisladas de la red eléctrica.

### Referencias

- Bazilian M, Miller M, Detchon R, et al. Accelerating the Global Transformation to 21st Century Power Systems. The Electricity Journal. 2013;26(6):39-51. ISSN 1040-6190. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2013.06.005>.
- Siva Reddy V, Kaushik SC, Ranjan KR, et al. State-of-the-art of solar thermal power plants—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013;27(0):258-73. ISSN 1364-0321. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.037>.
- Iglesias J y Morales J. Dimensionado de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética. Revista de Ingeniería Energética. 2013 Enero / Abril.34(1):55-65. ISSN 1815- 5901.
- Ghaith FA y Abusitta R. Energy analyses of an integrated solar powered heating and cooling systems in UAE. Energy and Buildings. 2014;70(0):117-26. ISSN 0378-7788. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.024>.
- G. Lorenzini CBGF. Solar Thermal and Biomass Energy. Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK: WIT Press; 2010. 225 p. ISBN 978-1-84564-147-4.
- Ho WS, Hashim H, Lim JS, et al. Optimal Design of Biomass-solar Town for a Palm Oil Mill for Iskandar Malaysia. Energy Procedia. 2014;61(0):2763-6. ISSN 1876-6102. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.300>.

7. Colmenar-Santos A, Bonilla-Gómez J-L, Borge-Diez D, et al. Hybridization of concentrated solar power plants with biogas production systems as an alternative to premiums: The case of Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;47(0):186-97. ISSN 1364-0321. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.061>.
8. Weatherford VC y Zhai Z. Affordable solar-assisted biogas digesters for cold climates: Experiment, model, verification and analysis. *Applied Energy*. 2015 5/15/.146(0):209-16. ISSN 0306-2619. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.111>.
9. Greening B y Azapagic A. Domestic solar thermal water heating: A sustainable option for the UK? *Renewable Energy*. 2014;63(0):23-36. ISSN 0960-1481. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.048>.
10. Bériz Pérez LÁG, Manuel. Manual para el cálculo y diseño de calentadores solares. Havana, Cuba: Cubasolar; 2008. 166 p. ISBN 978-959-7113-36-2. [Citado 22 de diciembre de 2014]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/libros.htm>.
11. Havukainen J, Uusitalo V, Niskanen A, et al. Evaluation of methods for estimating energy performance of biogas production. *Renewable Energy*. 2014;66(0):232-40. ISSN 0960-1481. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.011>.
12. Leland Blank REATPE. Ingeniería Económica/ENGINEERING ECONOMY. Fourth ed. 4123567898, editor. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S. A.; 2000. ISBN 958-600-966-1.
13. Wadi Abbas Al-Fatlawi A, Abdul-Hakim SR, Ward TA, et al. Technical and economic analysis of renewable energy powered stand-alone pole street lights for remote area. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2014;33(1):283-9. ISSN 1944-7450. DOI 10.1002/ep.11772.
14. Askari IB y Ameri M. Techno-economic Feasibility Analysis of Stand-alone Renewable Energy Systems (PV/bat, Wind/bat and Hybrid PV/wind/bat) in Kerman, Iran. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. 2011;7(1):45-60. ISSN 1556-7249. DOI 10.1080/15567240903330384.
15. Görgens J, Carrier M y García Aparicio M. Biomass Conversion to Bioenergy Products. Netherlands: Springer; 2013. p. 137-167. ISBN 978-94-007-7448-3. DOI [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7448-3\\_7](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7448-3_7)