

Análisis energético y ambiental de instalaciones solares para el calentamiento de agua

Albizzati Enrique¹

¹ Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Litoral Santiago del Estero 2654 - 3000 - Santa Fe-Argentina. Tel.: 342 4571160
Email: albizzati@fiq.unl.edu.ar

Resumen

El análisis del ciclo de vida se aplica para calcular la energía generada y la mitigación de emisiones en instalaciones solares para calentamiento de agua. Se comparan sistemas con diferentes pérdidas de calor de los colectores e igual período de amortización energética o ambiental. La generación neta es máxima con gas licuado y menores pérdidas, pero el cociente entre las energías generada y consumida por los colectores aumenta con las pérdidas. La mitigación neta es más alta con electricidad y menores pérdidas, pero la relación entre las emisiones neta y propia de los colectores crece por las pérdidas de calor.

Palabras clave: solar, energía, emisiones, calentamiento, agua.

Abstract

The life cycle analysis is applied to calculate the energy generated and mitigations of emissions in solar water heating installations. Systems with different thermal losses of the collectors and equal energetic or environmental payback period are compared. The net generation is maximal with liquefied gas and lower losses, but the ratio between energy generated and consumed by the collectors increases with the losses. The net mitigation is highest with electricity and lower losses, but the ratio between net emissions and the collectors emissions is increased for the losses.

Keywords: solar, energy, emissions, heating, water.

1. Introducción

El empleo intensivo de los combustibles fósiles en los países industrializados y la emisión de gases de efecto invernadero, está provocando el denominado Cambio Climático Global con su secuela de daños medioambientales y socioeconómicos [1,2]. Además la incertidumbre acerca de la futura disponibilidad de las energías no renovables y la contaminación ambiental provocada por esas fuentes de energía, favorecen los proyectos destinados a la incorporación de las fuentes renovables y no convencionales de energía.

En este marco puede decirse que entre las energías renovables y poco contaminantes, la energía solar y las tecnologías aplicables para su transformación y aplicación, son algunos de los recursos más importantes con que se cuenta para modificar el sistema energético a nivel mundial. La energía solar crece más rápidamente que cual-

quier otra tecnología renovable. Los colectores solares de agua caliente son utilizados por más de 200 millones de hogares, así como en edificios públicos y comerciales en todo el mundo [3,4].

Dado que los impactos de la generación y uso de los recursos energéticos son comunes a la mayoría de los sistemas pero difieren en magnitud de acuerdo a las diversas condiciones, para evaluar la energía solar se debe considerar el ciclo completo del sistema energético, siendo aplicable el método conocido como Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV se basa en la recopilación de datos sobre las entradas y salidas del sistema para, con el procedimiento adecuado, obtener resultados que muestren sus impactos potenciales [5,6].

En diversas publicaciones se aplicó el ACV con diferentes objetivos y herramientas de cálculo para casos de calentamiento solar de agua en viviendas [7-12]. Debe tenerse en cuenta que la energía térmica generada a partir de la radiación solar, puede ser considerada como energía convencional ahorrada. Este reemplazo a su vez provoca la consiguiente mitigación de la emisión de contaminantes de la atmósfera.

En este trabajo, se presenta una metodología para calcular la energía solar térmica generada y la mitigación de emisiones en instalaciones para calentamiento de agua. El procedimiento se aplica en instalaciones con electricidad y gas licuado como fuentes complementarias. Luego considerando el ACV de instalaciones típicas, se calculan los valores netos de la energía generada y los gases no emitidos, y los períodos de amortiza-

ción energética y ambiental. Como los colectores solares pueden construirse con diversas técnicas y materiales, en diferentes instalaciones se determina el efecto del parámetro que caracteriza las pérdidas térmicas, hallando la energía y las emisiones que se pondrían en juego para casos en que se igualan los respectivos períodos de amortización.

2. Materiales y método

2.1. Instalaciones solares térmicas

Una instalación usada comúnmente para el calentamiento solar de agua se compone de colectores planos, un tanque de almacenamiento y cañerías de distribución del fluido, disponiéndose además de una fuente de energía complementaria (Figura 1).

El sistema para calentamiento de agua es pasivo ya que la circulación del fluido es por convección natural. La fuente auxiliar de energía en las instalaciones está en la cañería que conduce el agua caliente para consumo. La instalación para el calentamiento con aporte solar tiene dos colectores planos de 1,8 m² cada uno, posicionados con 30° de inclinación al norte geográfico. El tanque de almacenamiento es de 240 L, el consumo de agua se fija también en 240 L diarios a 45 °C de temperatura, y la temperatura del agua fría es 18 °C.

Como se observa en la Tabla 1, la instalación típica puede usar electricidad (SE-C) o gas licuado (SGL-C). Los parámetros característicos del colector solar plano adoptado para todo el estudio son: FR E = 0,70 y FR UC = 6,0 W/m² °C. FR el factor de remoción del calor, E la eficiencia óptica y UC el coeficiente de pérdidas de calor del colector solar empleado [13,14].

En las instalaciones típicas se contempla el empleo colectores solares planos, donde la radiación solar global que se transmite por una cubierta semitransparente, es absorbida por la placa absorbente y se convierte en energía térmica [15-17]. Esta energía se transfiere hacia el agua que circula por canales paralelos conformados entre dicha placa y otra placa soldada debajo. Entre la placa superior y la cubierta

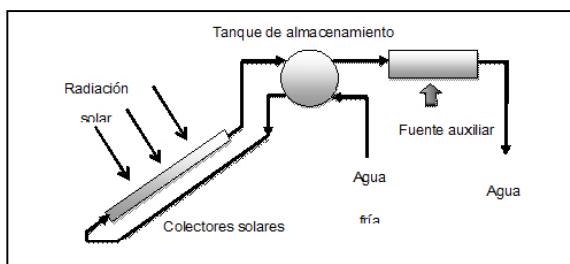


Figura 1. Esquema de la instalación combinada de calentamiento de agua.

Tabla 1. Instalaciones para calentamiento de agua.

Instalación		$F_R U_C$ (W/m ² °C)
Solar-Electricidad	SE-A	2,0
	SE-B	4,0
	SE-C	6,0
	SE-D	8,0
	SE-E	10,0
Solar-Gas licuado	SGL-A	2,0
	SGL-B	4,0
	SGL-C	6,0
	SGL-D	8,0
	SGL-E	10,0

hay una cámara de aire; se utiliza además un material aislante en el fondo y en los laterales.

Como los colectores pueden construirse con diversas técnicas y materiales, en la tabla anterior se listan otras instalaciones, en las cuales es variable el parámetro FR UC que, según la normativa, caracteriza las pérdidas térmicas de los equipos solares. Debe observarse que en el análisis el otro parámetro que caracteriza a los colectores solares (FR E) se mantiene invariable.

Las pérdidas de calor al ambiente aumentan si la placa absorbente tiene alta emisividad de la radiación infrarroja. También, si la cubierta semitransparente posee baja capacidad para reflejar la radiación que emite la placa, o si la aislación de los colectores solares es deficiente. Por otra parte, si la placa absorbente está directamente expuesta, es decir que no hay una cubierta, se origina un aumento significativo del calor que se pierde por convección y radiación al medio ambiente.

Asimismo, para disminuir las pérdidas de calor al ambiente el colector solar plano puede tener dos cubiertas semitransparentes en vez de una sola, ambas separadas por cámaras de aire. Otra técnica muy usada consiste en recubrir la placa absorbente con materiales selectivos que tienen alta absorptividad de la radiación solar y baja emisividad de la infrarroja.

Cuando se quiere contar con valores de FR U aún más bajos, el agua que se calienta circula por un conjunto de tubos evacuados dispuestos en paralelo. Cada tubo evacuado es un tubo absorbente de la radiación solar por el que circula el fluido, rodeado de otro tubo de vidrio semitransparente. En el espacio entre los dos tubos se hace vacío, extrayéndose el aire interior para

evitar la convección y disminuir así las pérdidas de calor al ambiente [15-17].

2.2. Radiación y aporte solar a la demanda

La computación de la radiación solar promedio recibida por los colectores se realiza utilizando los valores de la componente directa y la componente difusa de la radiación solar en el plano horizontal. La radiación solar global promedio para cada día del mes en el plano horizontal (HG), es la suma de la radiación directa del sol (HD) y la radiación del cielo (Hd).

$$H_G = H_D + H_d \quad (1)$$

La radiación total que alcanza la superficie absorbidora (HT) es la suma de la radiación directa, la radiación difusa proveniente del cielo, y la radiación reflejada por el suelo que rodea a dicha superficie [16].

HT se expresa como el producto de la radiación global horizontal multiplicada por un factor R, indicativo de la variación de la radiación respecto a la que incide en el plano horizontal.

$$H_T = R H_G \quad (2)$$

El factor R está compuesto por tres términos relacionados con la radiación directa, la difusa del cielo y la reflejada. R puede calcularse según:

$$R = (H_D / H_G) RD + (H_d / HG) [(1 + \cos B) / 2] + \rho [(1 - \cos B) / 2] \quad (3)$$

La superficie está inclinada un ángulo B y RD es el cociente entre la radiación directa en la superficie inclinada y en el plano horizontal. RD se calcula teniendo en cuenta la declinación solar, la latitud del lugar de la instalación, el ángulo azimutal, la inclinación de la superficie colectora y los ángulos horarios de salida y puesta del sol en un día representativo.

Por otra parte, la contribución de la energía solar a la demanda térmica en las instalaciones combinadas, se determina con el método f-chart. La fracción de la energía solar aportada en cada mes (f), se determina en función de dos parámetros adimensionales [16]:

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3 \quad (4)$$

X relaciona la cantidad de radiación solar incidente sobre los colectores con la demanda térmica, e Y es el cociente entre las pérdidas de energía del sistema y la citada demanda. Estos parámetros se estiman con:

$$X = F_R U_c (T_r - T_a) (A / Q) 24 n \quad (5)$$

$$Y = F_R E H_T (A_c / Q) n \quad (6)$$

En las expresiones anteriores, n es el número de días del mes, T_a la temperatura ambiente, T_r es 100 °C. Para la aplicación del método f-chart se tienen en cuenta correcciones para los parámetros X e Y originadas por la temperatura del agua caliente, el volumen de agua en el tanque, la eficiencia óptica y el factor de remoción de calor del colector solar.

La demanda térmica mensual (Q) se calcula con el volumen (V), la densidad (p), el calor específico (c), la temperatura caliente (T_c) y la temperatura fría (T_f) del agua:

$$Q = V p c (T_c - T_f) \quad (7)$$

La fracción anual aportada por la energía solar a la demanda térmica (F) resulta de una sumatoria aplicada para los doce meses del año:

$$F = \sum (f Q)_i / \sum Q_i \quad (8)$$

Finalmente, la eficiencia térmica anual de la instalación solar (Et) se calcula con el cociente entre la energía solar térmica generada y la radiación total solar incidente en los colectores:

$$E_t = \sum (f Q)_i / A \sum (H_T n)_i \quad (9)$$

2.3 Análisis de ciclo de vida

El ACV de un producto debe incluir todas las entradas y salidas en los procesos que participan a lo largo de su ciclo de vida: la extracción de materias primas y el procesado de los materiales necesarios para la manufactura de componentes, el uso del producto eventualmente su reciclaje y/o la gestión final. El transporte, almacenaje, distribución y otras actividades se incluyen cuando tienen la relevancia suficiente.

En el ACV se seleccionan las categorías a tener en cuenta. Dos categorías de impacto que resul-

tan muy significativas son el consumo energético (la energía para la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del producto), y el calentamiento global (medida que muestra un aumento en la temperatura promedio de la atmósfera y de los océanos en las últimas décadas). En el calentamiento se considera el efecto de los gases que producen el efecto invernadero, en equivalentes de dióxido de carbono.

Para efectuar el inventario de ciclo de vida de las instalaciones solares estudiadas, se pueden utilizar herramientas relativamente simples. Los datos relacionados con la energía consumida y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los diversos materiales usados en la instalación solar se obtienen de bases internacionales [18,19]. En Argentina no se dispone de información, por lo que debe recurrirse a las bases citadas.

También se hace necesario tener información de las emisiones producidas por el uso de las fuentes auxiliares de energía en el sistema solar. Para esto se recopilan y procesan datos de las emisiones originadas por el empleo de electricidad y gas licuado [18-20]. Se tiene presente que en Argentina opera el Sistema Argentino de Interconexión y la generación eléctrica es producida con energía térmica, hidráulica y nuclear.

2.4 Energía generada y mitigación de emisiones

Para determinar la energía térmica generada y la mitigación de las emisiones en cada instalación combinada se contemplan la producción energética y la emisión de gases evitados al funcionar con energía solar. A estos valores brutos se deben descontar respectivamente, la energía consumida y las emisiones provocadas por los requerimientos propios de la instalación solar antes, durante y después de su funcionamiento.

Entonces los valores netos de la energía generada y de la mitigación de las emisiones (E_n) se calculan en cada caso, mediante la diferencia entre la energía solar aportada o la mitigación de emisiones (E_b), y el consumo energético o la emisión en el ciclo de vida (E_i):

$$E_n = E_b - E_i \quad (10)$$

$$E_i = e_i A \quad (11)$$

En la ec. (11) e_i es energía consumida o los gases emitidos por unidad de área de colectores en el ciclo de vida, y A es el valor de dicha área. E_b se debe al aporte solar durante el funciona-

miento de la instalación combinada, y puede computarse con:

$$E_b = \Sigma Q_i N F c_a \quad (12)$$

En la ecuación anterior, ΣQ_i es la demanda térmica anual, N son los años de vida útil de la instalación y F es la fracción de la demanda térmica anual cubierta con energía solar. Con respecto a c_a , su valor varía si la ec. (12) se aplica al cálculo energético o a la emisión de gases, pero depende también de la fuente de energía complementaria utilizada.

Para hallar e_i se suman las contribuciones asociadas a los colectores solares (e_c), el tanque de almacenamiento (e_t), otros materiales componentes del dispositivo solar (e_m) y todas las actividades complementarias (e_f).

$$e_i = e_c + e_t + e_m + e_f \quad (13)$$

$$e_t = e_v v_t \quad (14)$$

$$e_m = e_c x_v + (e_c + e_t) x_p \quad (15)$$

$$e_f = (e_c + e_t + e_m) x_f \quad (16)$$

En las ecuaciones escritas, e_v es el consumo energético o la emisión de gases por unidad de volumen del tanque y v_t es el cociente entre el referido volumen y el área de los colectores. Las otras variables tienen en cuenta la participación de los elementos necesarios para la fabricación y funcionamiento de la instalación solar: x_v (cañerías, aislaciones y soportes), x_p (pinturas, selladores y uniones) y x_f (transporte, fabricación, distribución, montaje, mantenimiento, remoción y disposición final).

Como en las instalaciones solar-electricidad y solar-gas licuado se sustituyen otras fuentes por energía solar, es posible determinar los períodos de amortización energética y ambiental. El período de amortización energética puede definirse como el tiempo necesario para recuperar la energía consumida por la instalación solar, mientras que período de amortización ambiental se computa en forma semejante, pero contemplando la cantidad de gases de emitidos. Aquí se incluyen en el numerador, los consumos o emisiones que durante el funcionamiento combinado producen las fuentes auxiliares.

Luego, se calcula el período de amortización energética o el período de amortización ambiental, expresado en meses, con:

$$P = 12 N [E_i + \sum Q_i (1-F) c_a] / E_b \quad (17)$$

3. Resultados y discusión

3.1. Radiación incidente y energía térmica

La radiación solar horizontal promedio diaria en cada mes del año se obtiene de la base de datos del Atmospheric Science Data Center-NASA Langley Research Center para la ciudad de Santa Fe, Argentina (latitud 31,65° S, longitud 60,72° O). La radiación solar total anual sobre los colectores inclinados a 30° al norte, es 1894,3 kW h/m² o 6819,4 MJ/ m² [7,21].

En la Figura 2 se muestran el aporte solar y la eficiencia térmica mensuales computados para las instalaciones típicas (SE-C y SGL-C). Los aportes son mayores en el verano y menores en el invierno, llegando al 100 % y 58,6 % respectivamente. En relación con la eficiencia térmica del sistema solar, varía sólo entre el 33,2 % y el 35,1%.

En las otras instalaciones combinadas solar-electricidad y solar-gas licuado, resultan variables el aporte solar y la eficiencia térmica (Tabla 2). Los valores obtenidos indican que la fracción anual de la demanda de energía térmica cubierta con energía solar para las instalaciones típicas es 0,843. Como es esperable, el aporte y la eficiencia de las instalaciones aumentan cuando es menor el parámetro $F_R U_C$.

3.2 Consumo energético y emisión de gases de la instalación solar típica

Los resultados de la valoración del consumo energético y la emisión de gases equivalentes a dióxido de carbono para la instalación solar

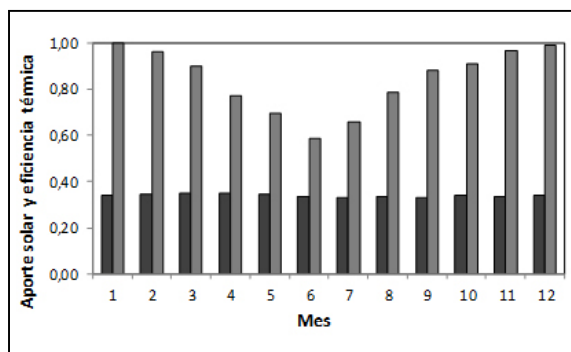


Figura 2. Aporte solar (■) y eficiencia térmica (■) mensuales en las instalaciones típicas.

Tabla 2. Aporte solar y eficiencia térmica anual de las instalaciones.

Instalación	Aporte solar	Eficiencia térmica
SE-A SGL-A	0,962	0,388
SE-B SGL-B	0,912	0,368
SE-C SGL-C	0,843	0,340
SE-D SGL-D	0,767	0,309
SE-E SGL-E	0,703	0,283

típica, se resumen en la Tabla 3 [7]. Como se ve en la tabla, los colectores solares representan cerca del 50%, tanto del consumo de energía como de las emisiones de gases de la instalación típica. El conjunto placa absorbente-conductos de fluido es de acero inoxidable, la cubierta semitransparente es de vidrio común y el aislante es lana mineral.

3.3. Energía generada y mitigación de las emisiones

Al aplicar la metodología propuesta para la evaluación la vida útil de las instalaciones se estima en veinte años. La energía generada y la mitigación de emisiones se computan con las ecs. (10)-(16).

Tabla 3. Consumo y emisiones de la instalación solar típica.

Materiales e insumos	Energía		Emisiones	
	MJ	%	kg CO ₂ eq	%
Colectores solares	3547,7	48,2	343,0	50,9
Tanque de almacenamiento	1117,4	15,2	110,8	16,4
Materiales varios	2024,7	27,5	159,3	23,6
Actividades complementarias	669,0	9,1	61,3	9,1
Total	7358,8	100	674,4	100

En la determinación de la energía generada y la mitigación de emisiones netas para las instalaciones típicas, se consideran los efectos de los consumos energéticos y las emisiones de gases, contabilizados en la Tabla 3. En las Tablas 4 y 5 se muestran los datos con los que se alimentan los cálculos (SE-C y SGL-C), agregándose que x_f y x_p valen 0,10.

Las emisiones de gases de efecto invernadero para la energía eléctrica y el gas licuado son respectivamente 0,125 kg CO₂ eq /MJ (0,450 kg CO₂ eq /kW h) y 0,083 kg CO₂ eq /MJ (0,299 kg CO₂ eq /kW h) en la conversión de esas fuentes a energía térmica. Los valores anteriores luego se corrigen

Tabla 4. Cálculo de la generación de energía en la instalación típica.

Instalación	c_a	e_c (MJ/m ²)	e_v (MJ/m ³)	x_v (MJ/m ²)
SE	1,053	985,5	4,66	0,44
SGL	1,176			

Tabla 5. Cálculo de la emisión de gases en la instalación típica.

Instalación	c_a (kg CO ₂ eq/MJ)	e_c (kg CO ₂ eq/m ²)	e_v (kg CO ₂ eq/m ³)	x_v (kg CO ₂ eq/m ²)
SE	0,132	95,3	0,46	0,33
SGL	0,098			

considerando una eficiencia en la conversión térmica del 95 % cuando se consume electricidad, y del 85 % para consumo de gas licuado.

Con el ACV presentado se calculan los períodos de amortización energética y ambiental de las instalaciones típicas, resultando esos períodos muy bajos, ya que están entre 9,6 y 12,3 meses (Tablas 6 y 7). En las tablas referidas se vuelcan los resultados de las otras instalaciones, que se diferencian entre sí por el parámetro que representa las pérdidas térmicas de los colectores solares y que tendrían idénticos períodos de amortización energética y ambiental que las instalaciones SE-C y SGL-C.

Para las condiciones propuestas, se encontraron los valores de la energía y de las emisiones propias de los colectores y además la energía generada y la emisión evitada de todas las instalaciones. Se entiende que si en cada caso presentado se superan los

para las instalaciones típicas.

Al comparar dos instalaciones similares, son mayores los beneficios energéticos netos usando gas licuado, pero los beneficios ambientales netos son mayores con la utilización de la electricidad. El cociente entre los períodos de amortización ambiental y energética es menor que la unidad en instalaciones que usan electricidad, y mayor que ese valor para las que emplean gas licuado.

Si se aumentan las de pérdidas térmicas desde FR UC = 2,0 W/m² °C hasta FR UC = 10,0 W/m² °C, en las instalaciones SE se produce una reducción del 64,3 % en el consumo de energía propio de los colectores, mientras que en las tipo SGL del 67,4 %. Cuando se comparan las emisiones debidas a dichos cambios en el parámetro de pérdidas, las reducciones para las instalaciones son del 74,4 % y del 65,6 % respectivamente.

La mayor energía consumida por los colectores y la mayor generación total, se alcanzan con gas licuado y las menores pérdidas de calor (SGL-A). Sin embargo el mayor valor del cociente entre la energía generada neta y la energía consumida por colectores corresponde a la instalación con mayores pérdidas (SGL-E). Los menores valores corresponden a las instalaciones: SGL-E (energía consumida por colectores), SE-E (generación total) y SE-A (relación entre las energías generada neta y consumida por colectores).

La emisión por los colectores y la mitigación neta son máximas al utilizar electricidad y con las

Tabla 6. Períodos de amortización, energía consumida por los colectores solares y energía generada en las instalaciones.

Instalación	P_e	Energía consumida por colectores (MJ)	Energía generada neta (MJ)	Energía generada neta/energía consumida por colectores
SE-A	12,3	5026,0	190784,2	38,0
SE-B		4401,4	181382,0	41,2
SE-C		3547,7	168536,8	47,5
SE-D		2592,0	154152,0	59,5
SE-E		1794,2	142146,3	79,2
SGL-A	11,2	5127,1	214139,8	41,8
SGL-B		4459,7	203583,8	45,6
SGL-C		3547,8	189161,6	53,3
SGL-D		2526,1	173012,0	68,5
SGL-E		1673,6	159533,1	95,3

valores tabulados de la energía consumida o de la emisión evitada por los colectores, el respectivo período de amortización será mayor; por el contrario si dichos valores son menores los períodos de amortización serán menores a los calculados

menores pérdidas de calor (SE-A). En la instalación con mayores pérdidas (SE-E), es menor la emisión de gases por los colectores, y mayor el cociente entre las emisiones evitada neta y propia de los colectores. Para las instalaciones SGL-A y SGL-C se obtienen los

Tabla 7. Períodos de amortización, gases emitidos por los colectores solares y emisión evitada en las instalaciones.

SE-A	9,6	520,2	24199,0	46,5
SE-B		445,3	23005,6	51,7
SE-C		343,0	21375,2	62,3
SE-D		228,6	19549,4	85,5
SE-E		133,2	18025,6	135,3
SGL-A	12,1	490,0	17767,8	36,3
SGL-B		427,7	16892,1	39,5
SGL-C		343,1	15695,8	45,7
SGL-D		248,0	14356,1	57,9
SGL-E		168,5	13238,0	78,6

menores valores del cociente antes definido, y de la emisión evitada neta respectivamente.

4. Conclusiones

El análisis del ciclo de vida se aplica para valorar la energía generada y la mitigación de emisiones en sistemas solares de calentamiento de agua combinados con electricidad y con gas licuado. En una instalación típica los colectores solares representan el 48,2 %, del consumo de energía y el 50,9 % de las emisiones de gases.; valores menores corresponden a materiales varios, al tanque de almacenamiento y a las actividades complementarias en la vida útil de la misma.

Si se comparan dos instalaciones combinadas de similares características, se logra mayor generación de energía neta al usar gas licuado, pero cuando se emplea electricidad se obtiene mayor mitigación neta de las emisiones. Los períodos de amortización energética y ambiental varían entre 9,6 y 13,8 meses para las instalaciones típicas.

Cuando se analizan instalaciones que se diferencian por el parámetro que representa las pérdidas de calor en los colectores solares, se considera en cada uno de los casos el valor del período de amortización energético y ambiental calculado para la correspondiente instalación típica.

En las condiciones propuestas, la energía consumida por los colectores y la generación neta son mayores con gas licuado y con menores pérdidas (SGL-A), pero el cociente entre las energías generada neta y consumida por los colectores es máximo para la instalación con mayores pérdidas (SGL-E). Con electricidad y menores pérdidas de calor (SE-A) son máximas la emisión de los colectores y la mitigación neta, aunque en la instalación con mayores pérdidas (SE-E), es mayor el cociente entre la emisión evitada neta y la propia de los colectores solares.

Referencias

- [1] IPCC, Cambio climático 2007: Informe de síntesis, 2007.
- [2] OMM, Declaración de la Organización Meteorológica Mundial sobre el estado del clima mundial en 2011, 2012.
- [3] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2012.
- [4] REN21, Renewables Global Status Report, 2012.
- [5] F. Consoli, D. Allen, I. Boustead, J. Fava, W. Franklin, A.A. Jensen et al., eds., Guidelines for life-cycle assessment: a "code of practice", Society of Environmental Toxicology and Chemistry SETAC, 1993.
- [6] Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco. Análisis de ciclo de vida y huella de carbono: dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto, 2009.
- [7] E. Albizzati, "Reducción del consumo energético y de la emisión de gases en instalaciones para el calentamiento solar de agua", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 16, pp. 7.01-7.06, 2012.
- [8] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, and V. Lo Brano, "Life cycle assessment of a solar thermal collector", Renewable Energy, vol. 30, no. 7, pp 1031-1054, 2005.
- [9] S. Kalogirou, "Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters", Solar Energy, vol 83, no. 1, pp.39-48, 2009.
- [10] C. J. Koroneos, and E. A. Nanaki, "Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater", Journal of Cleaner Production vol. 37, pp. 154-161, 2012.
- [11] Y. Hang, M. Qu, and F. Zhao, "Economic

and environmental life cycle analysis of solar hot water systems in the United States”, *Energy and Buildings*, vol. 45, no. 2, pp. 181-188, 2012.

[12] F. J. Rey-Martínez, E. Velasco-Gómez, J. Martín-Gil, L. M. Navas Gracia., and S. Hernández Navarro, “Life cycle analysis of a thermal solar installation at a rural house in Valladolid (Spain)”, *Environmental Engineering Science*, vol. 25, no. 5, pp. 713-724, 2008.

[13] *Colectores solares, Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico*, Norma IRAM 210002, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 1983.

[14] *Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors*, ANSI/ASHRAE 93, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2010.

[15] E. Albizzati, *Energía solar térmica: principios básicos y aplicaciones tecnológicas*. Santa Fe: Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral, 2012.

[16] J. A. Duffie, and W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*, 3rd ed.: NewJ. Wiley, 2006.

[17] S. Kalogirou, *Solar energy engineering: processes and systems*. Burlington MA, San Diego California, London: Academic Press, 2009.

[18] A. Alcorn, *Embodied energy and CO2 coefficients for NZ buildings materials*, Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington, NZ, 2003.

[19] G. Hammond, and C. Jones, *The inventory of carbon & energy (ICE)*, Report BSRIA BG 10, 2011.

[20] Consejo Mundial de la Energía, *Comparación de los sistemas energéticos utilizando ECV*, 2004.

[21] Atmospheric Science Data Center, NASA Langley Research Center. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>.