

COMPARACIÓN ECONÓMICO-AMBIENTAL DEL USO DE ENERGÍA SOLAR RESPECTO AL GAS NATURAL PARA AGUA CALIENTE SANITARIA EN LA CIUDAD DE MENDOZA

Erica N. Correa, Alejandro Herrerías, Ana Albornoz, Gisela Villarroel, Alejandro P. Arena

Grupo CLIOPE. Energía, Ambiente y Desarrollo Sustentable
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza. Coronel Rodríguez 273. 5500 Mendoza.
Tel 0261 4239596. Fax: 0261 4239239.
E-mail: aparena@frm.utn.edu.ar

Resumen: En este trabajo se aplica la metodología del Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCC) y Análisis Ciclo de vida (LCA) para analizar el impacto económico-ambiental del uso de los calefones solares y comparar los resultados con el impacto derivado del uso de sistemas convencionales de producción de agua caliente sanitaria que funcionan con gas natural. Para la etapa de evaluación económica se han supuesto cinco escenarios energéticos diferentes.

Los resultados presentados en este trabajo muestran que el uso de energía solar reduce considerablemente la producción de gases de efecto invernadero, para el caso de estudio aproximadamente un 60% menos. Desde el punto de vista de su económico su eficiencia está vinculada a los incrementos del precio de la energía. Esto permite concluir que los sistemas que operan con energía solar ofrecen una protección significativa al medioambiente y deben ser usados siempre que sea posible con el objeto de alcanzar la sustentabilidad.

Palabras clave: tecnologías limpias, impacto medioambiental, evaluación económica, LCA, LCC.

INTRODUCCIÓN

Existe prácticamente certeza que el calentamiento del clima es producido por la emisión de los gases de efecto invernadero, liberados principalmente durante la combustión de combustibles fósiles. Las consecuencias de este calentamiento son difíciles de establecer, pero pueden ser críticas para la humanidad.

El uso global de energía se ha incrementado casi un 70 % desde 1971, y las previsiones indican que podría aumentar un 2 % anual en los próximos 15 años. Si no se produce una mejora considerable en la eficiencia energética y un cambio de fuentes energéticas substituyendo los combustibles fósiles por fuentes renovables, el aumento de las emisiones de los GHG puede poner en serio riesgo las condiciones de habitabilidad de nuestro planeta.

Entre las distintas tecnologías que han aparecido para el aprovechamiento de las fuentes renovables está la de los calefones solares. Calentar agua con energía solar implica aprovechar un recurso local, distribuido y perdurable en el tiempo, contribuyendo a la sustentabilidad energética y ambiental. Esta tecnología no reemplaza totalmente los combustibles tradicionales, pero dependiendo de condiciones climáticas, culturales y de diseño, se pueden alcanzar disminuciones muy significativas en el consumo cotidiano doméstico, sobre todo en climas con buena disponibilidad solar como es el caso de la provincia de Mendoza.

En principio, el uso de esta tecnología produce importantes beneficios cuando se sustituye un combustible fósil, que pueden sintetizarse en: Reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, reducción de emisiones nocivas para el ambiente asociadas a la combustión de combustibles fósiles, beneficio económico. Si el combustible que se está substituyendo es leña, los beneficios son diferentes: Contribución a la conservación de cuencas y de la biodiversidad localizada en la zona, disminución de la pérdida de suelos vivos por erosión (evitando así el aumento de la desertificación, de la erosión, la disminución de tierras fértiles, el aumento del riesgo de inundación, etc.); además (evita la pérdida de infiltración, disminución de la retención de humedad de los vegetales, el aumento de la reflectividad del suelo, la pérdida de biodiversidad, la disminución del efecto de sumideros de CO₂)

No obstante estas importantes ventajas, es necesario tener en cuenta que en este caso, como en general con todas las tecnologías limpias, para aprovechar un recurso diferente al tradicional es necesario fabricar nuevos componentes, obtener nuevos materiales, incorporar nuevos procesos, todo lo cual trae aparejado nuevos consumos energéticos, impactos ambientales y costos económicos. Esto surge al considerar no sólo la fase de uso de la tecnología en consideración, sino todo su ciclo de vida, incluyendo la extracción de materia prima, la fabricación de componentes, el transporte, el desmantelamiento y la disposición final, así como todos los procesos que asisten a los citados, por ejemplo la generación de la energía eléctrica, fabricación de combustibles, etc.

Para poder conocer los reales beneficios de una tecnología limpia, es necesario realizar un estudio detallado que analice todos los posibles impactos sobre el ambiente, y todas las etapas de su ciclo de vida. En este trabajo el estudio del impacto ambiental es realizado con el método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y el estudio del impacto económico se lleva a cabo mediante el Análisis de Costos de Ciclo de Vida (ACCV).

CASO DE ESTUDIO

En este estudio se analiza el perfil ambiental de un calefón solar a lo largo de su vida útil, que funciona en la provincia de Mendoza, Argentina (32,8 ° Latitud Sur, 63.2 ° Latitud Oeste); y se lo compara con un sistema de calentamiento de agua que funciona con gas natural que es el combustible de mayor consumo en la Argentina para los servicios de agua caliente sanitaria, cocción y calefacción.

El calefón solar analizado es del tipo colector plano, con un sistema directo de calentamiento de agua y un solo tanque de acumulación, el mismo consiste en una caja rectangular de aluminio cubierta por una superficie de cristal templado de 1,2m de ancho x 3,08 m de largo y 4mm de espesor en cuyo interior se encuentra la superficie absorbente que está construida con 8 tubos de cobre de 0,435 cm. de diámetro interior y 0,1 cm. de espesor dispuestos entre dos placas de aluminio, pintadas de color negro mate. El material aislante utilizado es lana de vidrio de 50 mm. de espesor, colocado en el fondo y los laterales del calefón solar. El tanque de acumulación de 300 l de capacidad está construido de acero inoxidable (peso 9 Kg.) y aislado con lana de vidrio de 7.62 cm. de espesor. Para el cálculo del consumo de agua caliente sanitaria se toma como base una familia tipo constituida por 4 personas, en ausencia de datos estadísticos locales se considera como consumo de agua caliente sanitaria 50 l. por persona por día, valor sugerido por la bibliografía.

METODOLOGÍA EVALUACIÓN ECONÓMICA

El método utilizado para realizar el análisis del costo del ciclo de vida es el LCC, (life cycle costing). El análisis LCC se utiliza para evaluar sistemas alternativos que compiten sobre la base del costo, para lo cual es necesario que los mismos sean equivalentes desde el punto de vista funcional (eficiencia, seguridad, confort, confiabilidad, etc.). El método suma todos los costos relacionados con la posesión y operación del sistema analizado, durante el período de estudio determinado. Estos costos son ajustados teniendo en cuenta el distinto valor que el dinero tiene en distintos momentos. La alternativa que presenta el menor costo de ciclo de vida, incluyendo los costos iniciales de inversión y todos los gastos producidos durante su vida útil, resulta ser la alternativa más económica (Marshall, 1995). En la práctica, se incluyen en el análisis solamente aquellos costos que son diferentes entre las alternativas estudiadas. Entre estos se encuentran: costos iniciales de inversión, costos de sustitución de capital, valor residual (que puede ser negativo en caso de tener valor de reventa), costos de operación, mantenimiento y reparación, costos financieros e impositivos. Estos costos son calculados usualmente en valor presente, los que se obtienen descontando los costos que ocurren en distintos momentos de la vida de esas alternativas, aplicando las mismas tasas de descuento para todas las alternativas evaluadas.

Para descontar un costo futuro al valor presente se utiliza la siguiente ecuación: **Valor Presente (VP) = A {1/(1+d)}ⁿ (1)**

donde: A = costo en el año n; d = tasa de descuento; n = número de años a partir del año cero en el que se produce el costo A

El período de estudio del análisis, que es el horizonte temporal en el que las distintas alternativas son evaluadas, debe ser suficientemente largo para poder reflejar las diferencias de costo de largo plazo que se pueden presentar entre las distintas alternativas estudiadas. En el caso analizado en este trabajo, se considerarán 20 años de vida útil, coincidente con la vida útil estimada del calefón solar.

Para hacer el análisis del LCC es necesario hacer estimaciones sobre la tasa de descuento de la inversión (Tr), y sobre la tasa de aumento del precio de la energía (Te). Este último factor presenta una notable volatilidad, lo que se ha puesto de manifiesto en estos últimos meses.

La ecuación (2) muestra el cálculo del costo del ciclo de vida de un sistema, como la suma del costo de inversión inicial I, el valor presente de los costos de sustitución R, el valor presente de los costos energéticos E, y el valor presente de los costos de operación, mantenimiento y reparación (OMR), menos el valor presente del valor residual S.

$$LCC = I + R + E + OMR - S \quad (2)$$

Hipótesis de cálculo

Tasa de descuento: se adopta una tasa real de descuento (por encima de la inflación) del 2 % en algunos escenarios, y del 0 % en otros. La elección de la tasa del 2 % se fundamenta en el hecho que el inversor en este tipo de tecnologías, asumido como el propietario de la vivienda, evalúa invertir en ellas o bien dejar su dinero en el banco, que brinda en este momento tasas reales de ese orden para los niveles de inversión requeridos (que no superan los \$ 10.000). El análisis para otro tipo de usuario, por ejemplo, una ESCO (Energy Service Company) que invierte en proyectos de eficiencia energética como negocio, sería seguramente más elevado.

Inflación: dado que se realizarán los cálculos utilizando tasas de descuento reales, no se incluirá la tasa de inflación.

Costo de la energía (gas natural): fue estimado en un valor medio de 14,823 centavos por m³, a lo que se adicionan las tasas, IVA y el cargo fijo según la información suministrada por la compañía distribuidora local. El cargo fijo ha sido prorrateado en cada caso en el total de m³ consumidos, por cada alternativa, por lo que el costo medio final resultante para cada una es ligeramente diferente.

Diseño de escenarios

Se analizan a continuación distintos escenarios para realizar el cálculo de los costos de ciclo de vida de las dos alternativas analizadas, teniendo en cuenta los costos de inversión y los costos energéticos asociados al calentamiento de agua caliente sanitaria durante los 20 años de vida útil considerados.

Escenario 1

En este escenario supone que no se registrarán aumentos del precio real de la energía (es decir, prescindiendo de la inflación, y con relación a otros bienes y servicios) durante la vida útil de los edificios, y una tasa de retorno TR del 2 %. Este escenario seguiría la posición de aquellos que sostienen que hay abundancia de combustibles para varias décadas más, y que

no se producirán aumentos. Dado que es improbable que en el futuro haya más disponibilidad de combustibles que la actual, tampoco habría una disminución de precios. Los cálculos hechos sobre esta base estarían así subestimando la bondad de las medidas conservativas.

Escenario 2

Este escenario asume que los precios futuros de la energía seguirán las tendencias que se registraron en el pasado, para lo cual se analizó la serie histórica de precios al consumidor del gas natural de los últimos 15 años (sin incluir el período siguiente a la devaluación del 2001), a partir de datos obtenidos de la Secretaría de Energía de la Nación, y se la extrapoló hacia el futuro con el método de los mínimos cuadrados. De este modo resulta una tasa media de aumento de los precios de la energía (Te) del 3 % durante la duración estimada de los edificios. La TR utilizada para estas evaluaciones fue del 2 % como en el escenario anterior.

Escenario 3

Se plantea como el primer caso que no hay aumentos del precio real de la energía durante la vida útil estimada, y que la tasa de retorno es nula (0 %), es decir que compara los costos de inversión con los ahorros energéticos sin descontar. La elección de una tasa de retorno nula se justifica porque por un lado, utilizando tasas reales se trata de unos pocos puntos porcentuales, por lo que no se incurre en un gran error al estimarla nula, y por otro lado, la tasa de retorno de una inversión tendiente a preservar recursos naturales para las próximas generaciones, y a evitar la contaminación del ambiente debería ser menor en cualquier caso que las de mercado.

Escenario 4

En este escenario se estudia el efecto sobre la rentabilidad económica de la implementación de las estrategias sugeridas en caso de concretarse el aumento en el precio del gas natural que surge del contrato recientemente firmado entre el gobierno y la empresa Techint. Dado que la gradualidad en la que este aumento se concretaría es desconocida, y suponiendo que efectivamente este se produciría en la boca de pozo y que su efecto llegaría al consumidor final con un retraso (dado el enorme impacto social, político y económico que tendría un aumento de esta magnitud) se ha supuesto que se alcanzaría el aumento del 144 % en 5 años, de modo de finalizar luego del próximo período electoral nacional. Esto equivale a un aumento del 19,53 % anual, comenzando este año. De este modo, el aumento para este primer año es del orden del anunciado (y aún no concretado) por el gobierno. A partir del quinto año, la suba en los costos energéticos continuaría con la tendencia registrada en los últimos 15 años. La tasa de retorno aplicada en este escenario es del 2 %.

Escenario 5

Este escenario mantiene la hipótesis del Escenario 4 en cuanto al aumento del precio de la energía, pero hipotiza una tasa de retorno nula.

METODOLOGÍA EVALUACIÓN AMBIENTAL

El impacto ambiental de las tecnologías analizadas se lleva a cabo mediante el método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) siguiendo los lineamientos propuestos por la SETAC (Consoli, et al 1993). De acuerdo a la ISO 14040 (ISO,1997), las etapas de un ACV son Definición; Inventario; Evaluación de Impactos e Interpretación.

Definición del estudio: el impacto ambiental producido por la fabricación, colocación y uso de 1 colector solar de 2.96 m² de área colectora que funciona en la provincia de Mendoza, Argentina 20 años de vida útil.

Inventario: Se consideran todos los recursos consumidos en la fabricación, instalación, transporte y operación del calefón solar seleccionado y se lo compara con el consumo de gas natural que tendría un calefón a gas convencional que posee una eficiencia térmica de 0.8, para dar respuesta a los requerimientos de 200 l de agua caliente sanitaria a 50 °C de temperatura que demanda diariamente una familia de 4 personas. Dado que el sistema solar complementa la instalación a gas ya preexistente no se consideran los flujos de materia y energía involucrados en la fabricación del calefón convencional, que sigue funcionando sufriendo la carga térmica demandada que no alcanza a abastecer el sistema solar. Se han considerado además las emisiones liberadas y los recursos consumidos en los procesos energéticos (producción de la energía eléctrica consumida, transporte de materia prima), y en la elaboración de la materia prima empleada (principalmente aluminio, vidrio, cobre, acero inoxidable, fibra de vidrio y pintura selectiva), como así también todos los procesos necesarios para el acabado de los materiales, laminados, rolados, etc. La fase de disposición final no ha sido incluida en este estudio, por falta de valores estadísticos locales atendibles.

Evaluación de Impactos: Los resultados obtenidos de la etapa de Inventario del análisis constituyen una gran masa de datos sobre materiales y energía consumida y efluentes producidos, cuya magnitud hace difícil la interpretación. Por este motivo estos resultados se elaboran, asociando cada sustancia consumida o liberada a una categoría de impacto. Este proceso se conoce como Categorización de los impactos, y constituye la primera actividad de la fase de Evaluación de Impactos. En este trabajo se ha utilizado la metodología propuesta por Wenzel y colaboradores, denominada EDIP 96 [Wenzel y col., 1997]. Las categorías de impacto consideradas son el Potencial de Calentamiento Global (GW), El potencial de adelgazamiento de la capa de ozono (OD); el potencial de Acidificación (AC); el potencial de Eutrofización (EU); el potencial de creación de ozono fotoquímico (SP); Toxicidad Humana (HT) al aire, agua y suelo y Ecotoxicidad (ET). Las etapas descriptas anteriormente se han llevado a cabo mediante el uso del Simulador Sima Pro (PRé Consultans, 1998), debido a la abundante información sobre materiales, combustibles, procesos y sistemas de transportes presentes en sus bases de datos.

Para calcular la fracción de carga térmica que puede suministrar el colector solar analizado se ha aplicado el método del f-chart (Kreider et al, 1981), considerando los datos climáticos de la provincia de Mendoza suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional (Estación Observatorio, 2000), los valores de radiación sobre plano inclinado a 33°, calculados mediante el método de LIU JORDAN (distribución anisotrópica de la radiación) mediante el programa GEOSOL (Hernandez, 2001), ver Tabla N°1 y las variables de consumo de agua caliente sanitaria y temperatura de la misma seleccionadas anteriormente. Los resultados de la aplicación del método del f-chart pueden verse en la Tabla N°2, donde en la primera columna se encuentra el consumo de gas natural necesario para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria a 50°C de temperatura para una familia tipo de 4 personas usando un calefón a gas, en la segunda columna se encuentra la fracción de ese consumo que el colector solar analizado puede cubrir dadas sus características constructivas y el lugar en el cual se encuentra emplazado y en la tercer columna se observan la energía auxiliar necesaria, es decir el consumo de gas que

el sistema solar requerirá del tradicional para cubrir la demanda familiar en las condiciones supuestas. Este consumo de gas auxiliar será sumado a los recursos utilizados por el colector solar a lo largo de su ciclo de vida considerado en 20 años.

Mes	T° aire °C	H _{0°} (MJ/m2)	H _{33°} (MJ/m2)
Enero	23,6	25,7	23.43
Febrero	22,5	24	23.65
Marzo	19,8	18,6	20.15
Abril	15,4	14,7	18.31
Mayo	11,6	11,1	15.56
Junio	7,9	9,1	13.41
Julio	7,8	9,9	14.37
Agosto	10,1	14,1	19.22
Setiembre	13,2	17,2	19.79
Octubre	16,7	22,7	23.23
Noviembre	20,1	24,5	22.83
Diciembre	22,3	25,4	22.81

Tabla N°1 Datos Meteorológicos Mendoza

Mes	Demanda m3 gas	f	Gas aux. m3
Enero	33.21	0.79	7.13
Febrero	30	0,79	6.26
Marzo	33.21	0,69	10.33
Abril	32.14	0,63	11.89
Mayo	33.21	0,53	15.45
Junio	32.14	0,45	17.54
Julio	33.21	0,49	16.91
Agosto	33.21	0,66	11.31
Setiembre	32.14	0,68	10.36
Octubre	32.14	0,78	7.08
Noviembre	32.14	0,77	7.44
Diciembre	33.21	0,77	7.71
Total	390		129.4

Tabla N° 2 Fracción consumo de gas cubierta por el colector

RESULTADOS OBTENIDOS EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Las tablas siguientes contienen los resultados obtenidos, indicando en la primera fila los parámetros utilizados en los cálculos. Aquí se ha indicado con Te % la tasa de aumento del costo de la energía, con TR % la tasa de retorno utilizada, y con N la duración de la vida útil del edificio en años. En la Tabla N° 3 se presentan para las dos alternativas los costos de inversión inicial y el consumo anual de energía por calefacción en m3/año. Estos valores son obviamente los mismos en todos los escenarios planteados.

	Uso anual de energía por calefacción [m3]	Costo de inversión [\$]
Tradicional	390	0
Eficiente(solar)	0	2500
Ahorros	390	-2500

Tabla N° 3. Costos de inversión inicial y consumo anual de energía por calentamiento de agua

En las Tablas N° 4, se sintetizan los resultados obtenidos de los costos de ciclo de vida para los distintos escenarios, donde se ha evidenciado en negritas la alternativa más rentable desde el punto de vista económico. En las Tablas N° 5 se brindan medidas suplementarias de evaluación de la eficiencia económica de la alternativa energéticamente eficiente comparada con la tradicional. Estas medidas son la relación Ahorro/Inversión (que resulta mayor que uno si la inversión es rentable), la tasa interna de retorno ajustada (que indica una inversión rentable cuando es superior a la tasa de retorno), el período de repago (que mide el número de años en los que se recupera la inversión realizada, sin considerar el valor temporal del dinero), y el período de repago ajustado, que difiere del anterior en que considera el valor temporal del dinero en su cálculo.

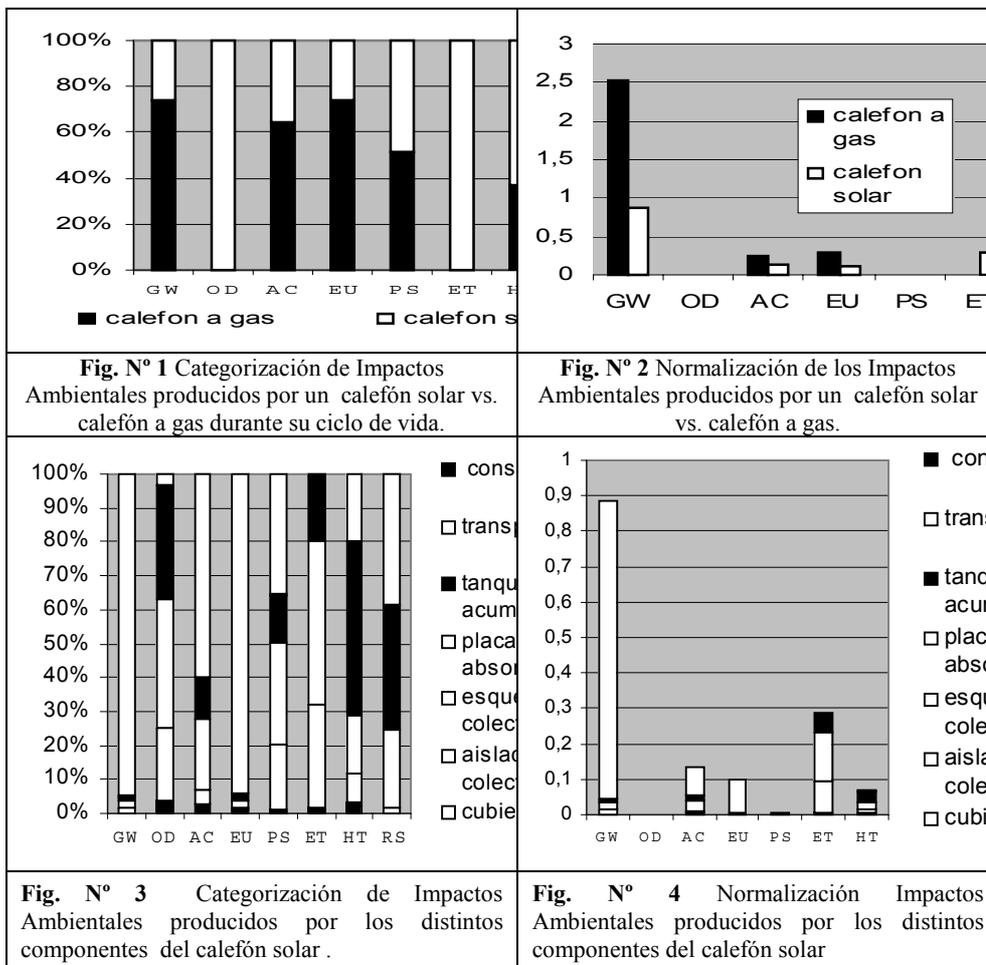
	Caso Base: Tradicional	Caso Alternativo: Solar	Ahorros netos producidos por la alternativa	Medidas suplementarias	
ESCENARIO 1: Tr: 2 %; Te: 0 %					
Costo de inversión inicial:	0	2500	-2500	Relación Ahorro/Inversión:	0,25
Costos energéticos futuros:	1358	729	630	Tasa interna de retorno ajustada:	-4,8 %
Costo del ciclo de vida:	1358	3229	-1870	Período de repago simple:	No alcanzable
				Período de repago ajustado:	No alcanzable
ESCENARIO 2: Tr: 2 %; Te: 3 %					
Costo de inversión inicial:	0	2500	-2500	Relación Ahorro/Inversión:	0,45
Costos energéticos futuros:	1844	729	1115	Tasa interna de retorno ajustada:	-2,07 %
Costo del ciclo de vida:	1844	3229	-1385	Período de repago simple:	No recuperable
				Período de repago ajustado:	No recuperable
ESCENARIO 3: Tr: 0 %; Te: 0 %					

Costo de inversión inicial:	0	2500	-2500	Relación Ahorro/Inversión:	0,33
Costos energéticos futuros:	1661	825	836	Tasa interna de retorno ajustada:	-5.33 %
Costo del ciclo de vida:	1661	3325	-1664	Período de repago simple:	No recuperable
				Período de repago ajustado:	No recuperable
ESCENARIO 4: Tr: 2 %; Te: 19,53 % 5 primeros años, 3 % el resto					
Costo de inversión inicial:	0	2500	-2500	Relación Ahorro/Inversión:	1,04
Costos energéticos futuros:	3331	729	2602	Tasa interna de retorno ajustada:	2,20%
Costo del ciclo de vida:	3331	3229	102	Período de repago simple:	18
				Período de repago ajustado:	20
ESCENARIO 5: Tr: 0 %; Te: 19,53 % 5 primeros años, 3 % el resto					
Costo de inversión inicial:	0	2500	-2500	Relación Ahorro/Inversión:	1,34
Costos energéticos futuros:	4183	825	3358	Tasa interna de retorno ajustada:	1,49 %
Costo del ciclo de vida:	4183	3325	858	Período de repago simple:	18
				Período de repago ajustado:	18
Tabla N° 5. Costos del Ciclo de Vida				Tabla N° 6. Medidas suplementarias de evaluación económica	

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL

En la figura N°1 se puede observar gráficamente para los sistemas cuyo impacto ambiental estamos comparando, cual de ellos impacta más en cada una de las categorías evaluadas. El uso del calefón a gas impacta mucho más que el sistema mixto solar-gas auxiliar en las categorías de calentamiento global, acidificación, eutrofización y smog fotoquímico duplicando o más la cantidad de emisiones que provienen del colector solar. Sin embargo el calefón solar es mucho más impactante en cuanto a las categorías de ecotoxicidad y toxicidad humana, es decir los metros cúbicos de aire, suelo y agua contaminados debido a la existencia del colector solar son muy superiores a los que derivan del consumo de gas natural por parte del sistema convencional, esto en parte se debe a los procesos de extracción y procesamiento de metales y aislantes presentes en el cuerpo del colector solar, procesos muy intensivos en cuanto a la generación de emisiones de metales pesados y compuestos químicos poli-aromáticos, que son los que ocasionan este tipo de impacto ambiental. Cabe aclarar que el considerar los componentes presentes en la fabricación del calefón tradicional no modificaría los resultados de esta evaluación de impactos dado que en los sistemas que estamos analizando si yo agrego el impacto de la fabricación del calefón convencional al sistema que opera solo a gas también debo agregar este impacto al sistema colector solar-gas auxiliar, por lo tanto el impacto es el mismo y los valores finales no se modifican. Este grado de evaluación de impactos nos permite observar como se comporta cada sistema evaluado con respecto a una determinada categoría de impacto, pero no nos permite decir nada de la importancia relativa de unas categorías de impacto sobre las otras. Para poder sacar este tipo de conclusiones necesitamos referir las cantidades de sustancias equivalentes agrupadas en cada categoría a un patrón, esa clase de información la obtenemos mediante el proceso de normalización, el cual refiere las emisiones de cada categoría a las emisiones de esa sustancia equivalente generada por habitante europeo, de este análisis cuyo resultado observamos en la figura N° 2 concluimos que la categoría en la que el impacto de los sistemas que estamos evaluando es mayor es el Calentamiento Global efecto conocido por todos, responsable del cambio climático, seguido en menor grado por la eutrofización, la ecotoxicidad y la acidificación. Además vemos que dentro de estas categorías donde el impacto es más importante el sistema que más impacta es el sistema de calentamiento de agua convencional, salvo para la ecotoxicidad donde el sistema solar es de mayor impacto por las razones anteriormente expuestas.

Hasta el momento hemos comparado el funcionamiento ambiental de ambos sistemas dentro de las distintas categorías de impacto, ahora en la figura N° 3 podemos observar el proceso de categorización de impactos pero sólo para el sistema solar, allí se observan los distintos componentes del calefón solar y su participación o impacto dentro de cada una de las categorías analizadas, se observa que el consumo de gas auxiliar del sistema es altamente impactante en cuanto al calentamiento global, acidificación, eutrofización, smog fotoquímico y consumo de recursos se refiere, mientras que los componentes del tanque de acumulación, el área colectora y el esqueleto del calefón impactan fuertemente en la disminución de la capa de ozono, la ecotoxicidad, la toxicidad humana y la generación de smog fotoquímico. En la figura N° 4 se observa el proceso de normalización de los impactos ocasionados por los componentes del sistema solar refiriéndolos a emisiones por habitante europeo y se observa que el impacto más importante que el sistema solar produce es dentro de la categoría de calentamiento global y que el consumo de gas auxiliar es el principal responsable de este efecto, lo mismo podríamos decir de la ecotoxicidad que es la categoría de impacto que sigue en importancia y los componentes responsables dentro del sistema solar de este impacto son los materiales del tanque de acumulación, el esqueleto y el área colectora. Este tipo de análisis permite además saber dentro de cada uno de los componentes del calefón solar cual es el proceso o material de mayor impacto por ejemplo para el tanque de acumulación de acero inoxidable, la extracción y el procesamiento del níquel es el proceso más impactante seguido de la producción del aislante de fibra de vidrio. En la placa absorbidora la producción del aluminio seguido del consumo de electricidad que está asociado a los procesos de transformación y trabajado de los metales presentes en la placa son los procesos de mayor impacto, lo mismo para el esqueleto del colector.



CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos puede decirse que el sistema solar mixto para la producción de agua caliente sanitaria, constituye una excelente alternativa para disminuir el impacto ambiental asociado al consumo de combustibles fósiles. En cuanto a su eficiencia económica vemos que la sustitución resulta rentable a partir de los resultados obtenidos en las condiciones del 4to y 5to escenario, es decir a partir de considerar un fuerte incremento en los costos de la energía. Debe constar que estos resultados están condicionados a la tecnología constructiva involucrada en los sistemas de aprovechamiento de la energía solar, es decir que podrían resultar más o menos favorables si se modificaran los procesos y/o materiales empleados para su fabricación. Por ejemplo si se reemplazara el tanque de acumulación de acero inoxidable, de alto costo y alto impacto ambiental por otro material.

Además los resultados muestran el Análisis de Ciclo de Vida y de Costos de Ciclo de Vida son una herramienta poderosa para realizar evaluaciones objetivas de impacto económico y ambiental pues no solo permiten obtener el comportamiento comparativo de dos sistemas que tienen el mismo nivel de prestaciones, sino además detectar dentro de cada uno de los sistemas cuáles son los procesos responsables de ocasionar el mayor impacto económico y ambiental, a modo de poder optimizar económica y medioambientalmente las tecnologías estudiadas tratando de reemplazar procesos o componentes de mayor impacto. Dentro del ámbito de las energías renovables se presenta como una herramienta válida para poder mostrar los beneficios ambientales y la posibilidad económica de la incorporación de éstas tecnologías y a la vez evaluar el comportamiento ambiental de las alternativas tecnológicas que puedan desarrollarse dentro de este ámbito.

REFERENCIAS

- Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.a., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J. and Vigon, B.: Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. From the SETAC Workshop held in Sesimbra, Portugal 31 March – 3 April 1993. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Brussels, 1993
- ISO 14040 Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework. 1997.
- Wenzel et al. EDIP-96 method (Environmental Design of Industrial Products), 1997.
- PRé Consultance Sima Pro 5.1 Educational. 1998
- Kreider, J and Kreith, F, Solar Energy Handbook. 1981. Mc Graw –Hill Book Company. New York
- Hernandez, A, Programa GEOSOL. Avances en Energías Renovables y Medioambiente, pp 01.47-52 Vol.6 N°1. ISSN 0329-5184. Año 2001

ABSTRACT

In this paper, the life cycle analysis (LCA) and life cycle costing methodology are applied for the assessment of the economical and environmental impact of a solar water heating and the results are compared to the environmental consequences of burning fossil fuels like natural gas. For the purposes of economical analysis five different energy scenarios are considered. From an economical point of view the efficiency depend of the energy price.

The results presented in this paper show that by using solar energy, considerable amounts of greenhouse polluting gasses are avoided. In the case of hot water system the saving is about 60%. It can, therefore, be concluded that solar energy systems offer significant protection to the environment and should be employed whenever possible in order to achieve a sustainable future.