

## VII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial

### “Evaluación económica de la instalación a baja escala de colectores solares planos”

*Fauroux, Luis Enrique\**, *Díaz, Daniel*, *Blanco, Gabriel E.*, *Castillo, Domingo A.*,  
*Degaetani, Omar J.*, *Jara, David E.*, *Martín Campo, Fernando L.*, *Marotta,*  
*Luciano R.*

*Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza.*  
*Florencio Varela 1903 (B1754JEC). San Justo, Buenos Aires, Argentina.*  
[lfauroux@ing.unlam.edu.ar](mailto:lfauroux@ing.unlam.edu.ar)

#### RESUMEN

El impacto ambiental provocado por el uso de combustibles fósiles, entre otros, es el motivo de la búsqueda de fuentes de energía alternativas como la energía solar térmica. En este contexto el objetivo es realizar un análisis de la viabilidad económica para la implementación de un sistema solar térmico a baja escala. Es decir a nivel residencial, esto podría eventualmente extrapolarse a pequeñas y medianas empresas. Las instalaciones térmicas solares tienen, como dificultad, una inversión inicial más elevada que la de un sistema térmico tradicional. No obstante, una vez que el sistema solar está instalado, los gastos de funcionamiento son mínimos y consisten únicamente en los escasos costes para el funcionamiento y el control del sistema, reparaciones ocasionales y mantenimiento periódico. En el caso de los sistemas que utilizan combustibles fósiles, en cambio, es necesario un suministro constante de los mismos y, por lo tanto, una compra en función de la necesidad térmica. En el contexto de la escala propuesta para el emprendimiento, se relevaron los requerimientos de agua caliente sanitaria a proveer utilizando la bibliografía de referencia, además de los costos de los insumos e instalación mediante el contacto con proveedores. Finalmente se analizó la existencia de facilidades financieras, y una propuesta en este sentido que permita amortizar la inversión. El uso de energías renovables hará a las economías sustentables y sostenibles. En este sentido, la energía solar es renovable, gratuita, y una de sus formas es la energía radiante. La propuesta consiste en evaluar el costo de la instalación a nivel domiciliario de un sistema de colectores solares térmicos planos, de esta manera reducir la demanda externa de energía, y contribuir entonces con en el cuidado del medio ambiente y de los recursos naturales

**Palabras Claves:** Colectores solares, evaluación, costos, proyecto.

#### ABSTRACT

The environmental impact caused by the use of fossil fuels is, among others, the reason for the search for alternative energy sources, such as solar thermal energy. In this context, the objective is to analyze the economic feasibility of implementing it at low level. That is, for home use, this could be eventually extrapolated to small and medium enterprises. Solar thermal systems have, as obstacle, that the initial investment required is higher than that of a traditional one. However, once installed, the operating costs are minimum, and consist of only those regarding the operation, the system control, occasional repairs, and regular maintenance. Those systems that use fossil fuels, however, will require a constant supply and, therefore, a purchase based on its thermal requirements. In the context of the proposal for the enterprise level, hot water requirements were surveyed to provide, in addition to input costs and installation. Finally the existence of financial facilities, and a proposal to this effect to enable a return on investment was analyzed. By using renewable energy sources, economies will become maintainable and sustainable. In this sense, solar energy is renewable, free, and one of its forms is the radiant energy. The proposal consists in evaluating the cost of installing a system of flat thermal solar collectors for home use, thereby reducing the demand for external sources of energy, and contributing to the care of the environment and its natural resources.

## 1. Introducción

### 1.1. Impacto ambiental de las emisiones gaseosas

El motivo del viraje hacia fuentes de energías alternativas está fundamentado en el impacto ambiental provocado, entre otros, por el uso de combustibles fósiles. La producción de energía es un factor de crecimiento para los países y por lo tanto un tema sensible. La combustión es una de las formas de producir la energía necesaria para la industria, además de para todos aquellos medios de transporte basados en la combustión interna. A nivel doméstico la combustión del gas natural se utiliza para la cocción de alimentos, calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). El proceso de la combustión genera dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El  $\text{CO}_2$  es uno de los gases causantes del efecto invernadero [1,5], el aumento de la concentración del mismo en la atmósfera ha transformado este efecto en “calentamiento global” [1,3,6]. La relación entre el “calentamiento global” y las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) puede observarse en los siguientes gráficos [1]:

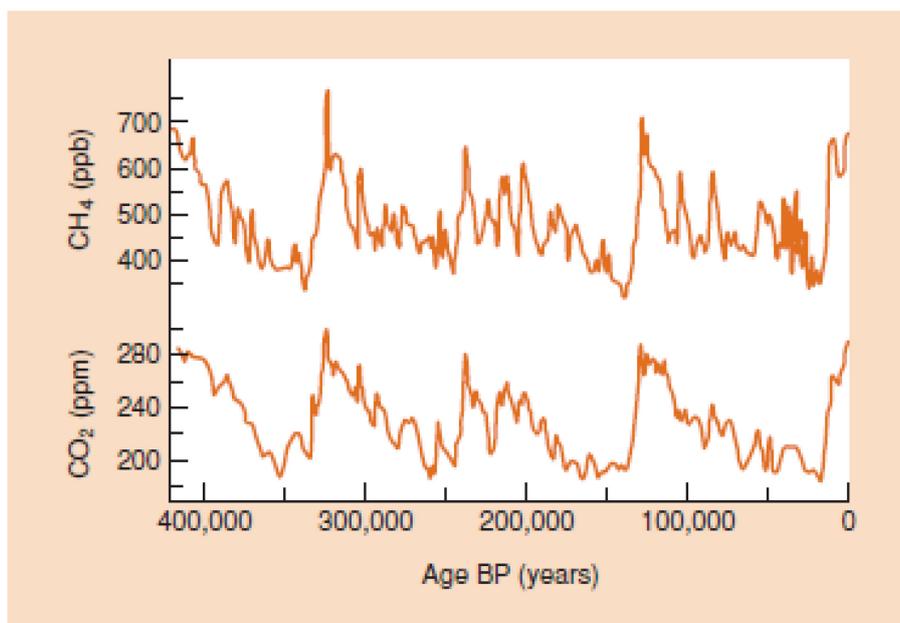


Figura 1 Concentración de gases de efecto invernadero en los hielos antárticos y árticos

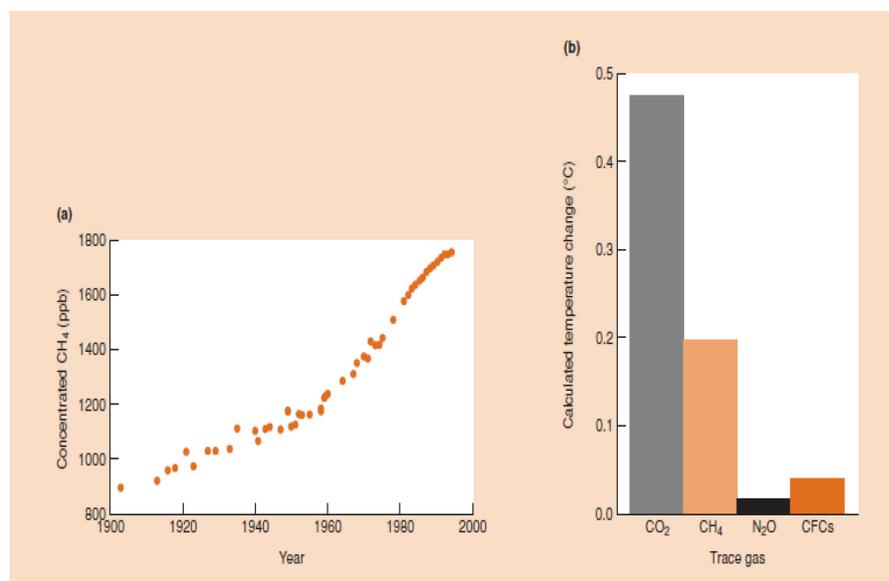


Figura 2 Aumento e influencia de los distintos gases en el “calentamiento global”

Los datos representados en los gráficos de las Figuras 1 y 2 fueron obtenidos midiendo la concentración de los gases ocluidos en bloques de hielos antárticos y árticos, y la densidad de los mismos. El análisis de estos gráficos sugiere entonces que una de las causas del calentamiento global es el aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$ , producto del uso de combustibles fósiles [1]. A los efectos de disminuir las emisiones de este gas, la propuesta alternativa en este trabajo consiste en utilizar energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria. La misma no provoca gases de efecto invernadero y es, además, un recurso natural renovable.

### 1.2. Disponibilidad y técnicas de captación de energía solar

La cantidad de energía solar que es recibida en el territorio de la República Argentina, promediando la zona comprendida al norte del río Colorado que cubre un total de 2 millones de  $\text{km}^2$ , es de  $16,5 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  equivalente a  $4,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$  anualmente [2].

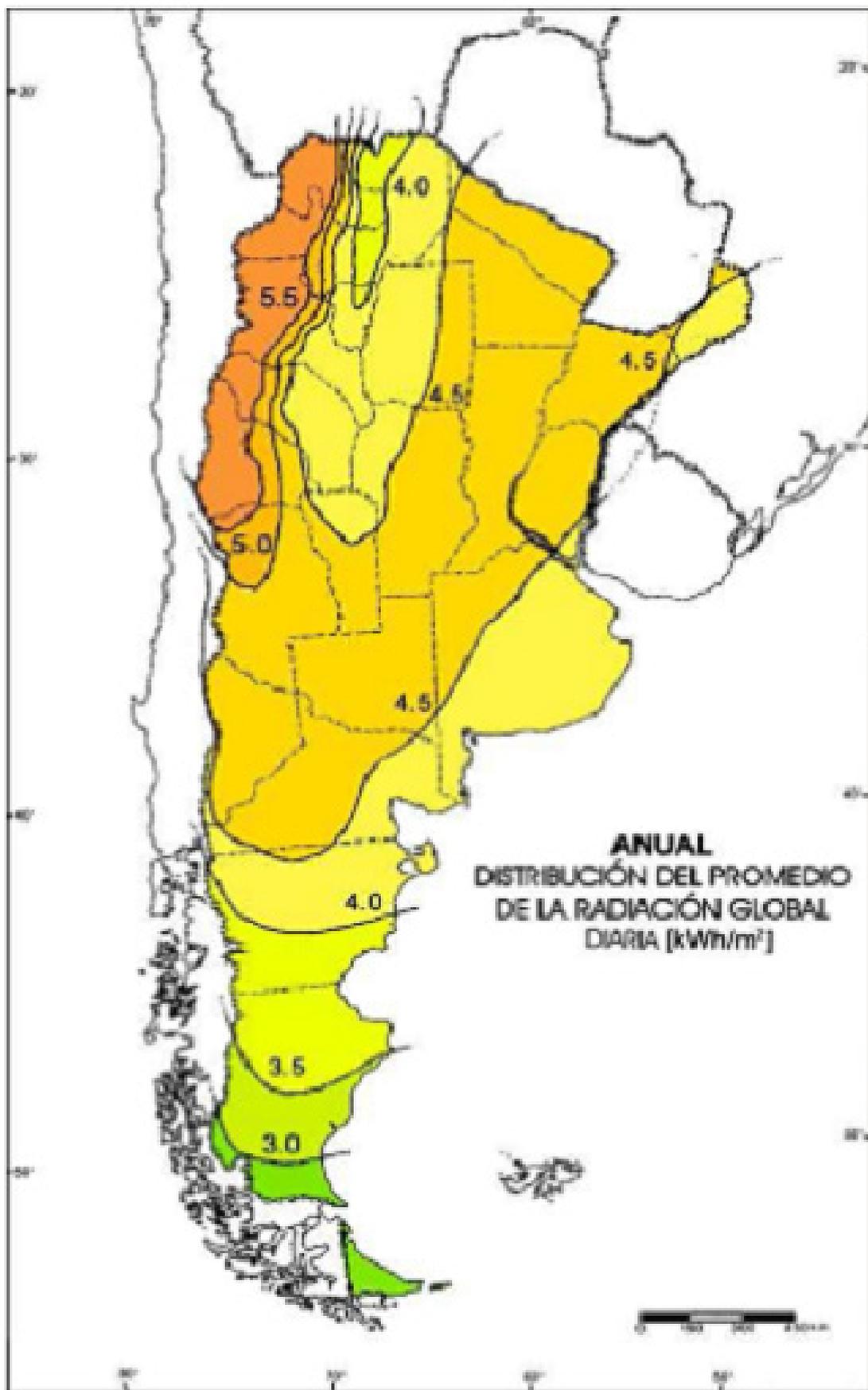


Figura 3 Mapa de radiación solar.

Las técnicas para capturar directamente una parte de esta energía radiante están disponibles y están siendo mejoradas permanentemente.

### **1.2.1. Energía solar térmica**

Consiste en utilizar el calor de la radiación solar mediante colectores solares. Su uso tiene diferentes aplicaciones: en centrales solares térmicas, para agua caliente, calefacción, refrigeración solar, cocinas y secadores solares. Los colectores pueden ser de convección forzada o natural, con tubos al vacío o no. El fluido caloportador circulante está compuesto por una mezcla de agua y glicol.

### **1.2.2. Energía solar termodinámica**

Es una técnica similar a la energía solar térmica. La diferencia con los mencionados en el apartado anterior radica en que el fluido caloportador necesita de un compresor para su circulación. El funcionamiento es similar al de un acondicionador de aire residencial. Los paneles solares termodinámicos no necesitan que el sol incida directamente sobre ellos y pueden generar calor incluso de noche o en días nublados. Es conveniente también que el viento y el agua de lluvia mantengan contacto con los paneles, de modo que no es necesario resguardarlos de la meteorología adversa.

## **1.3. Descripción de captadores térmicos planos**

### **1.3.1. Paneles solares térmicos**

Cada vez es más común ver casas y chalets que utilizan paneles solares térmicos, estas viviendas los incorporan en sus paredes o techos. Los captadores son de gran utilidad ya que pueden ahorrarnos dinero a largo plazo, su principal utilidad es la de calentar el agua de uso sanitario para el consumo doméstico, calefacción por radiadores o suelo radiante. En algunos casos también son utilizados para calentar el agua de piscinas, obtener aire acondicionado, desalinizar agua de mar y otros muchos usos; hasta son capaces de entregar energía durante la noche. En muchos países esta tecnología resulta de máxima utilidad pero es de un alto costo de inversión inicial. El ingenio humano es el que entra en juego en estas ocasiones, y muchos inventores caseros se atreven a hacer sus propios colectores solares, con muy buenos resultados. Si bien es cierto que los materiales utilizados en los paneles térmicos caseros no poseen aún la durabilidad de los utilizados en paneles comerciales, en muchos casos es la única posibilidad que tienen algunas familias de obtener agua caliente de forma económica. Los paneles solares térmicos son fáciles de instalar e integrar en una vivienda, aportan un gran ahorro en suministros y emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Para realizar una instalación de producción de agua caliente sanitaria son necesarios varios elementos: los captadores solares, un depósito acumulador de agua, opcionalmente un calentador complementario de apoyo (eléctrico o térmico), un circuito de agua que incluye las conducciones, bomba de circulación (si el sistema es forzado), válvulas y depósito de expansión. La superficie de la instalación y el volumen del calentador deberán calcularse de acuerdo con el consumo medio, y del número de personas que habiten en la unidad habitacional.



Figura 4 *Colector solar térmico plano*

### 1.3.2. Paneles solares termodinámicos

Los paneles solares termodinámicos son conceptualmente similares a un acondicionador de aire residencial. Son los encargados de absorber el calor ambiental y transmitirlo al gas que fluye por su interior con la finalidad de calentar agua. Estos paneles pueden ser colocados tanto en tejados como en fachadas o cualquier superficie vertical. Son fáciles de integrar en la arquitectura debido a su tamaño y bajo peso. Deben instalarse con una inclinación de 45° a 90°, pueden funcionar en ausencia de luz solar y su mantenimiento es muy reducido. Tienen una gran resistencia a agresiones externas y el fluido de trabajo no corre riesgo de congelación. Sin embargo este tipo de paneles trabaja de forma óptima cuando la temperatura está por encima de los 15°C, por lo que no están recomendados para zonas en las que las temperaturas bajen habitualmente de esta cifra. La principal diferencia con los colectores térmicos radica en el fluido caloportador. El fluido en este caso es un gas, como en las heladeras y equipos de refrigeración, por lo tanto podría estar sospechado de ser causante de daños ambientales a la capa de ozono. Esto significa un peligro potencial ante la posibilidad de liberar el gas a la atmósfera a causa de un accidente, o evento meteorológico como el granizo. Este riesgo hace que se descarte la evaluación de la implementación de este tipo de colectores, dado que el cuidado del medio ambiente es uno de los disparadores de la búsqueda de energías alternativas no contaminantes.

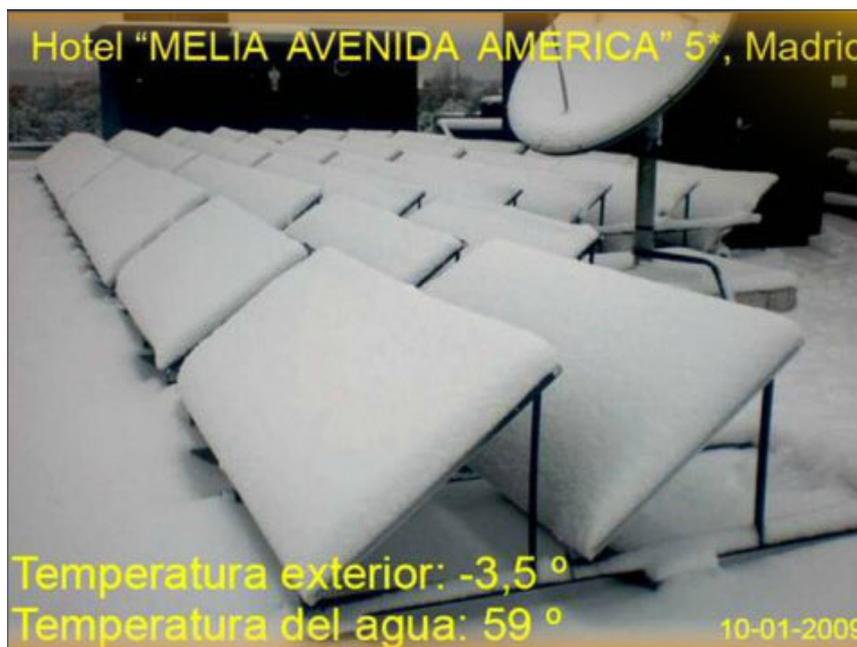


Figura 5 Colector solar termodinámico

## 2. Metodología

La evaluación económica se realiza a partir del análisis del valor actual neto (VAN), de la tasa interna de retorno (TIR) y del período de retorno de la inversión (PRI). Para poder efectuar el cálculo de estas variables es necesario establecer el escenario del proyecto. El primer paso a seguir la ubicación geográfica en la que se realizará el estudio es la elección del captador solar, y su dimensión. Se seleccionó Buenos Aires (CABA) y el Gran Buenos Aires (GBA) para la evaluación. Las razones se fundamentaron en el conocimiento y la disponibilidad de datos, tanto de los insumos como de las tarifas. A partir de la información del Ente Regulador del Gas (ENARGAS), se estableció el consumo de una familia para el abastecimiento de agua caliente sanitaria y con ello la dimensión de la instalación. Mediante estos datos y una tarifa promedio extraída de las empresas prestadoras del suministro de gas se calculó el ahorro potencial por disminución del consumo. En vista que una instalación de estas características posee un período de vida útil de 25 años se consideró además un ahorro extra por inflación. Dado que los insumos y otras variables de análisis se cotizan en moneda extranjera, se optó para el análisis el uso del euro. Se eligió esta moneda porque se dispone de bibliografía europea [3,4,8] que se ha utilizado para la comparación de los resultados, además mantiene en el tiempo una relación de cambio estable con respecto a los insumos. Basados en los datos de los proveedores [9,10] se establecieron los valores de la inversión inicial, costos de instalación y mantenimiento. Las variables de análisis económicas como la conversión a euros de las tarifas, la tasa de interés y la de descuento se obtuvieron del Banco Central de la República Argentina (BCRA). Finalmente se analizaron las propuestas específicas sobre subsidios en el de financiamiento y se elaboró una propuesta que apunta a inducir la inversión y la innovación. Cabe destacar que se puede realizar el mismo análisis, pero en otra zona geográfica. Basta con obtener los datos correspondientes, tarifas, consumo, beneficios y/o facilidades de cada región en particular.

### **3. Evaluación económica de la instalación a baja escala de colectores solares planos**

#### **3.1. Aspectos relacionados a la instalación y el costo**

El objetivo del sistema propuesto es proporcionar el agua caliente sanitaria, durante todo el año, para una casa convencional en forma autosuficiente. Una buena razón para utilizar sistemas solares térmicos es la disminución de los costos energéticos. Por tanto, es oportuno realizar un análisis económico detallado, de forma que se pueda evaluar si un determinado sistema solar es económicamente ventajoso para un determinado proyecto. Las aplicaciones térmicas de la energía solar requieren una inversión inicial más elevada que la de un sistema térmico tradicional. No obstante, una vez que el sistema solar está instalado, los gastos de mantenimiento son mínimos. Estos constan únicamente en los costos de funcionamiento, control del sistema, eventuales reparaciones y manutención periódica. En el caso de los sistemas que utilizan combustibles fósiles, en cambio, es necesario un suministro permanente de los mismos y, por lo tanto una compra en función de la necesidad térmica. Por ello, los beneficios obtenidos de un sistema solar consisten en el ahorro de los gastos del combustible necesario para el funcionamiento y la prolongación de la vida útil de las instalaciones existentes, ya que no son exigidas durante el período solar [13]. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas (templados a calurosos o moderadamente fríos) de la gran mayoría del territorio argentino y, según los datos provistos por los fabricantes [9, 10], bastan cinco horas en invierno para que un colector de 2 m<sup>2</sup> de área efectiva, eleve hasta 65° / 75°C entre 120 y 200 litros de agua. Los valores exactos dependen de las características constructivas de cada colector. Generalmente la adquisición de los mismos se acompaña con el bastidor correspondiente, el tanque y los accesorios de conexión necesarios. En estas condiciones, las principales consideraciones a tener en cuenta para la instalación son la capacidad estructural del techo y las conexiones a los circuitos de agua. El mercado ofrece colectores solares de estas características, de máximo rendimiento y cubierta transparente selectiva, a un precio que oscila entre u\$s 1200 y U\$s 1400. Sería suficiente uno de estos paneles solares térmicos para calentar el agua de un hogar de cuatro personas. Lo que equivale a producir entre 120 y 200 litros de agua caliente sanitaria por día. Dado que no se requieren estrictamente nuevos circuitos de agua, sino que se trata de interponer el colector entre una derivación de la entrada general de agua y el circuito de agua caliente, es que el aspecto más sensible y por lo tanto variable de decisión, es la conformación estructural del lugar físico de la colocación del sistema. Un equipo genérico que posee un peso de 50 kg, más el tanque de almacenamiento (120 / 200 litros), sumaría en funcionamiento un total de 170 a 250 kg. Las distintas opciones que se brindan para la instalación (separando el tanque, por ejemplo) permiten estimar que por lo general los techos están en condiciones de soportar esta carga.

#### **3.2. Economía de los recursos naturales**

La energía solar captada en superficies techadas no agrega impacto visual ni acústico, no perjudica ni fauna ni flora, no genera gases de combustión ni agrega calor de combustión. A pesar de ello su beneficio económico es una cuestión de estudio. La instalación de los sistemas colectores requiere una inversión inicial elevada, aunque se estima que los costos bajarán en función del aumento de la producción a causa de la demanda. La toma de conciencia respecto a la importancia de la conservación del medio ambiente y la valorización de los recursos naturales actualmente afectados, son pilares a la hora de balancear los costos de instalación y amortización frente a los beneficios ambientales, este será su costo de oportunidad. El uso más extendido de la energía solar es el calentamiento del agua doméstica. En los años '80, Israel fue la primera nación en legislar el uso de energía solar para el calentamiento de agua y es líder mundial en el uso per cápita de este tipo de energía renovable. En línea con la tendencia global, Israel ha experimentado un reciente surgimiento de nuevas empresas en este campo, incluyendo iniciativas comerciales y académicas. Para lograrlo, se ofrecen ayudas económicas, beneficios fiscales y programas de ayuda a la formación laboral. El uso de la energía solar no se comporta de la misma manera que la utilización de aguas o suelo, su aprovechamiento individual no constituye una externalidad, por no tratarse de un recurso limitado. Sin embargo, la utilización de paneles solares concentradores incluye la utilización de agua, a la cual podrá o no agregársele ciertos aditivos para mejorar el rendimiento. Si bien se trata de circuitos cerrados, es necesario prever la carga inicial, eventuales fugas del fluido, o accidentes. El análisis a realizar deberá considerar también, la elección del mejor método de aprovechamiento de esta fuente de energía para una determinada zona, y sus características. La calidad de los materiales necesarios previendo su posterior reciclaje y/o disposición, y el impacto potencial que podrían causar una vez alcanzada esa etapa. De esta manera, tomando un período de tiempo dado, la maximización del beneficio estará dada por la producción de energía y el ahorro en las emisiones de dióxido de carbono. En el Protocolo de Kyoto (PK) de la UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) [7], que se adoptó en 1997 y entró en vigor en 2005, se establece y diseña el concepto del mercado del carbono que luego se transformara en ley internacional (2005). En dicho documento también se determinan los límites cuantitativos para la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que poseerán los países que se incluyen en su Anexo B. Cabe destacar que en el PK no se establece

explícitamente la forma de castigo por incumplimiento ni el costo del mismo. En general, los mercados producen demasiado de aquellos bienes que provocan deseconomías externas, y muy poco de los bienes que producen economías externas. La contaminación y otras externalidades dan lugar entonces a una mala utilización de los recursos. Ante estas fallas de mercado, es que se les requiere intervenir a los diferentes gobiernos. Las externalidades son influencias que provocan deficiencias en los mecanismos de mercado, son fuente de equivocaciones para las empresas y consumidores, y dan lugar al establecimiento de precios inadecuados. En principio todas las soluciones eficientes implican la "internalización", lo que significa enfrentar a quienes toman decisiones con los costos y beneficios sociales resultantes de sus acciones. Las principales soluciones propuestas a los problemas de las externalidades se basan en la asignación de los derechos de propiedad, los impuestos y subvenciones, la regulación y mecanismos de compensación. En este sentido el PK establece mecanismos de flexibilidad para facilitar el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones de los países [6]. El sistema de comercio de permisos de emisión (emissions trading – ET) es el que se encuentra más difundido y explicado en una gran variedad de bibliografía. Los puntos que más resaltan son aquellos donde el protocolo establece los permisos de emisión para cada país y la cuota permitida (assigned amount unit - AAU) respecto a la emisión de GEI [7]. Así, en forma simplificada, un primer país a quien le convenga superar la cuota asignada, podrá comprarle a un segundo país los permisos que no utilice, ya que a este último le resulta relativamente "barato" llevar a cabo acciones domésticas de mitigación. Estos países emitirán entonces, la cantidad de toneladas de GEI que iguale en valor absoluto, su costo marginal de mitigación al AAU. El precio se fijará en una negociación bilateral, y dependerá, fundamentalmente, del poder de negociación de las partes.

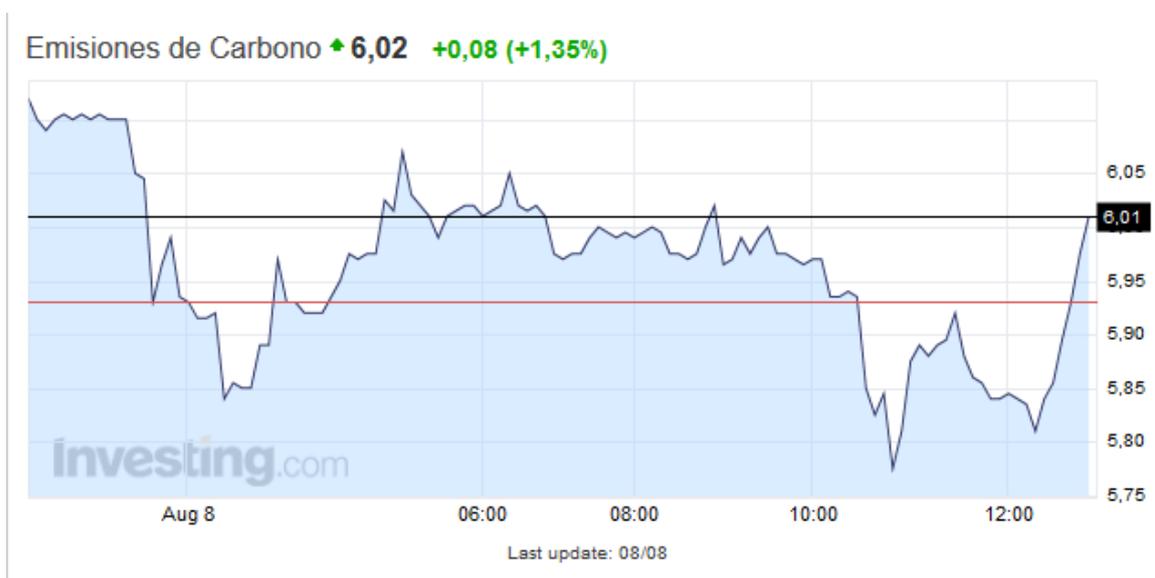


Figura 6 Evolución del Mercado de Bonos de Emisiones de Carbono (al 08/08/2014)  
<http://es.investing.com/commodities/carbon-emissions>

Este puede ser un mecanismo que permita formular una propuesta en pos de incentivar la inversión económica e internalizar los beneficios ambientales al usuario. Es importante destacar que actualmente estos bonos se encuentran depreciados respecto al valor que tuvieron al momento de su implementación, aunque presentan actualmente una tendencia a mantener un valor estable. En consecuencia, no es posible plantear un proyecto basado únicamente en la recuperación de la inversión por medio de estos bonos, sino que es necesario desarrollar y aplicar otras herramientas.

### 3.3. Ahorro energético y consideraciones medioambientales

El rendimiento de un sistema solar térmico depende de varios factores: condiciones climáticas locales, área y tipo de colector solar, carga térmica, etc. Por ejemplo, la disponibilidad de radiación solar en Europa varía de 830 a 1.160 kWh/m<sup>2</sup>. Para una determinada carga de agua caliente, la contribución esperada de un sistema solar aumenta según la cantidad de energía solar disponible. También la temperatura del ambiente influye de forma notable sobre el rendimiento del sistema. Por consiguiente, las prestaciones de un sistema pueden variar mucho en función de la ubicación de la implementación [5]. Para estimar un cálculo del ahorro que se puede obtener con la instalación de un sistema solar, es necesario calcular la cantidad de combustible requerida para obtener la misma producción térmica obtenida con la energía solar. Es evidente, por tanto, que un cálculo de amortización tiene que tener en cuenta también las características de la zona de instalación, además de las prestaciones típicas del sistema solar. Esto pone en evidencia el hecho de que cálculos de este tipo son bastante complejos y tienen que tener en cuenta todas las

variables que influyen sobre la producción solar. Una casa familiar, en ciudad de Buenos Aires (CABA) o el Gran Buenos Aires (GBA), que use 2m<sup>2</sup> de captadores puede evitar anualmente la emisión de 1,5 t de CO<sub>2</sub> al año [11]. Como contrapartida es necesario considerar el impacto ambiental de los colectores solares térmicos una vez alcanzado su período de vida útil. Los materiales constructivos más adecuados por sus propiedades, capacidad de reciclado y por lo tanto con menor impacto ambiental, son el vidrio, el acero, el aluminio y el cobre [5].

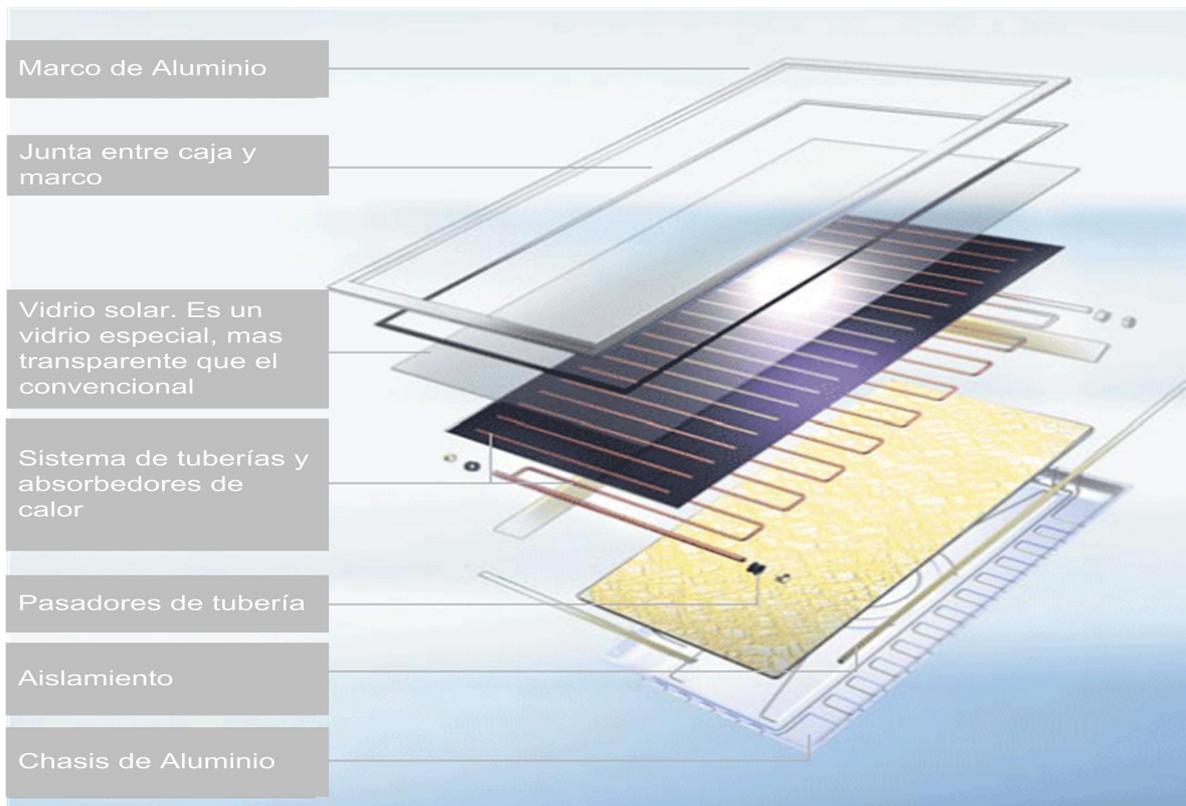


Figura 7 Estructura de un colector solar plano

### 3.4. Amortización

Observar la energía solar térmica sólo desde el punto de vista del ahorro económico sería un error. La tecnología aplicada a los captadores térmicos ayudará a evitar las emisiones de gases contaminantes y así mantener al medio ambiente más limpio. Actualmente los costos ambientales no se hallan internalizados en las economías domésticas. Sin embargo la instalación de colectores solares constituirá un valor añadido para la vivienda. Debido a las variaciones en los precios de los combustibles, se debe tener en cuenta que no es sencillo dar valores exactos para la amortización de una instalación. A medida que pasen los años aumentara progresivamente la escasez y especulación sobre los productos derivados del petróleo, por lo que la energía solar tiene grandes expectativas respecto de los beneficios económicos a futuro. La instalación de colectores solares planos térmicos que se realice y la calidad de los materiales, deberán contar con una vida útil de 25 años [5]. La evaluación de la amortización debe tener varios factores en cuenta: la inversión inicial, el mantenimiento, las necesidades de consumo, la temperatura final del agua, la disposición de subvenciones vigentes, financiación, los ahorros por consumo y recategorización de los usuarios.

### 4. Evaluación del proyecto

Por los motivos ya expresados se evaluó un proyecto de la instalación con una configuración de colectores solares planos que permita el ahorro de los costos de la producción de agua caliente sanitaria, en el ámbito de la ciudad de Buenos Aires (CABA) y el Gran Buenos Aires (GBA). La dimensión de la instalación que se adopta está fundamentada en el hecho en lograr un escenario representativo. De esta forma el mismo podrá ser establecido como base de análisis. La inversión inicial se calculó mediante presupuestos solicitados a proveedores [9,10]. Se comparó el precio en euros con el trabajo de Sergio Schmidt Pérez [8], situado en un edificio multivivienda de la calle Provenza en la ciudad de Barcelona, con el objeto de verificar que no existan distorsiones de mercado. A fin de evitar errores por la conversión de moneda, se mantuvieron los precios en euros. Los costos de instalación son sensiblemente menores que en Europa, porque la mano de obra local es más económica. Los costos de mantenimiento se podrían considerar nulos, por tratarse de un colector en circuito cerrado y de tipo residencial. Sin embargo optaremos por otorgar un costo de 5 euros anuales que pueden destinarse ya sea para un seguro, o bien

acumular el monto preventivamente, ya que una instalación de este tipo puede pasar años sin necesitar mantenimiento. Para la evaluación del costo de gas consumido y ahorrado citaremos como fuente de datos a las empresas distribuidoras de gas de las Tablas 2 y 3. Dado que se trata de una evaluación a nivel residencial se tomará como referencia a los clientes con un consumo entre 801 m<sup>3</sup> y 1000 m<sup>3</sup> anuales, clasificados por el ente regulador de la energía (ENRE) como categoría R2 3°. Las tarifas que se consideran son sin ahorro o con una disminución menor al 5% en el consumo respecto al año anterior, ya que no es posible asegurar la permanencia en el tiempo de los beneficios existentes, al día de hoy por ahorro de consumo, para el resto de los usuarios.

Tabla 1 - Tarifas finales a usuarios residenciales R2 3°- Sin impuestos (al 01/04/2014)

	Cargo Fijo (\$/factura)	Cargo Variable (\$/m <sup>3</sup> de consumo)	Factura mínima (\$/factura)
Metrogas (CABA)	13.166078	0.488669	23.143732
Metrogas (Buenos Aires)	13.233948	0.498149	23.376556
Gas Natural Fenosa	12.101370	0.340539	19.677385
Camuzzi (Buenos Aires)	10.541517	0.275019	16.937094

Cabe destacar que a estos importes es necesario agregarles los impuestos correspondientes. A fin de evitar estimaciones incorrectas en el período de vida útil de la instalación, se contemplarán aquellos cargos que permanezcan en el tiempo y no los de aplicación temporaria. La forma en que se aplican los impuestos sobre las facturas no permite establecer una función única. Es por esto que se ha resuelto mantener un escenario un tanto pesimista pero cercano a la realidad. Por este motivo se tomó un promedio de las tarifas y sólo se le aplicó el IVA (21%) y el impuesto provincial (9%), en forma no acumulativa. Es necesario aclarar que ambos impuestos aplican a los inmuebles ubicados tanto en CABA como en GBA. Dicho análisis arroja en promedio de \$0.5007722 / m<sup>3</sup> con impuestos. La estimación de la cantidad ahorrada de gas (en m<sup>3</sup>) se realizó utilizando el criterio de consumo para una familia tipo y el simulador provisto por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS) y la bibliografía existente [11]. El ente informa que *“para un calefón de unos 14 l/min (o sea, de aproximadamente 20000 kcal/h) este uso corresponde a unos 2,15 m<sup>3</sup>/día. Si el calefón tiene piloto, al consumo anterior habría que agregar el consumo del piloto, equivalente a 0,5 m<sup>3</sup>/día. Así el consumo total del calefón resultaría de 2,6 m<sup>3</sup>/día equivalentes a 162 m<sup>3</sup>/bimestrales”*. A los efectos de evitar un escenario demasiado optimista, es que se asume el uso de calefones sin piloto. Esto significa que una familia tipo puede en estas condiciones ahorrar anualmente unos 720 m<sup>3</sup> de gas (2 m<sup>3</sup> por día), cantidad que corresponde a lo utilizado para la obtención de agua caliente sanitaria. Esto significa que una vez implementado el sistema el usuario disminuirá sensiblemente su consumo y podrá ser recategorizado en una escala inferior, vale decir con un consumo de hasta a 800 m<sup>3</sup> anuales (R2 1°). Las tarifas, actuales, en ese caso son las que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 - Tarifas finales a usuarios residenciales R2 1°- Sin impuestos (al 01/04/2014)

	Cargo Fijo (\$/factura)	Cargo Variable (\$/m <sup>3</sup> de consumo)	Factura mínima (\$/factura)
Metrogas (CABA)	11.810747	0.352379	23.143732
Metrogas (Buenos Aires)	11.871629	0.359717	23.376556
Gas Natural Fenosa	11.294612	0.272039	19.677385
Camuzzi (Buenos Aires)	9.788552	0.228019	16.937094

Del mismo modo en que se obtuvo la tarifa promedio de un usuario categorizado como R2 3°, se recalculó para el mismo usuario clasificado como R2 1°. A partir de la diferencia respecto al valor adoptado originalmente es posible calcular el ahorro generado por la recategorización. Para completar el escenario es necesario contar con la cotización del euro, las tasas de interés (en moneda extranjera, 5%) y de descuento (tasa de interés para depósitos en caja de ahorro en moneda extranjera, 1%) respecto del euro, todos datos provistos por el Banco Central de la República Argentina (BCRA). A este respecto cabe resaltar que se consideraron los valores históricos de los últimos 4 años. Para la aplicación de subsidios tendremos en cuenta como supuesto, la aprobación del proyecto de ley propuesto por Ibarra, Eduardo Marcelo, bajo N° de Expediente 2900-D-2011, y con trámite parlamentario 060 (01/06/2011). El mismo intenta declarar de interés nacional la generación, investigación y desarrollo de la energía solar térmica. Esta suposición se justifica en el interés de promover el uso de energías alternativas limpias. En dicho proyecto se proponen subsidios de hasta el 50% del costo de la instalación, valores que también serán convertidos a euros y que serán devengados en el transcurso de cuatro años.

Así, de este modo, se realizó la evaluación en primera instancia considerando los ahorros por disminución de consumo e inflación evitada. En segundo término se tuvo en cuenta, además, el ahorro por recategorización del usuario. Finalmente se valoró una propuesta alternativa, la obtención de un retorno de la inversión mediante la venta indirecta de bonos de carbono. El beneficio estará ligado a la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no emitido. La relación de la producción de este gas es de 2 kg por cada m<sup>3</sup> de gas consumido [11], lo que equivale a 1,4 / 1,5 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>. Así, teniendo en cuenta que al usuario se le retorne sólo el equivalente a una tonelada (66,6%) del total estimado de ahorro y que la cotización de los bonos de carbono es de € 6.02 (08/08/2014), quedan resumidas las variables consideradas en la Tabla 3.

Tabla 3 – Resumen de los datos utilizados en la evaluación económica.

Inversión Inicial (un colector solar plano térmico de 2m2) con instalación.	1200 €
Costos de mantenimiento (anual)	5 €
Subsidios (Expediente 2900-D-2011, trámite parlamentario 060 - 01/06/2011)	50%
Tasa de descuento (anual)	1,00%
Tasa de Inflación (anual)	5,00%
Ahorro Anual (720 m3)	35,00 €
Ahorro Anual por recategorización (R2 3° a R2 1°)	3,50 €
Toneladas de CO2 ahorradas (anual)	1 tn
Cotización Bono CO2 (por tn)	6,02 €

A partir de los datos expuestos en la Tabla 3, se realizó el análisis de los escenarios adicionando progresivamente los ahorros que beneficiarán a los usuarios en forma incremental. Los resultados obtenidos son resumidos en la Tabla 4.

Tabla 4 – Valores de VAN, TIR y Período de recupero de la inversión.

	Sólo con ahorro por inflación (1)	(1) + Ahorro por recategorización (2)	(2) + Ahorro por Bonos de CO2
VAN	€ 5,96	€ 79,57	€ 205,40
TIR	1%	2%	2,84%
PRI	22 años	20 años	17 años

Si bien, dada la diferencia de escala, no es posible hacer una comparación lineal con la bibliografía de referencia [8] respecto del valor actual neto, los resultados indican que tanto la tasa de retorno de la inversión (TIR) como el período de retorno de la inversión (PRI) son de orden similar.

Tabla 5 – Comparación de valores de TIR y PRI.

	Fuente de referencia [8]	Resultados obtenidos
TIR	6,9%	2,84%
PRI	16 años	17 años

La diferencia con los datos citados en la fuente radican en la escala (nueve veces mayor) y los beneficios y promociones de los que se disponen en España. En este sentido, la propuesta de la venta indirecta de bonos consiste en proponer a las comunas que se sumen al mercado de bonos de emisión. Lo municipios cuentan con las herramientas tecnológicas y la información suficiente para establecer la superficie de colectores solares instalada y el ahorro de cada usuario en sus tarifas de consumo. Por ejemplo, utilizando las imágenes satelitales, tal como lo hacen para saber la superficie construida, pueden conocer la capacidad solar instalada. Estos datos brindan la posibilidad de calcular la cantidad de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y por lo tanto su equivalente en dinero. Se propone que dos terceras partes de este importe pueda entonces regresar al usuario como crédito en sus impuestos. La otra tercera parte corresponde distribuirla en solventar los gastos generados por la gestión y algún margen que podría quedar como beneficio para cada municipio. Esto implica que previamente es necesario que cada comuna realice a su vez una evaluación de su propio proyecto, lo que implica un análisis similar al del presente trabajo pero a mayor escala.

## 5. Conclusiones

Considerando las posibilidades mencionadas en este estudio, los valores de las variables de decisión están en consonancia con aquellos que se manifiestan en la bibliografía de referencia. La diferencia entre los mismos está dada en que la instalación citada es nueve veces mayor que la

propuesta. Asimismo, es necesario destacar que luego de haber analizado los métodos existentes y los costos, la implementación de colectores solares planos a baja escala, no es económicamente rentable sin subsidios ni reconocimientos económicos para los usuarios domiciliarios que decidan invertir en esta clase de reconversión. Esto sucede porque a esta escala no hay todavía una internalización de los beneficios ambientales aportados. En relación a la implementación en MiPyMEs, la aplicación es menos compleja, debido a que existe legislación, subsidios, compromiso político y social. A este respecto a nivel nacional, ya hay provincias que se están interiorizando en el tema. Las ubicaciones con mayor radiación solar se encuentran en las regiones de Cuyo y NOA, existiendo ya proyectos para las zonas de Catamarca, San Juan y Mendoza, que son las que poseen el mejor nivel de radiación solar. Sin embargo, de aprobarse el proyecto de ley mencionado en este trabajo, los resultados obtenidos por el análisis aplicado sobre la problemática planteada arroja valores que resultan en primera instancia viables. No cabe duda que el costo inicial es el de mayor relevancia, por lo que es prioritario un correcto dimensionamiento de la instalación a realizar. El costo de la misma se acrecienta hacia el sur de la República Argentina. Esto es debido a que es necesaria una mayor superficie captadora para obtener la misma cantidad de agua caliente sanitaria. Este incremento en la superficie incide directamente en la evaluación de los costos por metro cuadrado y la energía que suministran los colectores solares térmicos. Para determinar la cantidad de colectores necesarios a instalar se puede utilizar cualquier aplicación informática existente en el mercado, que contenga datos radiación solar para la zona elegida. A partir de los resultados obtenidos, estas aplicaciones permiten realizar un primer análisis económico del proyecto. La ecuación económica mejora con las nuevas tecnologías y las mejoras en el rendimiento de los captadores, y sería mejor aún si se establecieran normas, que son de incumbencia local, que por ejemplo deduzcan impuestos a aquellos titulares que ofrezcan viviendas en alquiler basadas en energías no contaminantes. La propuesta en este sentido consiste en aprovechar la capacidad que tienen las comunas para comercializar bonos de carbono. Relacionando estos datos con los del consumo de cada usuario, es posible conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> evitada, y en consecuencia reembolsar al contribuyente una parte de los bonos comercializados a través de sus impuestos.

Al mismo tiempo se concluye que, con un período de recuperación de la inversión a un costo de instalación acorde a las necesidades de los pequeños usuarios, el sólo uso de colectores solares no alcanza para el total autoabastecimiento energético. Sin embargo, teniendo en cuenta que el principal objetivo es el cuidado del medio ambiente, el desafío de la ingeniería industrial es estudiar diseños alternativos y/o híbridos, de manera tal que la suma de distintas alternativas como el aprovechamiento geotérmico, pequeños emprendimientos hidroeléctricos, la utilización de biodigestores, etc, puedan hacer posible la obtención de energía en forma suficiente, económica, sostenible y sustentable. Asimismo se observa que el principal costo radica en el colector solar, el que podría disminuir desarrollando materiales sustitutos. De igual modo se recomienda el análisis de instalaciones en escalas un tanto mayores, como barrios, lo que permitiría una menor inversión inicial por la compra de colectores en cantidad.

## 6. Referencias

- [1] Michael Begon (2006). "Ecology From Individuals to Ecosystems". Blackwell Publishing. Fourth Edition.
- [2] Durán, Julio C. (2004). "Aprovechamiento de la Energía Solar en la Argentina y en el Mundo". Serie Publicaciones Científicas N° 1.
- [3] García, Aurelio. (Jun.2010). "Consumo responsable y cambio climático". Gobierno de Aragón, Departamento de Salud y Consumo, Dirección General de Consumo.
- [4] CECU (proyecto europeo RES & RUE Dissemination – Programa ALTENER)
- [5] Fauroux, Luis Enrique; Jäger, Mariano Daniel. (2013). "Diseño y Análisis de Colectores Solares Planos". Memorias del COINI 2013 UTN FRSR. ISBN 978-987-1896-26-4
- [6] Álvarez, Diego y otros. (Nov.2008). "Una externalidad relevante: el calentamiento global inducido por la actividad humana". XLIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política. Córdoba.
- [7] Kyoto Protocol Reference Manual. (2008). "On accounting of emissions and assigned amount". UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change)
- [8] Schmidt Pérez, Sergio. (2010). "Diseño de una instalación solar térmica para la producción de ACS en un edificio multivivienda". Master thesis (pre-Bologna period).
- [9] CHROMAGEN ~ Solar Water Solutions. (2014) Sha'ar Ha'amakim 36588, Israel Distribuidor en Argentina:
- [10] SAPOLIN S.A. (2014) Angel Gallardo 174 Piso 5, C.P. 1405, Ciudad Autónoma Buenos Aires.
- [11] ORBIS MERTIG S.A.I.C. (2014) Yermal 1200, B1607AHH, Villa Adelina, (Bs. As., Argentina)
- [12] Gil, Salvador. (2009). Desafío energético del siglo XXI. Eficiencia energética en Argentina: ¿un nuevo paradigma?. TANDAR – CNEA. San Martín, (Bs. As., Argentina)