

ANALISIS COMPARATIVO DEL TIEMPO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN EN COLECTORES SOLARES TÉRMICOS EN LA REPUBLICA ARGENTINA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RECOVERY TIME OF THE INVESTMENT IN THERMAL SOLAR COLLECTORS IN THE ARGENTINE REPUBLIC THROUGH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Haim, Pablo Alejandro ¹; Bersalli, Germán²; Nores Pondal, Federico ³.

alehaim@hotmail.com, german.bersalli@iass-potsdam.de, federico.nores@hotmail.com

^{1,3} UTN-FRBA, CABA, Argentina; ² IASS, Potsdam, Alemania.

Recibido 23/12/2021; Aceptado: 01/03/2022

Resumen: El crecimiento del mercado solar térmico tanto a nivel mundial como en la Argentina, ha generado el aumento de importaciones y producción local de diversos colectores solares térmicos con características muy heterogéneas. La extensión del territorio argentino presenta una gran amplitud de temperatura y radiación solar, estos son las variables principales que afectan el rendimiento y la producción energética de los colectores solares. Es trabajo analiza el tiempo de recupero de la inversión (TRI) de 2 colectores solares típicos, placa plana y tubo de vacío, para valores de temperatura de ambiente y radiación medios, en comparación con un termotanque tradicional de eficiencia “A” con funcionamiento a gas natural y resistencia eléctrica. Determinando como varían el TRI de ambos colectores, para luego realizar mapas de la Republica Argentina mediante Sistemas de Información Geográficas (SIG) que muestren como varían el TRI en años en todo el territorio para las condiciones anteriormente mencionadas.

Palabras-clave: SIG; inversión; colector; solar; Argentina

Abstract: The growth of the solar thermal market, both worldwide and in Argentina, has generated an increase in imports and local production of various solar thermal collectors with highly heterogeneous characteristics. The extension of the Argentine territory presents a great amplitude of temperature and solar radiation, these are the main variables that affect the performance and energy production of solar collectors. This work analyzes the return on investment time (RIT) of 2 typical solar collectors, flat plate and vacuum tube,

for average ambient temperature and radiation values, compared to a traditional efficiency "A", hot water tank operating at natural gas and electric resistance. Determining how the RIT of both collectors vary, to then make maps of the Argentine Republic through Geographic Information Systems (GIS) that show how the RIT varies in years throughout the territory for the conditions mentioned above.

Keywords: GIS; investment; collector; solar, Argentine.

1. Introducción

A principios de 2010, más de 100 países tenían algún tipo de política de promoción de la energía solar, ya sea para producción de calor a través de colectores solares o de electricidad a través de paneles fotovoltaicos [1].

Gracias a las diversas acciones de promoción implementadas, el mercado solar térmico mundial ha crecido a pasos agigantados en los últimos 10 años, figura 1. En todos los casos, el crecimiento del mercado ha sido sustentado no sólo por acciones de promoción sino también por planes que garantizaron la instalación de equipamiento de calidad certificada por profesionales capacitados. Estos planes y políticas de promoción han sido ejecutados sobre la base de diversos proyectos de investigación. Ejemplo de ello son los resultados del proyecto "Solar Keymark" [2], cuyos resultados permitieron unificar los criterios de eficiencia y calidad que deben cumplir los sistemas o equipos solares que se comercializan y que son subsidiados por las distintas políticas promocionales existentes en Europa. Más aún, los criterios determinados por este proyecto permitieron establecer estándares mínimos de eficiencia y calidad que debe tener un equipo solar térmico (colector o sistema) en función de la aplicación (agua caliente sanitaria, calefacción, piscinas u otros) y la zona geográfica/climática en la cual será implementado. "Solar Keymark" fue producto de un proyecto de investigación de la Unión Europea (UE) y es hoy, el requisito que define no sólo si un sistema o equipo recibirá subsidios sino también si ese equipo es el adecuado para la zona en donde se lo pretende instalar.

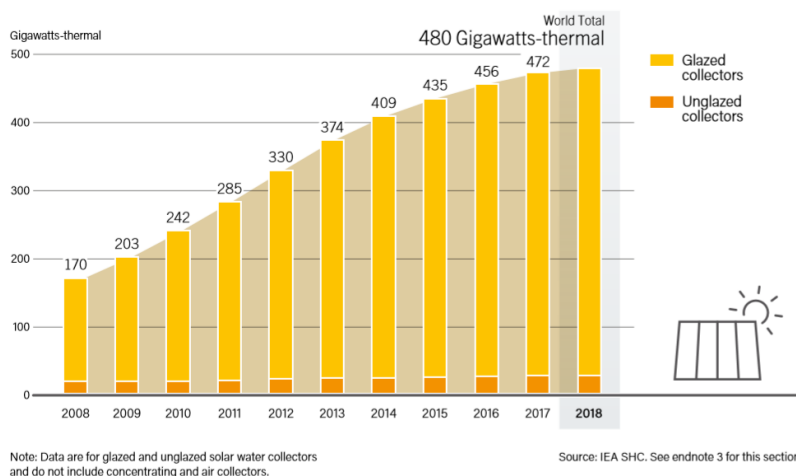


Figura 1 – Capacidad global de calentamiento solar térmico 2008-2018. [3]

A nivel nacional, el aumento de los precios del gas en Argentina y la disminución de los recursos fósiles, han impulsado la generación de un incipiente mercado solar térmico [4]. Ante esta situación, han surgido diversos importadores y fabricantes locales de colectores solares. Algunos poseen eficiencia y calidad certificada bajo “Solar Keymark” desde Europa, pero también existen otros de calidad y origen dudoso. Los equipos solares térmicos de fabricación nacional son de calidad variable y en la mayoría de los casos, su funcionamiento no está certificado en absoluto y tampoco respetaban estándares de calidad. Ante esta situación, y la variabilidad de tipos de colectores solares nacionales e importados, es importante determinar que colectores tienen mejor rendimiento en nuestro territorio argentino; ya que este es muy extenso y con condiciones meteorológicas muy variables, que hace que algunos colectores tengan buen rendimiento en verano y muy bajo en invierno, y que otros colectores se rindan de diferente manera según la zona geográfica y la época del año, por lo tanto, la producción de energía de agua caliente solar será variable según la tecnología adoptada y la zona de instalación.

Al ser una tecnología que aprovecha un recurso variable como es el sol, tiene que ir acompañada de un sistema de apoyo de calentamiento que puede ser un termotanque (eléctrico o a gas), por lo que este tipo de tecnología no reemplaza en su totalidad a un calefón o un termotanque sino que disminuye en gran parte (60 a 80 %) el aporte de calentamiento térmico mediante gas natural o electricidad.

En este trabajo, da continuidad al trabajo presentado en la “Revista Científica de Ingeniería Industrial y Mecánica”. ISSN 2525-0396 – Volumen v – Número 8 [5], sobre el análisis del rendimiento térmico de 2 colectores de tubo de vacío y placa plana, para todo el territorio nacional, para valores anuales, mes de junio y enero; demostrando que depende de la zona y la época del año donde se quiera instalar el colector, va a convenir utilizar una tecnología u otra para tener el mejor rendimiento. Sin embargo para determinar económicamente que tecnología es más conveniente económicamente, se realizó un análisis comparativo de los costos de cada colector, su producción de energía anual, función de la sustitución de esa energía por la de gas natural de red, gas propano de garrafa y electricidad mediante calentamiento por resistencias. Obteniéndose como resultados datos de tiempo de

recupero de la inversión en función del ahorro energéticos. Luego estos datos se volcaron en un programa de sistemas de información geográfico (SIG) obteniéndose 6 mapas de tiempo de recupero de la inversión para un colector de placa plana y tubo de vacío en sustitución de gas natural, gas propano de garrafa y electricidad.

2. Descripción de la tecnología solar empleada y cálculo energético solar térmico.

2.1. Tipos de colectores solares.

Los colectores solares son dispositivos que captan la radiación solar para el calentamiento de un fluido, que generalmente es agua. Básicamente podemos distinguir los captadores o colectores solares en 3 tipos: placa plana, tubo de vacío y colectores de plástico sin cubiertas. Este último no es analizado en este trabajo ya que su utilización es solo para verano.

Los colectores de placa plana (figura 2) están compuestos por una parrilla de tubos (generalmente cobre) por donde circula el fluido, una placa absorbidora (aluminio o cobre) soldada o solidaria a los tubos (pintada de negro mate o pintura selectiva), un armazón o marco (aluminio), aislante lateral (no siempre) y trasero, que puede ser lana de vidrio, poliuretano expandido, entre otros aislantes, y una cubierta frontal transparente (generalmente vidrio).

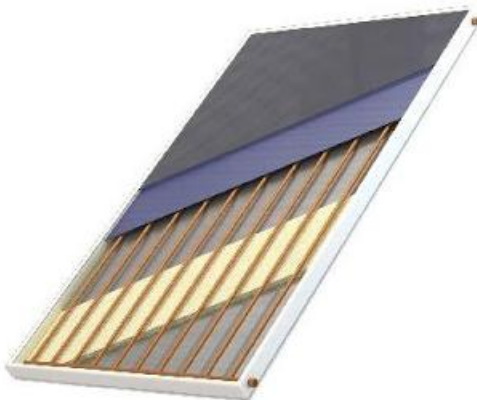


Figura 2 – Colector de placa plana [6].

Funcionamiento: la radiación solar incide sobre la cubierta transparente y es absorbida por la placa absorbidora, esta aumenta su temperatura transformando la radiación solar en calor y por conducción es transferida a la parrilla de tubos por donde circula el fluido, transfiriéndole calor al mismo, por lo tanto, aumentando su temperatura. Los aislantes traseros y laterales son para minimizar las pérdidas conductivas y convectivas con la atmósfera.

Los colectores de tubo de vacío (figura 3) o también denominados "all glass", están constituidos por 2 tubos de vidrios (boro silicato) concéntricos, el tubo externo es transparente y el tubo interno tiene depositada una pintura selectiva similar a la

utilizada en los paneles de placa plana. Entre ambos tubos se le extrae el aire y se genera lo que se denomina vacío, de ahí el nombre de los tubos. El tubo de vacío de uso directo circula el agua por su interior y los indirectos o heat pipe tienen una lámina de aluminio en su interior y un caño de cobre sellado en sus extremos con un alcohol en su interior.



Figura 3– Colector solar térmico de tubo de vacío con heat pipe [7]

Funcionamiento: La radiación solar incide sobre el tubo exterior y en su mayoría lo atraviesa y es absorbido por la película selectiva depositada en la parte externa del tubo interior, este transforma esa radiación en calor calentando el tubo interno y todo lo que está en su interior, ya sea el fluido caloportador como el sistema "heat pipe". La ausencia de aire que existe entre los tubos evita las pérdidas de calor del tubo interno por conducción y convección al no haber un medio para transmitirse. En caso de los tubos de uso directo, el agua absorbe el calor del tubo interior y aumenta su temperatura ascendiendo por diferencia de densidad. En el caso del "heat pipe" el calor del tubo interior es transferido a la placa interna de aluminio que está en contacto con el tubo de cobre que calienta y vaporiza el alcohol en su interior, el vapor sube y se condensa al intercambiar calor con el agua que circula por el caño horizontal que conecta todos los tubos de vacío.

2.2. Cálculo de rendimiento de colectores solares.

El rendimiento de los colectores solares se puede calcular como la cantidad de calor útil o que entrega en función de la energía que recibe el panel por parte del sol, ecuación 1.

$$\eta = Q_{\text{util}} / (\text{Energía que recibe el panel}) \quad \text{ecuación 1.}$$

Siendo:

- η : rendimiento del panel
- Q_{util} : calor útil entregado por el panel

Tanto el calor útil que entrega el colector como la energía que recibe el colector son variables en el tiempo y dependen de varios factores como: la temperatura del aire, la temperatura del fluido que ingresa al colector, la radiación solar, la velocidad del viento. Además el rendimiento del colector va a depender de sus características constructivas que están definidas por el rendimiento óptico y el coeficiente de pérdidas térmicas. Por lo tanto, podemos definir el rendimiento de un colector mediante la ecuación 2.

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1(t_m - t_a)}{I} - \frac{k_2(t_m - t_a)^2}{I} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

- η_0 = rendimiento óptico, se da cuando el panel no pierde calor hacia el entorno ($t_m = t_a$) en función de (transparencia de la placa de vidrio y la absorptividad de la pintura selectiva).
- T_m = temperatura media del colector (suele fijarse en 50 grados centígrados)[K].
- T_a = temperatura de ambiente [K]
- k_1 : coeficiente de pérdidas térmicas (lineal) [W/m²K]
- k_2 : coeficiente de pérdidas térmicas (cuadrático) [W/m²K²]
- I : radiación solar global que incide en el colector en [W/m²].

Es importante destacar que el rendimiento del panel va a ser variable durante todo el año, ya que en parte depende de las variables meteorológicas, es por ello que no es correcto caracterizar un colector con un solo valor de rendimiento, sino con una curva que describa su comportamiento para distintas condiciones meteorológicas

2.3. Cálculo de energía solar anual por unidad de colector.

El cálculo de la energía solar anual producida por un colector en una determinada ubicación está determinada por la ecuación 3, para ello es necesario conocer para cada ubicación seleccionada lo siguiente: el rendimiento del colector, el promedio de energía diaria anual (irradiancia) que llega al colector en la orientación norte con inclinación óptima (igual a la latitud) para obtener la mayor cantidad de energía anualmente, superficie del colector, temperatura de ambiente, temperatura de consumo de agua y cantidad de agua que se consume. Siendo:

- Q_c : energía anual producida por el colector [KWh/panel año]

- η : Rendimiento del colector: está dado por la ecuación 2.
- I_a : Promedio de energía que llega al colector en la orientación óptima [KWh/día m²]: se define que el colector está orientado al norte (válido para el hemisferio sur) con una inclinación del panel respecto a la horizontal igual a la latitud donde está ubicado el mismo, que corresponde con el valor de mayor de irradiancia solar en promedio anual. Por ejemplo si el colector está ubicado en Salto Grande en Entre Ríos, cuya latitud es de 31,12 grados, el colector tendrá una inclinación respecto a la horizontal de 31 grados.
- Superficie del panel [m²/panel] dato por la tabla 1.

$$Q_c = \eta \times S_p \times I_a \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \quad \text{Ecuación 3}$$

2.4. Colectores solares seleccionados.

Los colectores solares seleccionados para este análisis son:

- Colector de placa plana: tipo parrilla, con colectores de cobre de 21 mm de diámetro, tubos absorbentes de 8 mm de diámetro, aislante de lana de mineral de 50 mm de espesor, marco de aluminio, placa absorbente con pintura selectiva, cubierta protectora de vidrio templado de 3,2 mm de espesor. El precio de comercialización al público de este tipo de colector solar es de U\$S 500 (IVA incluido) (Wallace Cristian, 2020).
- Colector de tubo de vacío: tipo “U-Pipe”, compuesto por 20 tubos de vidrio boro silicato de 1,8 mm de espesor, con recubrimiento selectivo, el colector está aislado con lana de vidrio de 50 mm de espesor, (Nores Pondal & Haim, 2016)[8]. El precio de comercialización al público por parte de la empresa Enertik es de U\$S 330 (IVA incluido).

A continuación se tabulan (tabla 1) los datos característicos de los colectores:

Tabla 1 – Características de los colectores.

Descripción	unidades	Colector Solar	
		Placa plana	Tubo de vacío
<i>Tipo de colector</i>		parrilla	U pipe
<i>Área de captación</i>	m ²	2,58	2,11
<i>Rendimiento óptico (η_0)</i>	W/m ² k	80,30%	49%
<i>Coefficiente de pérdidas térmicas (k_1)</i>		3,7	1,17
<i>Cubierta protectora</i>	mm	vidrio templado de 3,2 mm de espesor	vidrio de borosilicato de 1,8 mm de espesor
<i>Aislante</i>	mm	lana mineral de 50 mm de espesor	lana de vidrio de 50 mm de espesor / vacío

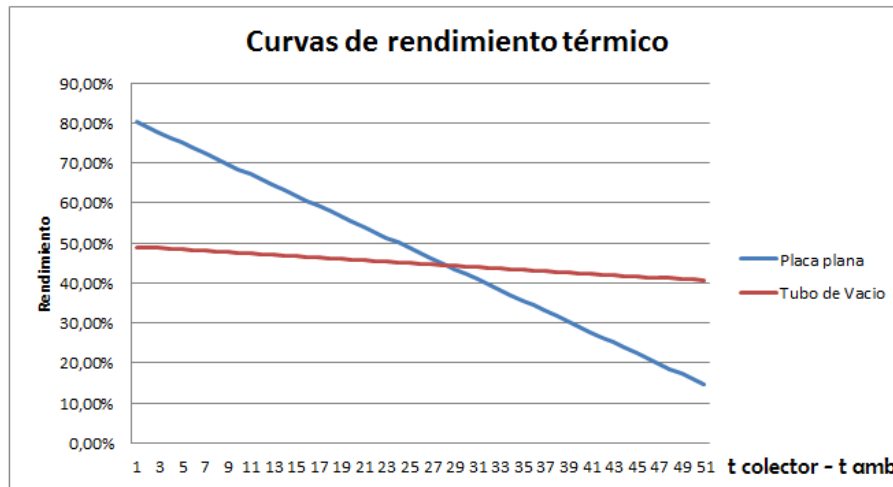


Figura 4– Curvas de rendimiento de los colectores solares de placa plana y tubo de vacío con heat pipe

2.5. Cálculo de demanda de energía anual para una casa tipo.

La cantidad de energía anual que demanda una vivienda tipo integrada por 4 personas está dada por la ecuación 4.

$$Qd = m \times cp \times (Tc - Ta) \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Siendo:

- Qd: demanda de energía anual para una vivienda tipo [KWh/año]
- Ta: Temperatura de ambiente: se toma el promedio anual [K].
- Tc: Temperatura de consumo de agua: se toma como valor medio 50 grados centígrados [K].
- m: Cantidad de agua que se consume [kg/día]: se toma como valor medio 50 litros por persona por día, suponiendo que en una vivienda tipo la habitan 4 personas, siendo una masa de agua total de 200 kg/día.
- Cp: [KWh/kg K] calor específico del agua, 4,18 KJ/kg K = 0,00116 KWh/kg K.

2.6. Base de datos meteorológicos utilizada para el análisis.

Para el cálculo de rendimiento de ambos paneles solares, se utilizaron datos de irradiación solar global en el plano del colector, con valores promedio mensual y temperaturas promedio mensuales, de distintos puntos de todas las provincias de

la Argentina, en total se utilizaron 116 puntos del país cubriendo la totalidad de las provincias de la Republica Argentina.

Los datos de radiación solar se obtuvieron del Atlas de Energía Solar de la República Argentina realizado por Hugo Grossi Gallegos y Raúl Righini en el marco del Programa de Energía y Transporte de la Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales de la Secretaria de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, dentro del marco de sus proyectos emblemáticos con prioridad estratégica, y por el departamento de Ciencias Básicas de la Universidad de Luján. Los instrumentos de medición utilizados para medir la irradiación solar fueron: piranógrafos bimetálicos del tipo Robitzsch y piranómetros esféricos de Bellani (también llamados lucímetros a destilación) que tienen el objeto de registrar la radiación global incidente a diario sobre el plano horizontal (Grossi Gallegos & Righini, 2007) [9].

Los datos de temperatura media mensual fueron obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional [10].

2.7. Datos utilizados para el análisis económico de termotanques a gas y eléctricos.

Para realizar la comparación de la generación de energía solar térmica respecto a la generación de agua caliente sanitaria mediante un termotanque a gas alimentado mediante gas natural, así como también mediante resistencia eléctrica, es necesario definir varias cuestiones:

2.7.1 Termotanques.

Se ha tomado como referencia en este estudio los termotanques de eficiencia A, cuyo rendimiento medio para gas es del 80% y para la utilización de resistencia eléctrica un 90% [11].

2.7.2 Precio del Gas Natural

Se ha tomado para este estudio los consumos residenciales para usos domésticos en equipos comunes que cuentan con un medidor de gas individual. Las tarifas residenciales varían según su consumo anual medido en metros cúbicos. En la tabla 2 se pueden ver las diferentes categorías y sus consumos correspondientes.

Tabla 2 – Categorías correspondientes a usuarios residenciales.

CATEGORIA	R1	R21	R22	R23	R31	R32	R33	R34
Desde / hasta (m ³ /año)	0 a 500	501 a 650	651 a 800	801 a 1000	1001 a 1250	1251 a 1500	1501 a 1800	mayores a 1801

Se ha tomado para este estudio las categoria R1, R23 y R34, siendo las categoria mínima, media y máxima respectivamente.

Los precios corresponden al mes de abril del año 2019 y fueron convertidos a dolares (U\$S 1 = \$40). Los volúmenes de gas natural expresados en m³ se convirtieron a kWh para poder compararse con los valores de energía eléctrica, tomando el poder calorífico inferior del gas natural. En la tabla 3 se muestran los precios del gas natural para cada provincia expresada en U\$S.

Tabla 3 – Precio del gas natural por Provincia correspondientes a usuarios residenciales R1, R23 y R34 [12].

Provincia	Precio gas natural por U\$S/kWh (residencial)		
	R1	R23	R34
Buenos Aires	\$ 0,020	\$ 0,021	\$ 0,024
Capital Federal	\$ 0,025	\$ 0,027	\$ 0,033
Catamarca	\$ 0,022	\$ 0,023	\$ 0,026
Chaco	\$ 0,013	\$ 0,013	\$ 0,013
Chubut	\$ 0,010	\$ 0,011	\$ 0,013
Córdoba	\$ 0,022	\$ 0,023	\$ 0,026
Corrientes	\$ 0,026	\$ 0,027	\$ 0,031
Entre Ríos	\$ 0,025	\$ 0,027	\$ 0,031
Formosa	\$ 0,013	\$ 0,013	\$ 0,013
Jujuy	\$ 0,016	\$ 0,018	\$ 0,021
La Pampa	\$ 0,014	\$ 0,015	\$ 0,015
La Rioja	\$ 0,022	\$ 0,023	\$ 0,026
Mendoza	\$ 0,023	\$ 0,023	\$ 0,025
Misiones	\$ 0,013	\$ 0,013	\$ 0,013
Neuquén	\$ 0,012	\$ 0,012	\$ 0,013
Río Negro	\$ 0,012	\$ 0,013	\$ 0,014
Salta	\$ 0,016	\$ 0,018	\$ 0,021
San Juan	\$ 0,022	\$ 0,023	\$ 0,025
San Luis	\$ 0,022	\$ 0,023	\$ 0,024
Santa Cruz	\$ 0,010	\$ 0,011	\$ 0,012
Santa Fe	\$ 0,023	\$ 0,024	\$ 0,026
Santiago del Estero	\$ 0,021	\$ 0,022	\$ 0,026
Tierra del Fuego	\$ 0,009	\$ 0,009	\$ 0,011
Tucumán	\$ 0,021	\$ 0,022	\$ 0,026

2.7.3 Precio de la energía eléctrica

Se ha tomado para este estudio los consumos residenciales para usos domésticos en equipos comunes que cuentan con un medidos de eléctrico. Las tarifas residenciales varían según su consumo mensual. Existe una disparidad muy grande entre los consumos eléctricos de cada provincia y las categorías, no todas las provincias tienen las mismas categorias ni los mismos rangos de energía, por lo que se tomaron los siguientes precios: hasta 150 kWh/mes, 500 a 600 kWh/mes y superiores a 1400 kWh/mes. Los precios de la energía eléctrica también varían por provincia y localidad. En los casos donde en una misma localidad hay diferencia de

precios, como por ejemplo EDESUR o EDENOR, se tomó el valor promedio entre ambas. En la tabla 4 se muestran los precios de energía eléctrica para cada provincia según los consumos seleccionados.

Tabla 4 – Precio de la energía eléctrica por provincia correspondientes a usuarios residenciales hasta 150 kWh/mes, 500 a 600 kWh/mes y superiores a 1400 kWh/mes [13].

Provincia	Precio Electricidad U\$\$/kWh		
	0 ≤ 150 kWh	500 ≤ 600 kWh	≥ 1400 kWh
Buenos Aires	\$ 0,09	\$ 0,12	\$ 0,13
Capital Federal	\$ 0,07	\$ 0,08	\$ 0,10
Catamarca	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08
Chaco	\$ 0,05	\$ 0,07	\$ 0,07
Chubut	\$ 0,16	\$ 0,15	\$ 0,14
Córdoba	\$ 0,13	\$ 0,22	\$ 0,24
Corrientes	\$ 0,10	\$ 0,11	\$ 0,11
Entre Ríos	\$ 0,09	\$ 0,16	\$ 0,16
Formosa	\$ 0,09	\$ 0,09	\$ 0,09
Jujuy	\$ 0,09	\$ 0,11	\$ 0,11
La Pampa	\$ 0,09	\$ 0,12	\$ 0,13
La Rioja	\$ 0,09	\$ 0,10	\$ 0,10
Mendoza	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08
Misiones	\$ 0,09	\$ 0,10	\$ 0,11
Neuquén	\$ 0,13	\$ 0,10	\$ 0,09
Río Negro	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08
Salta	\$ 0,08	\$ 0,08	\$ 0,08
San Juan	\$ 0,10	\$ 0,08	\$ 0,08
San Luis	\$ 0,09	\$ 0,09	\$ 0,11
Santa Cruz	\$ 0,04	\$ 0,06	\$ 0,08
Santa Fe	\$ 0,09	\$ 0,15	\$ 0,19
Santiago del Estero	\$ 0,10	\$ 0,07	\$ 0,08
Tierra del Fuego	\$ 0,09	\$ 0,11	\$ 0,11
Tucumán	\$ 0,08	\$ 0,09	\$ 0,10

2.8. Cálculo de la inversión para el calentamiento de agua caliente sanitaria con colector solar de placa plana y tubo de vacío.

Para realizar el cálculo de inversión para el calentamiento de ACS mediante colectores solares, solo se tomó en cuenta el valor del colector y no el resto de la instalación, ya que este último es muy variable según el tipo y complejidad del proyecto. El costo de inversión va a ser la relación de la demanda energética anual y la energía que produce el panel, multiplicado por el valor del panel, ecuación 5.

$$Inv.Solar = \frac{Q_d}{Q_c} \times pp \quad \text{Ecuación 5}$$

Siendo:

- Inv.Solar: Costo de inversión por única vez de compra de colectores solares [U\$S]
- Qd: demanda de energía anual para una vivienda tipo [KWh/año]
- Q c: energía anual producida por el colector [KWh/panel x año]
- pp: precio al público del panel [U\$S/panel]

2.9. Cálculo de costo de calentamiento de agua caliente sanitaria con termotanque mediante gas natural de red y resistencia eléctrica.

Para realizar el cálculo de costo de ACS con termotanque mediante gas natural y resistencia eléctrica se utilizó la ecuación 6.

$$Costo_{ACS} = Qd \times \eta_t \times pe \quad \text{Ecuación 6}$$

Siendo:

- Costo ACS: costo anual de calentamiento de agua caliente sanitaria mediante termotanque convencional de eficiencia A con gas natural, gas de garrafa o resistencia eléctrica [U\$S/año].
- Qd: demanda de energía anual para una vivienda tipo [KWh/año]
- η_t : rendimiento termotanque a gas o eléctrico
- pe: precio de la energía de gas natural o electricidad [U\$S/KWh]

3. Elaboración de mapas de tiempo de recupero de la inversión para la República Argentina de los colectores solares térmicos seleccionados.

3.1. Procesamiento de datos y cálculos de recupero de la inversión.

Para determinar el tiempo de recupero de la inversión, se utilizó una planilla de cálculo de Excel en el que se ingresaron los datos de radiación, temperatura media anual diaria; asociada a su ubicación mediante latitud y longitud. Mediante la ecuación 2, 3 y 4 se calculó para cada punto (116) el rendimiento anual, la producción de energía anual de cada colector y el consumo de energía anual por familia. Mediante la ecuación 5 se calculó la inversión a realizar en paneles solares para los 116 puntos del país, con la ecuación 6 se calculó el costo de la energía anual en los puntos seleccionados (116) de calentamiento de ACS mediante termotanque tradicional de eficiencia “A” cuyo recurso energético puede ser: gas natural o resistencia eléctrica. Para el cálculo de tiempo de recupero de la inversión se utilizó la siguiente ecuación 7:

$$TRI = \frac{Inv.Solar}{CostoACS} \quad \text{Ecuación 7}$$

Siendo:

- TRI: tiempo de recupero de la inversión [años]
- Inv.Solar: Costo de inversión por única vez de compra de colectores solares [U\$S]
- Costo ACS: costo anual de calentamiento de agua caliente sanitaria mediante termotanque convencional de eficiencia “A” con gas natural, gas de garrafa o resistencia eléctrica [U\$S/año].

3.2. Generación de mapas mediante Sistema de Información Geográfica (SIG)

El programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizado fue ArcGIS. En dicho programa se cargaron resultados obtenidos para los 116 puntos de estudio, cada uno con su correspondiente coordenada de latitud y longitud. Utilizando el método de interpolación de “kriging” de segundo orden se generaron 12 capas distintas, correspondientes al tiempo de recupero de la inversión (TRI) para ambos colectores en comparación con el Gas Natural de Red y Electricidad de Red. Luego se cargó la capa de contorno de la República Argentina con sus correspondientes provincias para recortar y ajustar las capas a este contorno y así generar los 12 mapas de TRI de ambos colectores.

3.3. Mapas de rendimiento térmico

A continuación, se muestran los 12 mapas de TRI de la República Argentina (figura 5, 6, 7, 8, 9 y 10), para los colectores de: placa plana y tubo de vacío, en relación al costo de inversión de colectores solares para el ACS respecto al ahorro energético de energía eléctrica y gas natural de red, para el calentamiento de ACS a 50 grados centígrados.

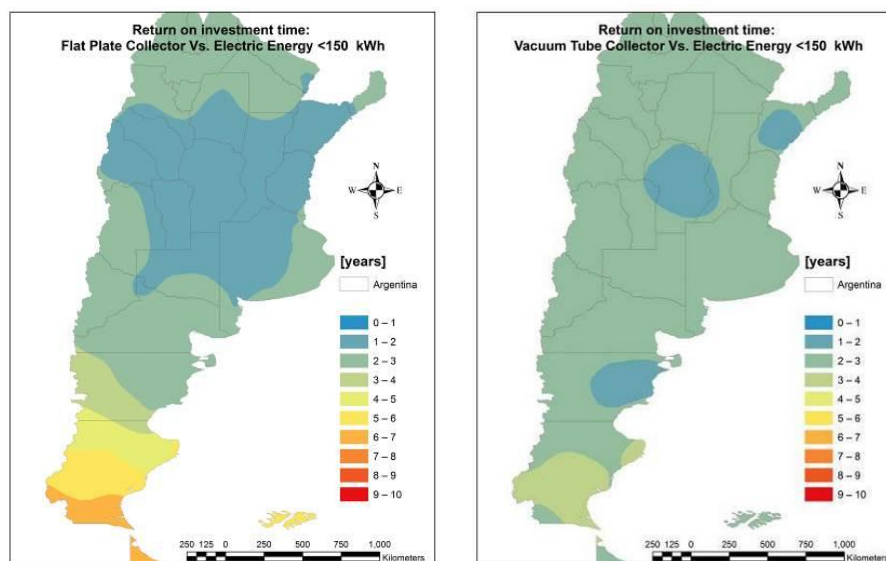


Figura 5– Mapas Argentinos de TRI de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío Vs. Electricidad para consumos menores a 150 kWh/mes.

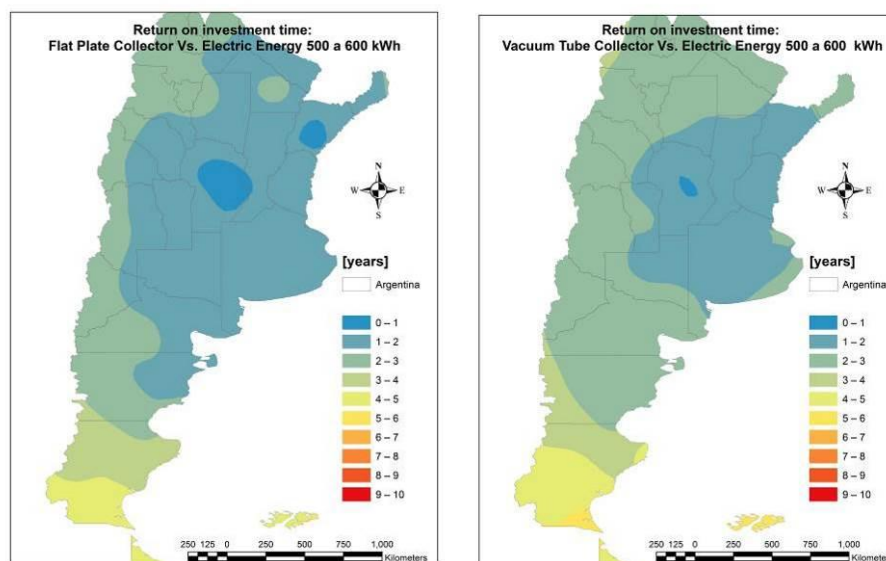


Figura 6– Mapas Argentinos de TRI de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío vs Electricidad para consumos entre 500 a 600 kWh/mes.

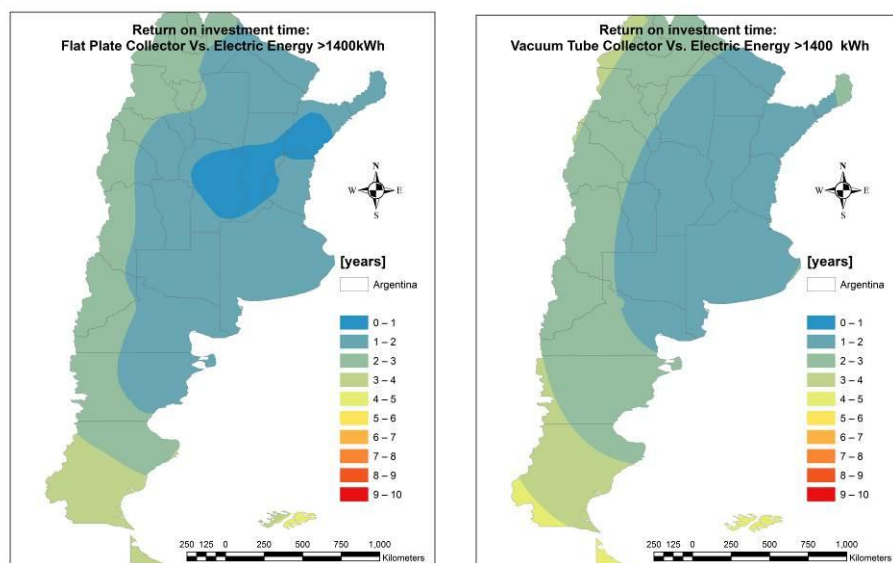


Figura 7– Mapas Argentinos de TRI de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío vs Electricidad para consumos mayores a 1400 kWh/mes

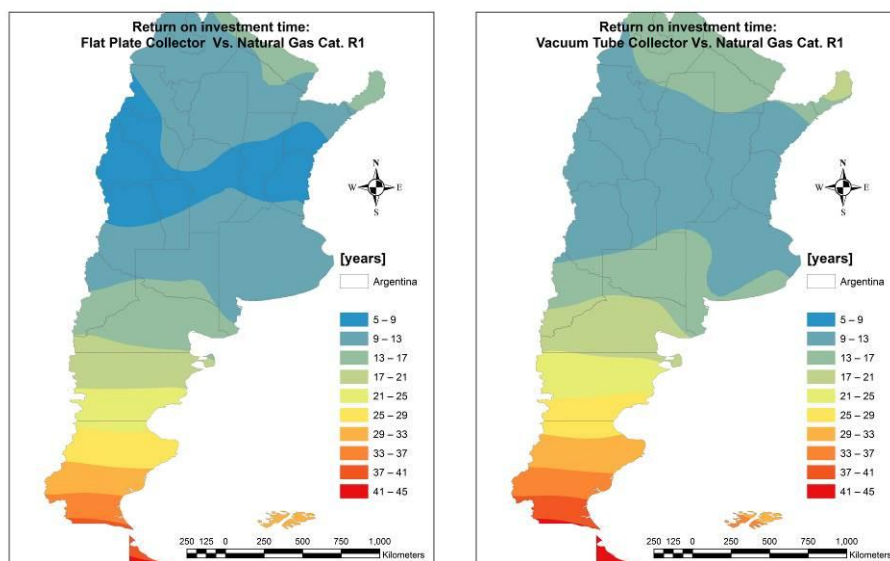


Figura 8– Mapas Argentinos de TRI de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío Gas Natural para la categoría R1 (hasta 500 m³ /año).

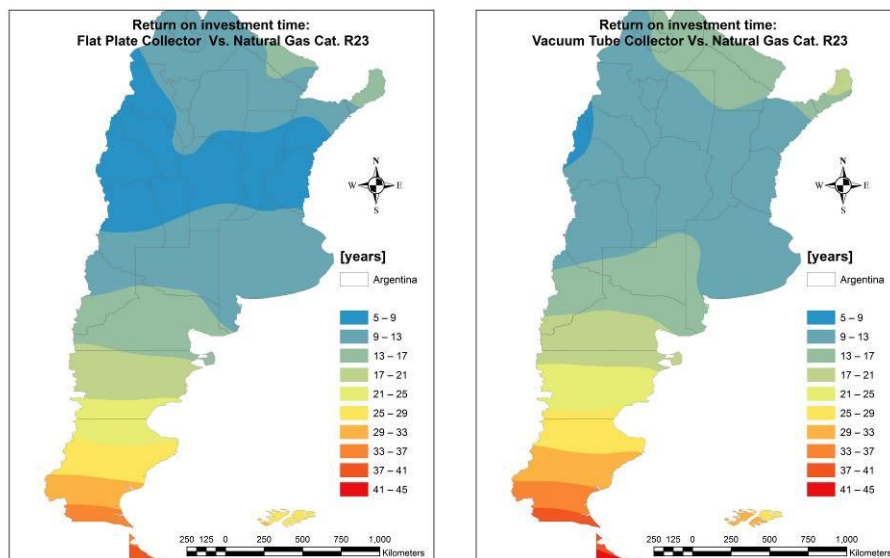


Figura 9– Mapas Argentinos de TRI de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío Gas Natural para la categoría R23 (de 801 a 1000 m³ /año).

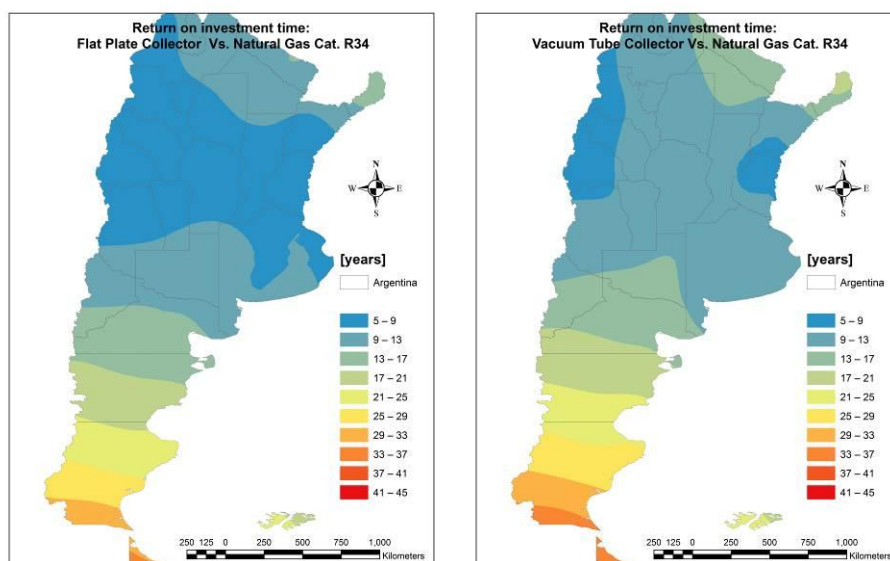


Figura 10– Mapas Argentinos de TRI de colector solar térmico de placa plana y tubo de vacío Gas Natural para la categoría R34 (mayores a 1801 m³ /año).

4. Discusión

La República Argentina es un país muy extenso, especialmente en su latitud que se extiende desde Jujuy ($21^{\circ} 46'$) hasta tierra del fuego ($55^{\circ} 03'$) que corresponde al área de estudio y análisis. Por consiguiente las variaciones de temperatura e irradiación solar son muy grandes a lo largo y ancho del territorio por lo que se evidencian diferentes tiempos de recupero de la inversión para mismas latitudes. Sin embargo al variar los precios de la energía por provincia se pueden encontrar zonas de mejores condiciones climáticas para instalar colectores solares que no tienen los mejores tiempos de recupero de inversión. Esta información es importante conocerla a la hora de seleccionar un tipo de colector, ya sea para su instalación, importación o producción, según la zona en la que se desea explotar el recurso solar. También es importante tenerla en cuenta para la implementación de políticas de fomento de la utilización de energía solar mediante colectores solares, tanto para su instalación como su producción.

El tiempo de recupero de la inversión resulta ser menor en casi todo el país para los colectores de placa plana debido que su producción de energía anual es mayor que los de tubo de vacío por metro cuadrado de colector. Sin embargo para latitudes más grandes, donde las temperaturas son más bajas tienen un recupero de inversión mayor los colectores de tubos de vacío. Las diferencias entre colectores es más notable para valores de radiación y temperaturas más altas que coinciden con latitudes entre 45° a 20° grados, siendo muy similares para zonas de temperaturas y radiación bajas en latitudes más altas (superiores a 45° grados), debido a que el rendimiento de los colectores de tubo de vacío es mayor que los de placa plana en estas zonas. No se evidencian cambios muy significativos para variaciones de longitud para una misma longitud. En todos los casos el tiempo de recupero de inversión de un colector solar es menor cuando se lo compara con el calentamiento mediante energía eléctrica, ya que esta es más cara que el gas natural, siempre comparando con los valores residenciales.

4. Conclusión

La gran cantidad y variedad de colectores solares que existen en el mercado nacional e internacional, sumado a lo extenso que es el territorio argentino con su variabilidad estacional de temperatura y radiación, la variedad de tarifas de gas natural y electricidad, hace muy complejo el análisis de rendimiento, producción energética y TRI de colectores solares térmicos para cualquier punto de la República Argentina, por lo tanto, podría ser una buena opción desarrollar herramientas informáticas para procesar y analizar la cantidad de datos y variables, que permitan decidir sobre que tecnología es la óptima para cada ubicación, aplicación y época del año, donde lo que se busca es tener mayor rendimiento de los equipos, mayor producción energética y menor tiempo de recupero de la inversión. Esta herramienta informática es el desarrollo de la tesis doctoral del Mg. Ing. Alejandro Haim, cuyo Director y Co-Director son Dr. Ing. Federico Nores Pondal y Dr. Pablo Canziani respectivamente, incubado en un proyecto de investigación radicado en la UTN-FRBA en el Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar dependiente del Departamento de Ingeniería Civil.

5. Referencias bibliográficas.

[1] Informe “Renewables 2010: Global Status Report 2010”, REN 21.

Disponible en:

http://www.ren21.net/Portals/o/documents/activities/gsr/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf

[2] www.solarkeymark.org

[3] Informe “Renewables 2019, Global Status Report, REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century”

Disponible en:

<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

[4] Informe “Energías Renovables: Diagnóstico, barreras y propuestas”. Secretaría de Energía de la Nación, REEEP y Fundación Bariloche, junio 2009

[5] “Comparative analysis of performance thermal solar collectors in the Argentine Republic through geographic information systems” Publicación de divulgación científica con referato de la Universidad de Lomas de Zamora, denominada: “Revista Científica de Ingeniería Industrial y Mecánica”. Volumen v – Número 8.

Disponible en:

<http://servicios.ingenieria.unlz.edu.ar:8083/ojs/index.php/RIIYM/article/view/50/54>

ISSN: 2525-0396

[6] Empresa Lansolar

Disponible en:

<http://www.lansolar.com/paginas/panel-plano-solar-termica.html>

[7] Empresa Fill Sun

Disponible en:

<https://www.energia-solar.com.ar/?product=colector-solar-termosifonico-50-tubos>

[8] NORES PONDAL, Federico y HAIM Alejandro, “Ensayo bajo norma IRAM de colectores solares planos y de tubos evacuados, comparación de características”. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2016. Vol. 20, pp 03.109-03.118.

Disponible en:

<http://www.asades.org.ar/Averma/Ensayo%20bajo%20norma%20iram%20de%20colectores%20solares%20planos%20y%20de%20tubos%20evacuados.%20comparacion%20de%20caracteristicas.%20Pondal%2C%20Purucker%2C%20Garreta%2C%20Garcia%20Zuloaga%2C%20Scheinckman%2C%20Morale%20%5B2016%20-%20Tema%20%203%5D.pdf>

ISSN: 2314-1433

[9] GOSSI GALLEGOS Hugo y RIGHINI Raul. Atlas de Energía Solar de la República Argentina. 2007. Vol. 1, p 47

Disponible en:

https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Grossi_Gallegos/publication/317478062_Atlas_de_Energia_Solar_de_la_Republica_Argentina/links/594af49baca2723195de8898/Atlas-de-Energia-Solar-de-la-Republica-Argentina.pdf

ISBN: 978-987-9285-36-7

[10] Servicio Meteorológico Nacional

Disponible en:

<https://www.smn.gob.ar>

[11] Informe: Eficiencia en calefones, Estructuplan. Argentina, 20 marzo, 2015

Disponible en:

<https://estrucplan.com.ar/eficiencia-de-calefones-importancia-de-los-consumos-pasivos/>

[12] ENARGAS, Cuadro tarifario de Gas Natural. Argentina, Abril 2019

[13] Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE)

Disponible en:

https://www.argentina.gob.ar/enre/cuadros_tarifarios