

ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO DE LA SUSTITUCIÓN DE FUENTES CONVENCIONALES POR ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO SANITARIO EN SALTA, ARGENTINA¹

Ileana Gimena Cruz *
Juan José Sauad **
Miguel Ángel Condori ***

Resumen. El consumo energético residencial para calentamiento de agua sanitaria es uno de los componentes más importantes de la demanda energética. En este trabajo se presenta un análisis, desde una perspectiva financiera y económica, del proceso de sustitución de energía fósil por solar térmica en el proceso doméstico de calentamiento de agua para consumo sanitario, en la Provincia de Salta, Argentina. El análisis financiero y económico se realizó en base al costo de inversión y los ahorros en energía. Luego, se obtuvieron mapas de demanda energética y de los impactos financieros y económicos de la sustitución. Se evidencia que en la provincia de Salta, el acceso a la energía es inequitativo y las tarifas fomentan el *statu quo*. Sumado a esto, los resultados obtenidos comprueban que a nivel de vivienda y radio censal existe factibilidad financiera y económica de la sustitución para viviendas con Gas Licuado de Petróleo (GLP), electricidad y leña. La sustitución no es viable para viviendas y radios con acceso a red de gas natural. Pese a esto, es factible económicamente si se plantea la sustitución global del sistema energético por energía solar.

Palabras clave: Valor actualizado neto financiero; Valor actualizado neto económico; Sistema solar de calentamiento de agua.

* Universidad Nacional de Salta, Argentina (UNSa) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina (CONICET)

Contacto: icruz.unsa@gmail.com

** Universidad Nacional de Salta, Argentina (UNSa)

Contacto: jjsauad@gmail.com

*** Universidad Nacional de Salta, Argentina (UNSa) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina (CONICET)

Contacto: miguel.angel.condori@gmail.com

1 Financiamiento: Proyecto CONICET PIP 112201 501008 92CO "Evaluación de aspectos socioculturales, energéticos y ambientales para la planificación y desarrollo sustentable de la energía solar en Salta".

FINANCIAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE SUBSTITUTION OF CONVENTIONAL ENERGY BY SOLAR THERMAL ENERGY FOR HEATING OF SANITARY WATER IN SALTA, ARGENTINA

Abstract. Residential energy consumption for sanitary water heating is one of the most important components of energy demand. This paper presents an analysis, from a financial and economic perspective, of the substitution process of fossil energy with solar thermal in for sanitary water heating, in the Province of Salta. The financial and economic analysis was based on investment cost and energy savings. Then, energy demand maps and financial and economic impacts of the substitution were obtained. It is evident that in the analyzed area, the energy access is inequitable and tariffs promote the statu quo. In addition, the results show that at the housing and census radio level there is financial and economic feasibility of the replacement for homes with Liquefied Petroleum Gas (LPG), electricity and firewood. Substitution is not feasible for homes and radios with access to a natural gas network. In spite of this, it is economically feasible if the global replacement of the energy system by solar energy is considered.

Keywords: Financial Net Present Value; Economic Net Present Value; Solar Water Heating System.

Original recibido el 17/01/2018

Aceptado para su publicación el 24/07/2018

1. Introducción

Los sistemas solares para calentamiento de agua (SWHS) (calefones solares) son una tecnología madura con potencial capaz de abastecer la demanda de energía para calentamiento de agua de consumo sanitario (ACS). Su implementación a escala regional requiere una evaluación *ex-ante* de la viabilidad técnica, económica y ambiental. El potencial técnico de los SWHS a nivel micro (desempeño, funcionamiento, rendimiento y eficiencia) se encuentra ampliamente estudiado (Shukla, Sumathy, Erickson y Gong, 2013). Para la aplicación de los SWHS a escala macro se debe tener en cuenta la factibilidad financiera que debe ser estudiada en profundidad. Esta depende del recurso solar, condiciones climáticas, precio de la energía convencional y poder adquisitivo de los usuarios potenciales (Chandrasekar y Kandpal, 2004). El potencial económico de sustitución a nivel regional fue estimado para India (Chandrasekar y Kandpal, 2004), Serbia (Stevanovic y Pucar, 2012), Grecia (Diakoulaki, Zervos, Sarafidis y Mirasgedis, 2001) y Jordania (Mohsen y Akash, 1997). Aún no existen estimaciones de esta índole para Argentina.

En Argentina el desarrollo de las Energías Renovables (ER) es una política de estado, que se refleja en el Plan de energías renovables Argentina 2016-2025 y en la Ley 27.191 de Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía (Congreso de la República Argentina, 2015; Ministerio de Energía y Minería, 2015). La provincia de Salta, ubicada en el noroeste de Argentina, cuenta con un Plan Provincial de ER (Secretaría de Energía de la Provincia de Salta, 2014) y es pionera en la promulgación de una ley de implementación de generación distribuida (Congreso de la Provincia de Salta, 2014). El potencial técnico de energía solar para dicha provincia, evaluado a partir de los niveles de radiación solar, evidencia que el sector del altiplano salteño (Puna) posee los valores de radiación más altos del país superando los 2.300 Wh/metro² año. Las áreas de Valles Templados y Chaco, ubicadas en la región central, poseen valores anuales entre 1.600 y 2.000 Wh/metro² (Sarmiento, Belmonte, Dellicompagni, Franco, Escalante y Sarmiento, 2019). El potencial técnico de sustitución de fuentes convencionales por energía solar para el calentamiento de ACS evidencia que es posible satisfacer el 100% de la demanda energética para este uso en el sector oeste en la provincia de la Provincia de Salta, y en un rango del 34% al 96% en el resto del territorio (Cruz, Sauad y Condorí, 2017). En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo estimar la demanda energética para calentamiento de ACS y evaluar el desempeño financiero y económico de la implementación de SWHS para abastecer dicha demanda en el sector residencial la Provincia de Salta, Argentina.

2. Metodología

La demanda energética para calentamiento de ACS del sector residencial y la factibilidad financiera y económica de la implementación de SWHS, dependen del efecto conjunto del potencial técnico de sustitución energética, la variación conjunta de las condiciones fisiográficas, climáticas y variables demográficas del territorio. Por ello, en este estudio, se adoptó un enfoque territorial basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), tomando como unidad mínima espacial al radio censal utilizado para los relevamientos de variables socioeconómicas del Censo Nacional

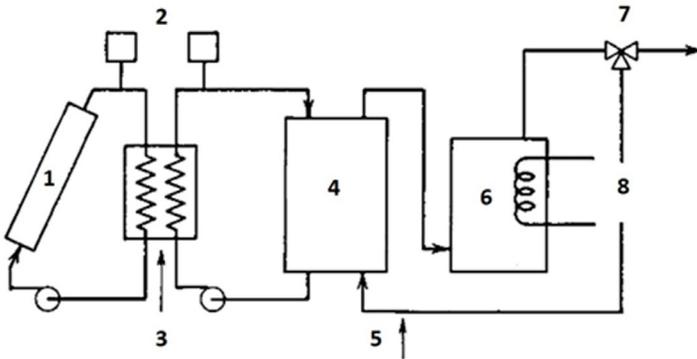
de Población, Hogares y Viviendas de 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC).

En las siguientes secciones se presentan las características técnicas del SWHS evaluado y las metodologías empleadas para la estimación de la demanda energética y la evaluación financiera y económica de la sustitución de fuentes convencionales por energía solar térmica.

2.1. El sistema solar de calentamiento de agua

El esquema del SWHS evaluado se presenta en la Figura 1. En el sistema, la energía solar es captada con un colector solar de circulación cerrada que se conecta a un intercambiador de calor el cual eleva la temperatura del agua y la almacena en un tanque de precalentamiento. Dicho tanque se conecta a un sistema auxiliar de calentamiento de agua. Una válvula de atemperación mantiene el agua del grifo por debajo de la temperatura máxima. Las características técnicas del dispositivo se presentan en la Tabla 1.

Figura 1. Sistema solar de calentamiento de agua evaluado



Referencias: 1) colector solar, 2) válvulas de seguridad, 3) intercambiador de calor, 4) tanque de precalentamiento, 5) suministro de agua, 6) tanque de agua caliente, 7) válvula de temperatura, 8) sistema auxiliar de calentamiento de agua.

Fuente: Duffie y Beckman (2013).

Tabla 1: Parámetros técnicos del sistema solar de calentamiento de agua

Parámetro	Descripción	Valor
$Fr^x U_L$	Factor de remoción de calor del colector. Tomado de Duffie y Beckman (2013).	1.4 (Wm ⁻² °C ⁻¹)
$Fr^x (\tau\alpha)_n$	Factor de eficiencia óptica del captador. Corresponde a la ordenada al origen de la curva característica del captador, obtenida de Duffie y Beckman (2013).	0.7
Área de colección	Superficie del colector solar, que define el área específica de captación de energía solar y que ingresa al sistema. Valor estándar obtenido de Duffie y Beckman (2013), para aplicación del método <i>f chart</i> .	3.22 m ²
β (ángulo de inclinación del sistema solar)	El ángulo de inclinación del colector solar se emplea como un parámetro de diseño. Permite maximizar la captación de radiación solar. Para este caso, se maximiza la colección de radiación solar en invierno. Se tomó la fórmula de Duffie y Beckman (2013) definida en función de la latitud (θ). Los datos utilizados corresponden a Cruz <i>et al.</i> (2017).	$\theta+15$

Fuente: Duffie y Beckman (2013).

2.2. Demanda energética para calentamiento de ACS

La demanda de energía (DE) se define como la cantidad de energía necesaria para incrementar la temperatura del ACS, desde la temperatura de entrada de cañería hasta la temperatura de referencia. Depende del clima, de la temperatura del agua de entrada de la cañería, el tamaño de la vivienda, número de personas por vivienda y patrones de uso de los/as residentes. Para obtener la DE por vivienda tipo del radio censal r , se aplicó el método propuesto por Canmet Energy (2001), utilizando la siguiente ecuación:

$$D_{ACS\ ijr} = \sum_{(n=1)}^{12} (Q_{ACS(tref)} \rho C_P (T_{ref} - T_{af}) NP)_n,$$

donde:

$D_{ACS\ ijr}$ es la demanda media anual de energía para ACS de la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r .

$Q_{ACS(tref)}$ es el consumo de agua caliente (l/día) a la temperatura de referencia (40 l/persona día) de una vivienda tipo del radio censal r , según Voivontas, Tsiligridis y Assimacopoulos (1998).

ρ es la densidad del agua (1 Kg/l).

C_P es el calor específico del agua (4,186.00 J/KG °C)

T_{ref} es la temperatura de referencia (55°C según Voivontas *et al.*, 1998)

T_{af} es la temperatura del agua de cañería para el mes “ n ” (°C).

N es el número de días del mes “ n ”.

P es el número de personas por vivienda tipo i del radio censal r (INDEC, 2010)

n es el número de mes del año

Las características climatológicas y fisiográficas de cada sitio geográfico de consumo se incluyeron en el modelo a partir de la estimación de la variable Temperatura del agua de cañería (T_{af}). Una descripción detallada de las ecuaciones empleadas puede consultarse en Canmet Energy (2001). Los datos, en formato *raster*, empleados en su cálculo se obtuvieron de World Clim (Ficky Hijmans, 2017).

La demanda energética agregada (DEA) por radio censal se obtuvo considerando la DE por vivienda tipo y la cantidad de viviendas por radio censal, según la base de datos INDEC (2010).

3. Evaluación financiera y económica de la sustitución energética

Se utilizaron como indicadores el Valor Actualizado Neto Financiero (VAN) y el Valor Actualizado Neto Económico (VANE). Para cada radio censal r , se identificó una vivienda tipo i con fuente energética j (gas de red, garrafa, electricidad y leña) para la cual se estimaron los indicadores correspondientes. El valor obtenido para cada vivienda tipo se extrapólo a todo el radio censal.

El beneficio anual de una vivienda tipo es una función del ahorro energético anual obtenido por utilizar el sistema SWHS, en comparación con el sistema convencional y la tarifa energética por tipo de fuente a sustituir. El ahorro energético de una vivienda tipo depende de la DE y la fracción solar. La fracción solar es un indicador adimensional que estima la fracción de la DE que puede abastecerse con el SHWS, en condiciones climáticas y demográficas específicas. Normalmente varía entre 0 (sin SWHS) y 1 (el uso del SHWS permite abastecer la totalidad de la demanda energética por vivienda). En este estudio se empleó el factor f medio anual estimado para las viviendas tipo de la Provincia de Salta, con un nivel de detalle de radio censal, desarrollado por Cruz *et al.* (2017).

En el caso de las viviendas tipo con acceso a la red de gas natural, se consideró el costo promedio por metro cubico de las tarifas de las categorías vigentes de consumo, según la Resolución ENARGAS 1/4353. Para las viviendas que emplean electricidad, se utilizó la Resolución ENRESP 905/17. En el caso de las viviendas con GLP y leña, se tomaron los precios de mercado vigentes a setiembre de 2017². Todos los costos energéticos fueron dolarizados, según la cotización de la divisa en el Banco Nación de la República Argentina a setiembre de 2017.

El ahorro financiero anual de una vivienda tipo se define según la siguiente ecuación:

2 Si bien los análisis del presente trabajo se realizaron sobre el cuadro tarifario 2017, es importante consignar que durante el año 2018 se registraron incrementos en el índice de precios del consumidor del orden del 114% de variación interanual, para el ítem vivienda, agua, electricidad y otros combustibles (INDEC, 2018). Con estos cambios en los cuadros tarifarios, las proyecciones futuras plantarían un escenario más favorable para los procesos de sustitución planteados, pero también traen aparejado un incremento en la pobreza energética del país.

$$Ae_{ijr} = DACS_{ijr} \cdot f_{ir} \cdot C_{ijr},$$

donde:

Ae_{ijr} es el ahorro financiero anual de la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r (USD/año).

$DACS_{ijr}$ es la DE media anual de la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r (KWh/año).

f_{ir} es la fracción solar de la vivienda i del radio censal r .

C_{ijr} es el costo energético de la fuente energética a sustituir para abastecer la DE (USD/KWh).

Para el cálculo del VAN se consideró un costo de inversión de USD 862,1, sin acceso a préstamo. La inversión total incluye los costos del equipo adquirido y costos de mano de obra y materiales para instalar el SWHS (costos directos de instalación). El costo operativo anual se consideró como una fracción de 0,02 del costo de inversión, según Chandrasekar y Kandpal (2004). Se considera al ahorro anual una suma uniforme periódica de beneficios anuales. La tasa de interés utilizada fue de 10% con un horizonte de análisis equivalente a la vida útil del SWHS (15 años). Para la estimación del VAN de las viviendas tipo de los radios censales, se utilizó el siguiente algoritmo:

$$VAN_{ijr} = -CI - \alpha CI + \frac{\left[\sum_{(h=1)}^{15} (Ae_{ijr})_h \right]}{[(1+TD)^h]}$$

donde:

VAN_{ijr} es el VAN de la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r (USD).

CI es el costo de inversión del sistema solar de calentamiento de agua (USD).

α es el factor de costo operativo. Valor de 0,02 según Chandrasekar y Kandpal (2004).

Ae_{ijrh} es el ahorro energético de la vivienda i con fuente energética j del radio censal r correspondiente al período h (USD/año).

TD es la tasa de descuento.

h es el período.

En la evaluación económica se consideraron dos impactos económicos positivos: 1) liberación del recurso energético convencional (ahorro anual de energía por implementación del SWHS) y 2) liberación del recurso atmósfera como fuente sumidero de CO₂e o costo externo evitado por el ahorro energético de la vivienda tipo i del radio censal r , debido a la reducción de las emisiones de CO₂e. Las emisiones de CO₂e se estimaron para cada tipo de combustible utilizado por las viviendas tipo, en base al factor de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Ministerio de

Energía y Minería, 2015). Su valoración económica se realizó en base a la cotización de bonos de carbono en el mercado internacional.

Para la estimación del VANE se descontaron los impuestos a los costos de inversión y operativos. La tasa de social de descuento utilizada fue del 12% conforme a la Resolución 110/96 de la Secretaría de Programación Económica (1996). El horizonte de análisis equivalente a la vida útil del SWHS (15 años). La ecuación del VANE de las viviendas tipo i de los radios censales empleada fue la siguiente:

$$VANE_{ijr} = - CI - \alpha CI + \frac{\left[\sum_{(h=1)}^{15} (Ae_{ijr} + COSEVEX_{irj})_h \right]}{[(1+TSD)^h]}$$

donde:

$VANE_{ijr}$ es el VANE de la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r .

CI es el costo de inversión del sistema solar de calentamiento de agua (USD), sin impuestos.

α es el factor de costo operativo. Valor de 0,02 según Chandrasekar y Kandpal (2004).

Ae_{ijr} es el ahorro energético de la vivienda i con fuente energética j del radio censal r correspondiente al período h (USD/año).

TSD es la tasa social de descuento.

h es el período.

La ecuación del costo evitado por el ahorro energético ($COSEVEX$) de la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r , fue la siguiente:

$$COSEVEX_{ijr} = D ACS_{jrh} * f_r * \theta_j * Y_h$$

donde:

$D ACS_{jrh}$ es la demanda media anual de energía para ACS la vivienda tipo i con fuente energética j del radio censal r (KWh/vivienda).

f_r es la fracción solar de la vivienda i del radio censal r .

θ_j es el factor de emisión de CO₂e de la fuente energética j para Argentina (Tn CO₂e/ KWh) (Ministerio de Energía y Minería, 2016).

Y_h es la cotización de bonos de carbono en el mercado (USD/Tn CO₂e)

CY_h es la cotización de bonos de carbono en el mercado (USD/Tn CO₂e)

El VANE agregado ($VANE_a$) por radio censal de la sustitución de todas las fuentes energéticas se obtuvo considerando el VANE por vivienda tipo, tipo de fuente y la cantidad de viviendas tipo i por radio censal, según la base de datos de INDEC (2010).

El VANE agregado ($VANE_a$) por radio censal de la sustitución de todas las fuentes

energéticas se obtuvo considerando el VANE por vivienda tipo, tipo de fuente y la cantidad de viviendas tipo *i* por radio censal, según la base de datos de INDEC (2010).

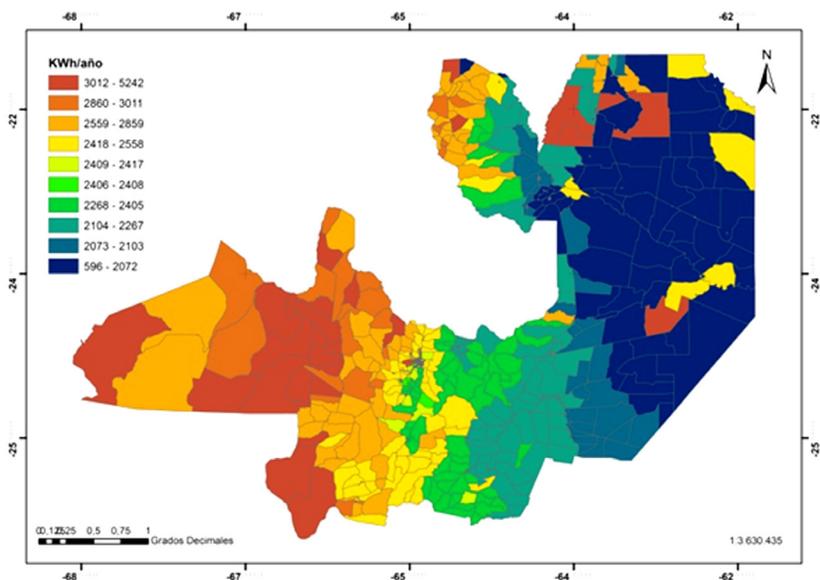
4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Demanda energética

La DE media anual de las viviendas tipo de la Provincia de Salta es de 2.480 KWh, con un rango de variación comprendido entre 596-5.242 KWh/año. El indicador presenta un comportamiento heterogéneo que expone el efecto de las condiciones climáticas (Figura 2). Los valores de DE se incrementan de este a oeste. La energía necesaria para calentar el agua en las regiones de clima cálido (Valles templados y región de Chaco) es menor que en climas fríos (región de Puna y Prepuna). Los máximos valores de DE anual por vivienda se presentan en los departamentos de Los Andes (3.034 KWh), Cachi (2.847 KWh) y Rosario de Lerma (2.727 KWh). Los valores mínimos del indicador se presentan en los departamentos de Metán (2.319 KWh), Anta (2.227 KWh) y Rivadavia (1.062 KWh).

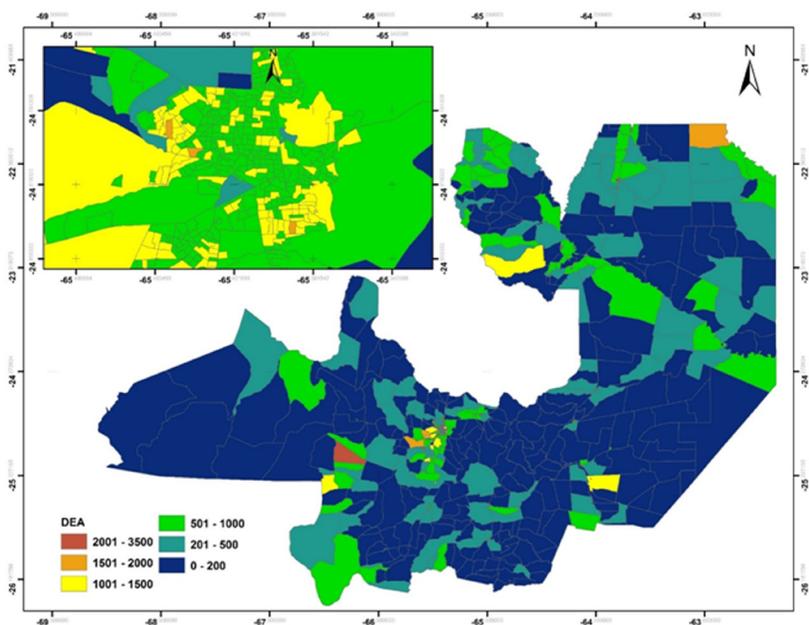
El análisis de la DEA media anual por radio censal, expone el efecto de la densidad poblacional sobre el indicador (Figura 2). Los valores máximos de DEA se presentan en los centros urbanos de la Provincia de Salta. Estas regiones se caracterizan por poseer climas cálidos y mínimos valores de DE de las viviendas tipo. En las regiones con clima frío (ecorregión de Puna), los valores de DEA presentan los valores mínimos, aunque la DE por vivienda es máxima. Los valores mínimos de estas regiones se asocian a la baja densidad poblacional de los radios censales rurales. Se observa que el efecto de las condiciones climáticas, evaluado a partir de la DE de las viviendas tipo, se ve invertido por efecto de la densidad poblacional.

Figura 2. Demanda Energética media anual de las viviendas tipo, con un nivel de detalle de radio censal (kWh/año). Salta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Demanda energética agregada (DEA) media anual de los radios censales (MWh). Salta



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Evaluación financiera y económica

Los ahorros anuales de las viviendas tipo presentan un comportamiento heterogéneo por fuente energética y región geográfica. Los máximos ahorros anuales se obtuvieron para las viviendas que utilizan GLP (USD 503,18) y los mínimos se presentaron en las viviendas con acceso a la red de gas (USD 90,62). Los estadísticos descriptivos del ahorro anual de las viviendas tipo, discriminados por fuente energética, se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de los ahorros anuales, discriminados por tipo de fuente utilizada para calentamiento de ACS, en USD. Salta, septiembre de 2017

Fuente energética	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Ahorro de las viviendas con gas natural	801	41,84	90,62	46,22	6,72
Ahorro de las viviendas con GLP	1.276	218,07	503,18	253,06	44,10
Ahorro de las viviendas con electricidad	344	143,38	407,40	236,60	34,03
Ahorro de las viviendas con leña	1.096	99,24	228,67	115,68	21,47

Fuente: Elaboración propia.

A nivel geográfico, los ahorros anuales son máximos en las zonas con clima frío (Puna y Prepuna) y mínimos en las regiones con clima templado a cálido (Región de Chaco y Valles Templados).

La inversión en la sustitución energética es viable, desde la perspectiva financiera, para las viviendas con GLP (VAN = USD 1.077,90), energía eléctrica (VAN = USD 937,51), leña (VAN = USD 25,90) e inviable para las viviendas con red de gas natural (VAN = USD -510,50) (Tabla 3).

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del VAN de las viviendas tipo, por tipo de fuente energética, en USD. Salta, septiembre de 2017

Fuente	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Red de gas natural	801	-862,06	-172,83	-510,50	51,12
GLP	1.266	324,01	2.965,15	1.077,90	289,59
Electricidad	344	228,50	2.236,62	937,51	258,86
Leña	1.086	-323,06	877,20	25,90	140,41

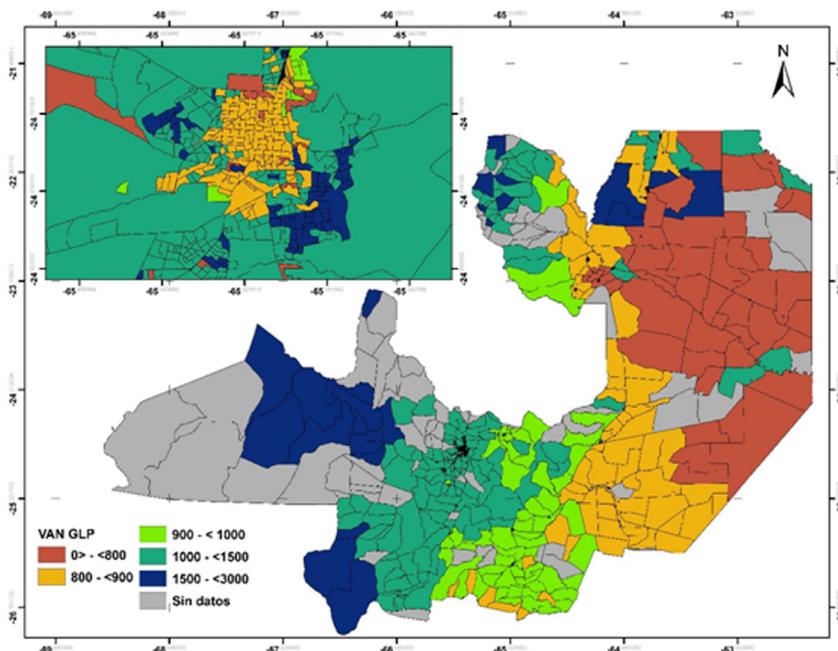
Fuente: Elaboración propia.

Los valores máximos del VAN comprendidos en el rango de USD 1500 - USD 2965,15 se presentan en las viviendas con GLP de la región de Puna, mientras que el rango de valores mínimos (USD 324,01 - USD 800) se encuentra en la región este de la

Provincia de Salta (Figura 4). Para las viviendas con gas de red el VAN es negativo para todos los radios censales, presentándose las mínimas ineficiencias financieras (VAN = USD -428) en sector oeste. En las viviendas del área urbana, ubicadas en los valles templados y Chaco, la implementación de SWHS para sustituir la leña es inviable desde la perspectiva financiera (Figura 5). Las viviendas que utilizan electricidad para calentamiento de ACS cuentan con factibilidad financiera, en todos los radios censales.

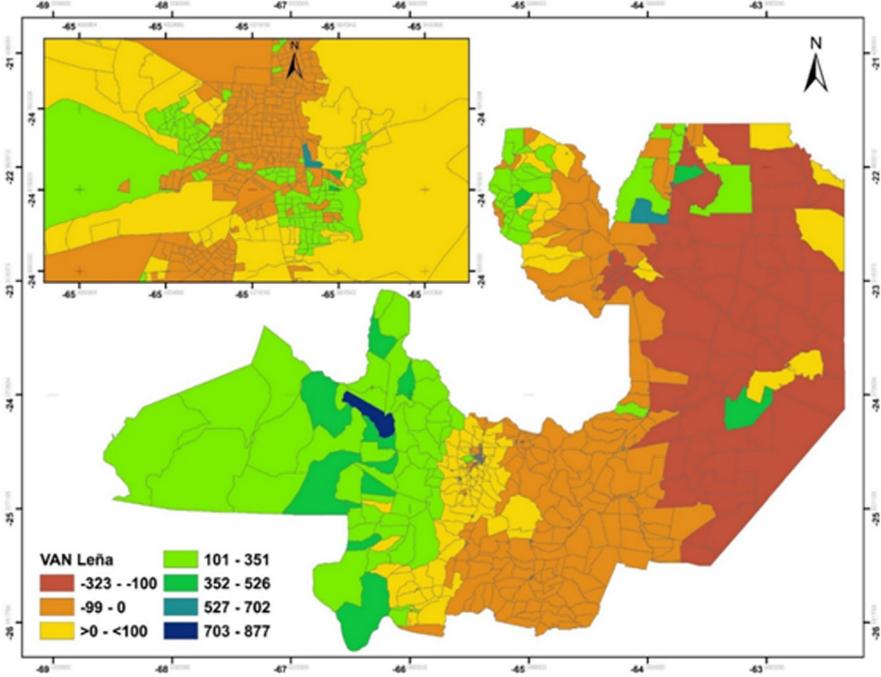
La implementación de SWHS cuenta con factibilidad económica en los radios censales con viviendas con GLP (VANE = USD 1140,83) y electricidad (VANE = USD 961,57). El VANE de las viviendas con acceso a la red de gas es negativo en todos los radios censales de la Provincia de Salta. Los valores de desviación estándar del VANE, se encuentran asociados a la variabilidad geográfica de la DE, la tarifa energética de la fuente a sustituir y el costo evitado por emisión de CO₂eq (Tabla 4).

Figura 4. VAN de las viviendas tipo que emplean GLP para abastecer la demanda energética para calentamiento de ACS, a nivel de radio censal, en USD. A la izquierda, zoom al área urbana del Departamento Capital



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. VAN (USD) de las viviendas tipo que emplean leña para abastecer la demanda energética para calentamiento de ACS, a nivel de radio censal, en USD. A la izquierda, zoom al área urbana del Departamento Capital



Fuente: Elaboración propia.

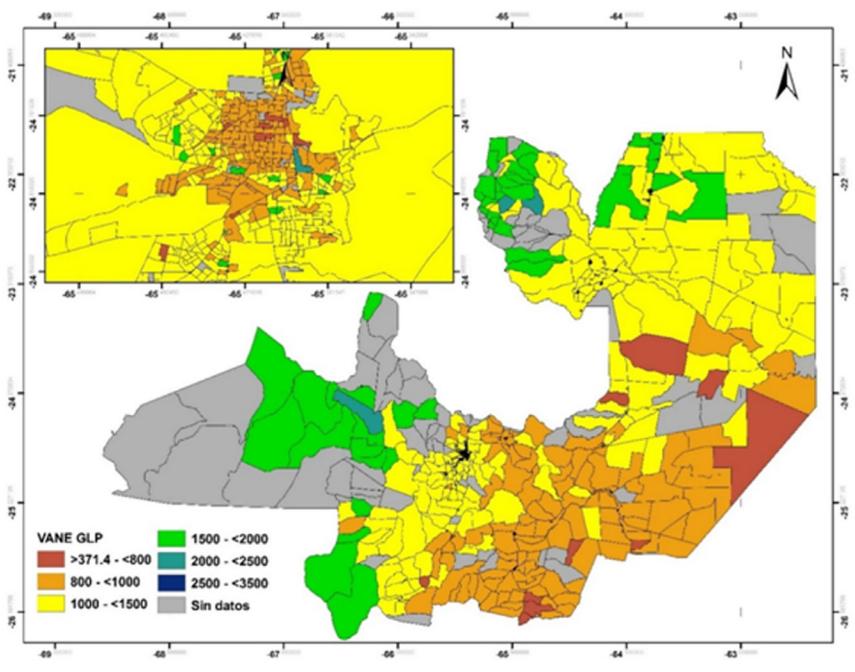
Tabla 4. Estadísticos descriptivos del VANE de las viviendas tipo discriminados por fuente energética, en USD

Fuente	N	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
Red de gas natural	800	-362,03	-505,38	-131,42	46,94
GLP	1.266	1.140,83	371,42	3.321,27	285,69
Electricidad	344	961,57	125,92	2.335,32	398,53
Leña	1.086	202,82	125,92	1.239,61	156,18

Fuente: Elaboración propia.

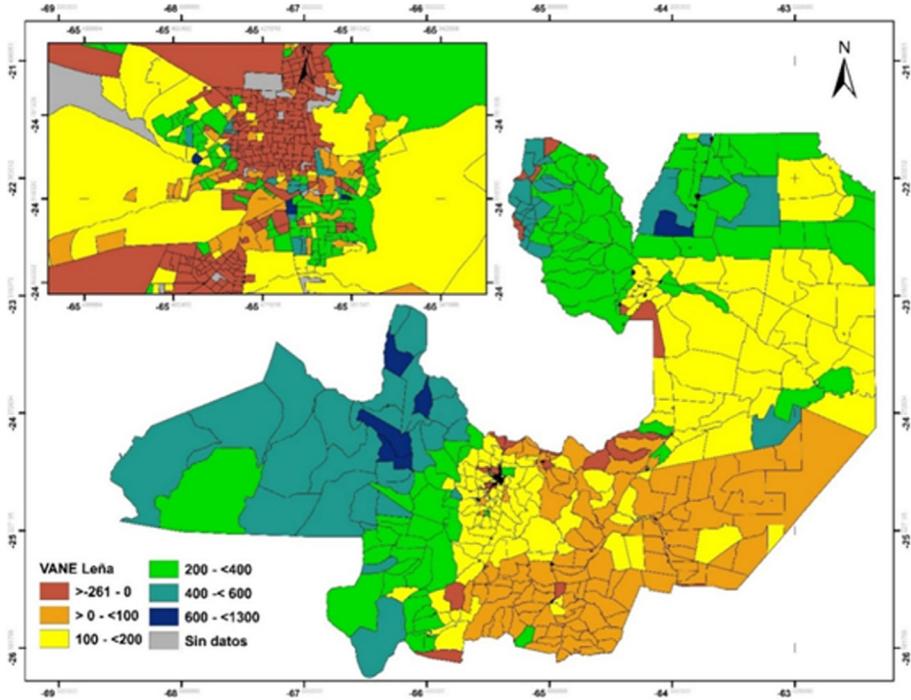
La ineficiencia económica de la sustitución es máxima en los radios censales con viviendas con gas natural del Departamento Capital, región de Valles Templados. La eficiencia de la sustitución energética se maximiza en los radios censales con viviendas con GLP de la región de Puna (Figura 6). La implementación de SWHS no es factible en las viviendas que utilizan leña, en los radios censales urbanos de la región de Valles Templados (Figura 6).

Figura 6. VANE de las viviendas tipo que emplean GLP para abastecer la demanda energética para calentamiento de ACS, a nivel de radio censal, en USD. A la izquierda, zoom al área urbana del Departamento Capital



Fuente: Elaboración propia.

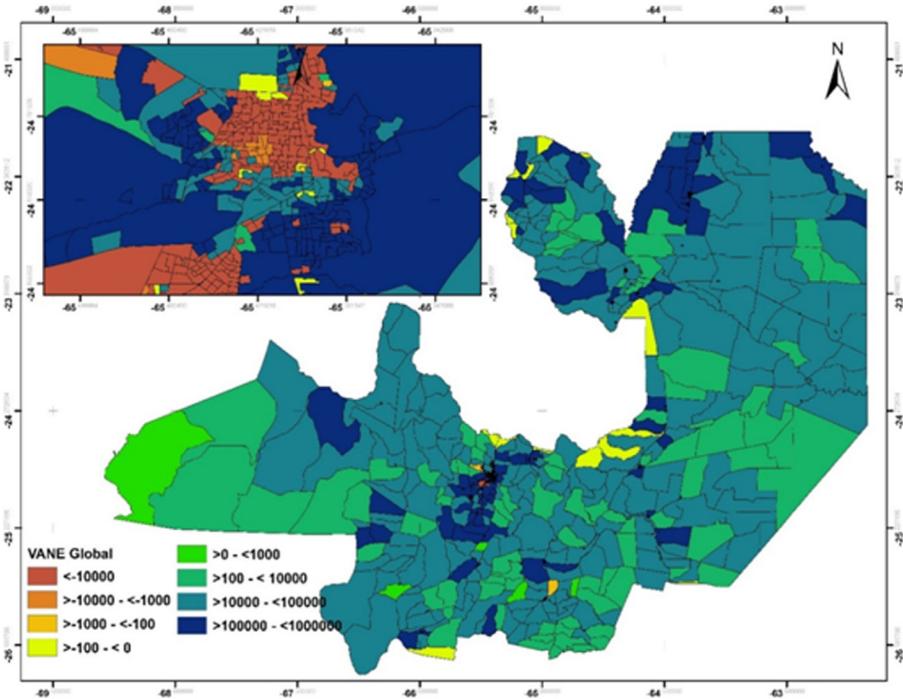
Figura 7. VANE de las viviendas tipo que emplean leña para abastecer la demanda energética para calentamiento de ACS, a nivel de radio censal, en USD. A la izquierda, zoom al área urbana del Departamento Capital



Fuente: Elaboración propia.

La implementación de SWHS en todas las viviendas de los radios censales de la Provincia de Salta, sustituyendo todas las fuentes convencionales de energía, cuenta con viabilidad económica ($VANE_{a\text{ medio}} = \text{USD } 89.588,82$), excepto en la región urbana ubicada en el Valle Templado (Figura 8). En dicha región las ineficiencias financieras de la implementación de SWHS en viviendas con red de gas natural y leña, no logran compensarse por la sustitución del resto de las fuentes energéticas.

Figura 8. VANE global (VANEa) de la sustitución total de fuentes convencionales por SWHS para los radios censales, en USD



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

La implementación de SWHS cuenta con factibilidad financiera y económica en las viviendas tipo de los radios censales que utilizan GLP y electricidad para el calentamiento de ACS. Para las viviendas cuya fuente energética es la leña, la sustitución energética no es viable desde la perspectiva financiera en los radios censales urbanos del Valle Templado y de la región de Chaco oriental y occidental. Pero, la evaluación económica evidencia que el uso de los SWHS es viable en todos los radios censales con viviendas que emplean leña para el calentamiento de ACS, excepto en las áreas urbanas. La sustitución energética no es viable para viviendas tipo con acceso a la red de gas.

El VANE_a evidencia que la implementación de SWHS cuenta con factibilidad económica, si se sustituyen todas las fuentes energéticas en la totalidad de viviendas de la Provincia de Salta. Para este caso, las pérdidas económicas generadas por las viviendas con acceso a la red de gas se compensan con la eficiencia generada por la implementación de SWHS en viviendas con electricidad, GLP y leña.

Los indicadores financieros y económicos fueron estimados en base a modelos que dependen del costo de la energía por tipo de fuente. En la evaluación financiera y económica se utilizó una tarifa promedio del costo de la energía por fuente, dada

la carencia de información sobre la cantidad de usuarios por tipo de categoría tarifaria y fuente. En consecuencia, es de esperar que los indicadores se encuentren subestimados y que las viviendas con una categoría tarifaria que superen a la media, obtengan mayores beneficios con la inversión. Por ejemplo, en el caso de viviendas con acceso a la red de gas con tarifas superiores a la media (categorías de consumo R3 1, R3 2, R3 3 y R4), la inversión puede contar con factibilidad financiera.

La evaluación financiera permitió evaluar la viabilidad de la implementación de SWHS y reviste importancia ya que proporciona una visión de la potencialidad de la sustitución energética sin la intervención del Estado. Pero para viviendas cuya fuente energética es la leña y el GLP, dadas las condiciones socioeconómicas de la población, los costos de inversión difícilmente podrán ser asumidos por las familias. El análisis de los ahorros generados por la implementación de SWHS por tipo de fuente expone un escenario de inequidad en el acceso a la energía. En las viviendas que emplean leña y GLP, los ahorros anuales resultan superiores a los de las viviendas con acceso a la red de gas. Ello debido a que la población socialmente más vulnerable, que emplea leña como fuente principal, paga un costo de energía superior a la de la población con las mejores condiciones socioeconómicas con acceso a la red de gas.

Si bien se ha demostrado la factibilidad financiera y económica de la sustitución energética de GLP, electricidad y leña, y la factibilidad económica del cambio del modelo energético para las cuatro fuentes analizadas, el cambio no se producirá espontáneamente sin la intervención del Estado. La sustitución energética debería orientarse a modificar el modelo energético actual y reducir las inequidades en el acceso a la energía.

En base a los resultados obtenidos, existen tres posibles instrumentos económicos para fomentar la implementación de SWHS: 1) regulación tarifaria, 2) implementación de subsidios a la inversión, y 3) implementación de una asignación universal energética para la población socialmente vulnerable combinada con incremento de tarifas para consumos energéticos suntuarios. Siendo factible generar un fondo estatal para financiar inversiones en sustitución energética para la población vulnerable. En el primer caso, la tarifa de la fuente energética a sustituir podría incrementarse para las viviendas con acceso a la red de gas hasta alcanzar un punto de equilibrio en el que el VAN sea positivo. Podría aplicarse la misma lógica para las viviendas con GLP, electricidad y leña, hasta un punto de equilibrio nuevo que garantice el recupero de la inversión en un periodo corto de tiempo. Sin embargo, este mecanismo no atiende a la necesidad de avanzar en la equidad en el acceso a la energía por dos aspectos: 1) conceptualmente subyace a este instrumento económico la concepción de la energía como un bien de mercado, 2) la medida podría generar un efecto adverso sobre las condiciones socioeconómicas de la población, generando más pobreza energética. La implementación de un subsidio a la inversión y una asignación universal energética, resultan más coherentes con la concepción del acceso a la energía como derecho humano y atiende a mejorar la equidad energética.

Los resultados obtenidos permitirán mejorar el proceso de sustitución energética, siempre y cuando se consideren en el marco de un proceso de planificación

energética, enfocado a modificar el modelo energético actual y fomentar la equidad en el acceso a la energía. Los indicadores financieros y económicos constituyen un criterio de decisión que debe complementarse con indicadores de impacto de la implementación de SWHS sobre la vulnerabilidad social de la población, para definir áreas de acción prioritarias.

Finalmente, cabe puntualizar que la situación de inestabilidad de la macroeconomía de Argentina genera un escenario de incertidumbre en el cual las decisiones asociadas a los procesos de sustitución energética cambian en forma continua. Los escenarios que se avizoran en relación al incremento en el costo de la energía convencional favorecerían los procesos de sustitución.

Referencias bibliográficas

- Canmet Energy (2001). *Solar water heating project analysis*. Ottawa, Canadá: Minister of Natural Canada.
- Chandrasekar, B., y Kandpal, T. C. (2004). Techno-economic evaluation of domestic solar water heating systems in India. *Renewable Energy*, 29(3), 319-332.
- Congreso de la Provincia de Salta (2014). Ley N° 7824 Balance Neto. *Generadores Residenciales, Industriales y/o Productivos*. Salta, Argentina: Congreso de la Provincia de Salta.
- Congreso de la República Argentina (2015). Ley 27.191 de *Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía*. Buenos Aires, Argentina: Congreso de la República Argentina.
- Cruz I., Sauad J. y Condorí M. (2017). Evaluación del potencial técnico de la implementación de energía solar térmica para el calentamiento de agua de uso sanitario en la provincia de Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (21), 21-31.
- Diakoulaki, D., Zervos, A., Sarafidis, J. y Mirasgedis, S. (2001). Cost benefit analysis for solar water heating systems. *Energy Conversion and Management*, 42(14), 1727-1739.
- Duffie, J. y Beckman, W. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Hoboken, EEUU: John Wiley & Sons.
- Ente Nacional Regulador del Gas. (2017). Resolución ENARGAS N°1/4353. Buenos Aires, Argentina: Ente Nacional Regulador del Gas.
- Ente Regulador de los Servicios Públicos (2017). Resolución ENRESP 905/17. Buenos Aires, Argentina: Ente Regulador de los Servicios Públicos.
- Fick, S. y Hijmans R. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, s/p.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Unidades Geoestadísticas - Cartografía

- y códigos geográficos del Sistema Estadístico Nacional. Ministerio de Hacienda de la Nación- Sistema Estadístico Nacional. Recuperado de <https://www.indec.gov.ar/codgeo.asp>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) (2018). Serie histórica: Índice de precios al consumidor con cobertura nacional, según divisiones de la canasta, bienes y servicios, clasificación de grupos y principales aperturas. Diciembre de 2016-octubre de 2018. Ministerio de Hacienda de la Nación- Sistema Estadístico Nacional. Recuperado de: https://www.indec.gov.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=3&id_tema_2=5&id_tema_3=31
- Ministerio de Energía y Minería (2015). Plan de energías renovables Argentina 2016 – 2025. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Energía y Minería.
- Mohsen, M. y Akash, B. (1997). Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process. *Energy Conversion and Management*, 38(18), 1815-1822.
- Sarmiento, N., Belmonte, S., Dellicompagni, P., Franco, J., Escalante, K., y Sarmiento, J. (2019). A solar irradiation GIS as decision support tool for the Province of Salta, Argentina. *Renewable Energy*, 132, 68-80.
- Secretaría de Energía de la Provincia de Salta (2014). Plan Provincial de Energías Renovables. Salta, Argentina: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Secretaría de Programación económica (1996) Resolución 110/ 96. Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Programación Económica.
- Shukla, R., Sumathy, K., Erickson, P., y Gong, J. (2013). Recent advances in the solar water heating systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 173-190.
- Stevanović, S. y Pucar, M. (2012). Financial measures Serbia should offer for solar water heating systems. *Energy and Buildings*, 54, 519-526.
- Voivontas, D., Tsiligiridis, G. y Assimacopoulos D. (1998). Solar Potential for Water Heating Explored by GIS. *Solar Energy*, 62(6), 419–27.