

CEER-S-198

ANALISIS DE VIABILIDAD Y DETERMINACION DEL
MERCADO POTENCIAL PARA LOS CALENTADORES SOLARES
PARA USO RESIDENCIAL EN PUERTO RICO

POR

WILFREDO TOLEDO, M.A.

Y

SAMUEL TORRES ROMAN, PH.D.



CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH
UNIVERSITY OF PUERTO RICO - U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

OCTUBRE 1984

ANALISIS DE VIABILIDAD Y DETERMINACION DEL
MERCADO POTENCIAL PARA LOS CALENTADORES SOLARES
PARA USO RESIDENCIAL EN PUERTO RICO

POR

WILFREDO TOLEDO, M.A.

Y

SAMUEL TORRES ROMAN, PH.D.

P R E F A C I O

Este estudio lo inició el profesor Samuel Torres Román en el 1982 en la Unidad de Investigaciones del Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Sociales, con el respaldo financiero del Fondo Institucional para la Investigación (FIPI) del Recinto de Río Piedras de la Universidad de Puerto Rico. En la fase inicial de la investigación recibió la ayuda del Sr. William Jiménez, estudiante del Programa Graduado de Economía, quien fue sustituido como auxiliar de investigaciones por el Sr. Wilfredo Toledo, también estudiante del mismo programa. Por acuerdo entre el profesor Torres y el estudiante Toledo, la investigación se convirtió en el proyecto de tesis de éste último. Así el señor Toledo vino a ser el investigador principal con el asesoramiento y tutelaje del profesor Torres.

Esta investigación se benefició significativamente de datos provistos por una encuesta que fue parte de un estudio conjunto del Centro de Estudios Energéticos y Ambientales y del Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Sociales del Recinto de Río Piedras, ambas unidades de la Universidad de Puerto Rico, sobre los impactos socioeconómicos de los aumentos en el precio de la electricidad que fue publicado en 1983.

Una vez concluida la tesis, fue revisada por el profesor Ernesto Rodríguez, Instructor en el Departamento de Economía y por el Sr. Salvador Lugo, Científico I del Centro de Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico. A este último le pareció que por su temática y contenido se justificaba difundir el estudio como parte del programa de publicaciones del Centro de Estudios Energéticos y Ambientales. Su recomendación fue aprobada por el director, doctor Juan A. Bonnet propiciándose así esta publicación como un esfuerzo conjunto más entre el Centro de Estudios Energéticos y Ambientales y el Departamento de Economía del Recinto de Río Piedras, ambas unidades institucionales de la Universidad de Puerto Rico.

Wilfredo Toledo, M. A.

Samuel Torres Román, Ph. D.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS	vi-vii
CAPITULOS	
I. INTRODUCCION	1
El Problema	5
Método de Análisis e Hipótesis del Estu- dio	5
Justificación del Estudio	7
II. LOS CALENTADORES SOLARES Y SU UTILIZACION EN PUERTO RICO	9
Introducción	9
Los Calentadores Solares de Agua	10
Aspectos técnicos	10
Aspectos económicos	12
Utilización de los Calentadores Solares en Puerto Rico	15
Distribución de los Calentadores Solares en Uso	19
III. METODOLOGIA	23
Introducción	23
Estimación del Mercado Potencial	23
Análisis de Costo-Beneficio	27
Criterios de decisión	34

CAPITULOS

Análisis de "Cost-Effectiveness"	36
Criterio de Decisión Utilizado en el Es-	
tudio	38
Procedencia de los Datos	39
Revisión de Literatura	41
IV. RESULTADOS	49
Introducción	49
Determinación de Variables y Parámetros	
Relevantes para el Estudio	50
Enseres disponibles para el calenta-	
miento de agua en Puerto Rico	50
Consumo de electricidad de los siste-	
mas de calentamiento de agua	55
Comportamiento futuro del precio de la	
electricidad	59
Tamaño del calentador solar	66
Tasa de descuento	69
Análisis de Viabilidad de los Calentado-	
res Solares Bajo Distintos Escenarios .	71
Descripción de los escenarios e iden-	
tificación de los costos y beneficios	71
Costos y beneficios del calentador so-	
lar	75
Sustitución de un calentador eléctrico	
de uso continuo	75

	Página
CAPITULOS	
Sustitución de un calentador eléctrico de uso controlado	79
Sustitución de un calentador de ducha	81
Análisis de "Cost-Effectiveness" de Al- ternativas para Proveer un Mismo Nivel de Beneficio de Agua Caliente	84
Mercado Potencial de los Calentadores . Solares	89
Mercado potencial bajo el supuesto de precios crecientes	91
Mercado potencial bajo el supuesto de precios constantes	94
Resumen	94
V. .CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
APENDICE	106
I. CONSIDERACIONES TECNICAS SOBRE LOS CA- LENTADORES SOLARES DE AGUA	107
BIBLIOGRAFIA	112

LISTA DE TABLAS Y GRAFICAS

Tabla	Página
2.1 Equipo Solar Instalado en Puerto Rico	16
2.2 Distribución por Grupo de Consumidores del Acervo de Calentadores Solares Acumulado entre 1976 y 1981 en Puerto Rico	20
4.1 Acervo de Calentadores de Agua en Puerto Rico; 1981	52
4.2 Distribución por Nivel de Ingreso del Acervo de los Diferentes Calentadores de Agua en Puerto Rico; 1981	54
4.3 Consumo Mensual de Electricidad de los Diferentes Calentadores de Agua	55
4.4 Precio del kv/hr sin subsidio de 1956 a 1982	61
4.5 Precio del kv/hr con subsidio de 1974 a 1982	63
4.6 Proyección del Precio del kv/hr de 1983 al 2002	65
4.7 Valor Presente Neto y Tasa Interna de Rendimiento de un Calentador Solar Bajo Diferentes Escenarios del Tipo de Intensidad de Uso del Enser Sustituído Tasa de Interés y Tipos de Precios Vigentes	76
4.8 Resultados del Análisis de "Cost-Effectiveness"	87

	Página
Gráfica	
3.1 Relación entre el Valor Presente y la Tasa Interna de Rendimiento	37

CAPITULO I

INTRODUCCION

La crisis energética mundial obedece, principalmente a la dependencia de la expansión económica mundial de fuentes de energía no-renovables. Las fuentes de energía más utilizadas hasta ahora han sido el carbón, el petróleo y el gas natural.

En las últimas décadas, la disponibilidad de cantidades abundantes de petróleo y gas natural a precios bajos provocó que estos minerales se convirtieran en las principales fuentes de energía mundial. Actualmente el mercado mundial de energía depende del petróleo y del gas natural en alrededor de un 70 por ciento¹. Esta sobreutilización de recursos no-renovables, especialmente del petróleo, es la médula del problema energético mundial, ya que el precio del petróleo comenzó a subir cuando escasearon los yacimientos de éste.

En 1973 la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), organización que controla la mayor parte del petróleo existente, actuando en forma de cartel, comenzó a subir los precios en magnitud tal que para 1978 el precio se había cuadruplicado en relación al precio del petróleo de 1974².

¹Wilfrid Bach y otros, Renewable Energy Prospects, (Oxford: Pergamon Press, 1979) pág 13.

²Ibid., pág. 711.

Desde entonces el precio del petróleo ha continuado en ascenso y la situación energética mundial se ha agravado más aún.

Este aumento acelerado en el precio del petróleo ha tenido un efecto muy adverso en la situación energética de Puerto Rico, donde se depende principalmente del petróleo importado para producir energía. En Puerto Rico la generación de electricidad está basada en un 90 por ciento en la utilización del petróleo como combustible, lo que ha provocado que los aumentos en el precio del petróleo se traduzcan en incrementos significativos en el precio de kilovatio hora para todos los abonados de la Autoridad de Energía Eléctrica, agencia encargada de administrar la generación de electricidad en la Isla. Por otro lado, industrias como la del cemento, la de la construcción y la de transportación se han visto afectadas por el alza en el precio del petróleo y como resultado han aumentado los precios de sus bienes y servicios.

Toda esta situación energética a nivel mundial ha motivado la investigación de fuentes alternas de energía tanto para sustituir como para completar el petróleo como principal fuente de energía. En Puerto Rico se han realizado estudios para determinar en qué forma algunas de estas nuevas formas de energía pueden ser utilizadas en el país. Las fuentes de energía renovables han sido el objeto principal de las investigaciones a nivel mundial. Entre estas fuentes se encuentran las que se derivan directa e indirectamente del sol. En este último grupo se incluyen la biomasa, la energía del viento y la energía térmica del océano. Este estudio se concentra en

uno de los usos que tiene la energía solar directa, por tanto en los siguientes párrafos se estarán discutiendo los aspectos más importantes de esta fuente de energía.

La energía solar es la fuente energética más abundante que existe. La tierra intercepta un total de aproximadamente 170 billones de kilovatios hora (kv/hr) diariamente³. De esta cantidad, Puerto Rico recibe un promedio de 50 mil millones kv/hr por día⁴. Esto es alrededor de 2,000 veces la cantidad de electricidad generada en la isla diariamente.

La energía solar, por ser renovable y abundante, resulta muy atractiva como fuente de energía, ya que no plantea el problema de agotamiento de reservas como sucede con el petróleo. No obstante, la mera disponibilidad física de esta fuente de energía no es el único elemento importante al considerar su uso. Es importante también la existencia de tecnologías apropiadas para utilizar el recurso, y más aún, que los costos de éstas compitan favorablemente con los costos de las tecnologías para generar energía ya existentes.

De las tecnologías disponibles que utilizan energía solar directa, la de los calentadores solares de agua es la más desarrollada y ha resultado ser económicamente viable en varios países. Por ejemplo, en Israel existen alrededor de 200,000 calentadores solares para uso residencial y en Japón

³Heriberto Plaza y otros, Guía para el consumidor sobre calentadores solares de agua para uso residencial en Puerto Rico, Centro de estudios energéticos y ambientales, San Juan, Puerto Rico, 1979, pág. 9.

⁴Ibid., pág.

alrededor de dos millones⁵. En Puerto Rico también se están utilizando. Para 1981, según estimados de la Oficina de Energía, existían en la isla un total de 16,737 calentadores solares de agua para uso residencial.

La implementación de la tecnología de los calentadores solares de agua es relevante en el caso de Puerto Rico ya que, como se mencionó antes, el país enfrenta altos costos de energía eléctrica. Sin embargo, en la Isla probablemente se está utilizando los calentadores solares de agua por debajo de su potencial. Como se mencionó anteriormente el número de calentadores solares en el país, para 1981, era de 16,737. Esta cifra contrasta con el estimado de mercado potencial que hace la Oficina de Energía⁶ de 750,000 unidades residenciales. Este dato fue obtenido de acuerdo al número de familias que tienen la facilidad física para instalar un calentador solar de agua en su residencia. Esto significa que los calentadores solares de agua residenciales representan un 2.23 por ciento de su mercado potencial, según el estimado de la Oficina de Energía.

Si se utiliza este criterio para establecer la situación actual de esta tecnología en la Isla, se tiene que señalar que se está haciendo un uso muy limitado de la misma. Es esta preocupación la que mueve al investigador a realizar el presente estudio.

⁵Departamento de Comercio de Estados Unidos, Economic Study of Puerto Rico, 1979, pág. 529.

⁶Ing. Angel N. Correa, Oficina de Energía Eléctrica, División de Energía Solar, entrevista, 1982.

El problema

Este estudio trata específicamente sobre el uso de calentadores solares de agua en Puerto Rico. El propósito fundamental de este estudio es: a) determinar si en realidad los calentadores solares de agua se están utilizando por debajo de su potencial en el país y b) de estar utilizándose por debajo de su capacidad, investigar por qué está ocurriendo esto.

Método de análisis e hipótesis del estudio

La adquisición de un equipo solar para calentar agua depende principalmente de la situación en que se encuentra la unidad económica en el momento de hacer esa decisión. La misma depende de los costos y beneficios esperados de la inversión en el equipo y estos flujos dependen de la situación específica en que se encuentre la unidad decisional. Se pueden identificar cuatro situaciones en las cuales se pueden encontrar los posibles compradores. Estos son: a) el comprador potencial que no posee calentador de agua y al querer adquirir uno por primera vez tiene que decidir entre las alternativas disponibles en el mercado las cuales son los calentadores de agua eléctrico o solar; b) el comprador potencial que tiene al presente un calentador de agua eléctrico de tanque aún con vida útil, el cual mantiene funcionando todo el tiempo; c) la unidad decisional tiene al presente un calentador eléctrico de tanque aún con vida útil, del que controla las horas de uso de acuerdo a sus necesidades de agua caliente; d) el posible

comprador tiene al presente un calentador eléctrico de ducha.

El estudio dependerá principalmente de un análisis de viabilidad de la inversión en un calentador solar bajo los escenarios en que se puedan encontrar los posibles compradores. En el análisis de viabilidad se medirá el flujo de costos y beneficios para cada caso. Este análisis permitirá determinar en cuáles casos la alternativa de invertir en un calentador solar es económicamente beneficiosa y en cuáles no lo es. De esta forma se podrán inferir posibles causas acerca de por qué los calentadores solares de agua se están utilizando por debajo de las expectativas de las autoridades públicas.

Se pueden plantear a priori algunas posibles explicaciones para la baja utilización de los calentadores solares. Primeramente, se puede plantear que las autoridades públicas y privadas han sobreestimado el mercado potencial para los calentadores solares. Esta hipótesis puede especificarse en dos direcciones. Primero, que los costos de inversión en calentadores solares puede ser mayor que el beneficio que resultaría como consecuencia de los ahorros en electricidad para varios de los escenarios especificados anteriormente. Por otro lado, se puede señalar que para algún tipo de posibles compradores de bajos ingresos, su restricción presupuestaria hace que la inversión en un calentador solar resulte prohibitiva. En segundo lugar, se puede establecer la hipótesis de que, aún con especificación más moderada del mercado potencial, la utilización presente está por debajo de la potencial

posiblemente por falta de información precisa sobre los costos y beneficios de la inversión.

Justificación del estudio

Con este estudio se pretende explicar en forma amplia las causas que han motivado el limitado uso que se le está dando en Puerto Rico a los calentadores solares, aun cuando éstos se han presentado como una alternativa real para aliviar el problema energético del país. Como se ha señalado, la energía eléctrica en Puerto Rico es generada básicamente por petróleo. Este hecho ha motivado a evaluar fuentes alternas de energía. Una en la que se ha puesto gran interés es la energía solar, específicamente aquella utilizada en calentadores de agua. La necesidad de evaluar esta alternativa energética desde una perspectiva económica hace relevante el presente estudio, ya que éste podría arrojar luz sobre el posible problema de la subutilización de los calentadores solares en el país y sus causas.

Esta investigación podría servir de guía a la política pública del país en torno al uso de fuentes alternas para la conservación de energía. Como es sabido, en los últimos años se han tomado medidas de política pública dirigidas a aliviar el problema energético de la isla. Se puede mencionar en específico el subsidio sobre el consumo de energía eléctrica que se estableció en 1974 y la exención contributiva hasta 500 dólares que se estableció por la compra de calentadores solares.

Por lo tanto es relevante todo estudio que pueda establecer claramente la viabilidad económica de los calentadores solares de agua bajo diferentes circunstancias de manera que pueda explicar su baja utilización. De esta forma se podrían determinar las medidas que pueden ser efectivas para incentivar su uso y así mejorar la política energética del país. El investigador considera que el presente estudio puede ser útil en esa dirección.

En el siguiente capítulo, se discuten algunos aspectos técnicos y económicos de los calentadores solares y el uso que se le ha dado a estos sistemas en el país. La metodología, la procedencia de los datos y la reseña de la literatura se presentan en el tercer capítulo. Aquí se discute el método utilizado en este estudio para estimar el mercado potencial de los calentadores solares y los aspectos más importantes de la técnica de Costo-Beneficio, que fue la técnica utilizada en el estudio para realizar el análisis de viabilidad.

El capítulo IV contiene los resultados de la investigación. En este capítulo se presenta el resultado de análisis de viabilidad de los calentadores solares bajo diferentes escenarios y la estimación del mercado potencial de estos enseres. En el capítulo final, se resume el estudio, se presentan las conclusiones y se hacen algunas recomendaciones.

CAPITULO II

LOS CALENTADORES SOLARES Y SU UTILIZACION EN PUERTO RICO

Introducción

La energía solar directa se puede utilizar a través de dos procesos: generación de energía eléctrica directa o producción de calor. El primer proceso se lleva a cabo por medio de las celdas fotovoltaicas. Estas celdas transforman la energía solar directamente en energía eléctrica. Aunque este tipo de tecnología está disponible en este momento, no es económicamente viable. El costo de la energía eléctrica generada por estas celdas es de \$1.50 por kilovatio/hora, mientras que en Puerto Rico el costo de la energía eléctrica es mucho menor que éste⁷.

El otro tipo de proceso es el que utiliza la energía solar en forma de calor. Esto se logra con un objeto que absorbe la energía solar y la convierte en calor. A este tipo de objeto se le llama colector de energía solar. Los colectores de energía solar pueden ser utilizados para: activar sistemas de enfriamiento, producir vapor y así generar electricidad o activar sistemas de calentamiento de agua. De

⁷Amador Cobas, Hugh Thorne y G. M. Concepción, Plan de Trabajo para el Proyecto de Energía Solar, (San Juan: Oficina de Energía, 1978) pág. 54.

estas tecnologías la de los calentadores de agua es la de mayor desarrollo comercial.

Los calentadores solares de agua

Aspectos técnicos⁸

Los calentadores solares de agua utilizan dos componentes principales: el tanque de almacenamiento de agua y los colectores de energía solar. El tanque de almacenamiento, también conocido como termo-tanque, tiene la función de almacenar el agua cuando ésta ha sido calentada. Como se mencionó antes la función de los colectores de energía solar es transformar la energía de sol en energía de calor.

Los calentadores solares para uso residencial utilizan de uno a cuatro colectores. El número de colectores depende de la capacidad de almacenaje que tenga el termo-tanque y del área geográfica en que se instale el equipo. La capacidad de almacenaje, a su vez, depende de la cantidad de agua caliente que requiere la unidad familiar. Mientras más capacidad de almacenaje tenga el termo-tanque más área de colectores se necesitará para elevar el volumen de agua a una temperatura determinada. Por otro lado, en diferentes zonas geográficas, la disponibilidad, intensidad y distribución de la energía solar, varía por tanto la cantidad de colectores necesaria para elevar una cantidad de agua dada, a una temperatura dada, también varía.

⁸ Para una discusión más detallada de los aspectos técnicos del calentador solar ver apéndice I.

Existen básicamente dos tipos de calentadores solares de agua, el que usa el sistema de termosifón o circulación natural y el de sistema con bomba de circulación forzada. Un tercer tipo surge como variante al sistema de termosifón y es el sistema combinado. El sistema de termosifón opera a base de circulación por gravedad. Para poder hacer uso de este tipo de calentador, el tanque de almacenamiento tiene que ser localizado en un punto más elevado que los colectores. De esta forma, el agua fría que se mantiene en el fondo del tanque puede bajar hacia el colector para ser calentada y luego sube para ser almacenada en la parte superior del tanque. Esto es así debido a que la densidad de un fluido varía inversamente con su temperatura y los fluidos livianos como el agua caliente, se mueven hacia arriba mientras que los pesados se mueven hacia abajo.

El sistema de bomba de circulación, además de los componentes comunes a todos los calentadores solares, tienen una pequeña bomba de circulación que funciona con energía eléctrica. En este tipo de sistema, la posición del tanque con relación a los colectores no es importante, ya que la bomba de circulación mueve el agua hacia el colector, aunque éste se encuentre en una posición más elevada que el tanque de almacenamiento.

El sistema combinado funciona básicamente igual que el sistema de termosifón, pero con la diferencia de que además de utilizar energía solar, puede utilizar energía eléctrica en el caso que sea necesario. Para hacer posible esto tiene

un sistema eléctrico auxiliar que entra en operación por lo regular después de dos días nublados consecutivos, lo que asegura un suministro de agua caliente aún en períodos prolongados de días nublados. La operación del sistema auxiliar es regulado por un termostato. En el caso de Puerto Rico la necesidad de utilizar el sistema eléctrico auxiliar es mínimo, pues rara vez ocurren períodos prolongados sin sol.

Aspectos económicos⁹

La característica económica principal de los calentadores solares es la combinación de costos de inversión iniciales altos y costos de operación bajos. Los costos de operación del calentador solar son bajos debido a que la cantidad de energía eléctrica que utiliza el sistema es poca o ninguna y los costos de mantenimiento son insignificantes.

Por otro lado, el costo inicial de un calentador solar depende del tamaño del equipo, el cual es determinado por la demanda de agua caliente que tenga cada unidad familiar, lo que determina la capacidad de almacenaje requerida. La variable que más afecta el costo de un calentador solar es el área de colectores que éste requiera que como ya se dijo, depende de la capacidad de almacenaje del tanque y de la zona geográfica donde se instale el equipo.

Es importante seleccionar adecuadamente la capacidad

⁹El material discutido en esta parte está contenido en: J.E. Hobson, The Economics of Solar Energy, (California: Stanford Research Institute, [n. d.]).

necesaria del calentador solar, de acuerdo a las necesidades del grupo familiar, ya que la cantidad máxima de energía de calor que genera un sistema de una capacidad determinada es fija para una zona climatológica dada. Si se adquiere un calentador solar con una capacidad mayor que la requerida, no solo se estará invirtiendo una cantidad de dinero mayor que la necesaria, sino que nunca se podrá obtener el beneficio máximo que puede rendir el sistema. Por otra parte, un calentador solar con una capacidad menor que la requerida, no proveerá la cantidad de agua caliente suficiente para satisfacer la demanda de la unidad familiar. Por lo tanto, una selección inadecuada de la capacidad del calentador solar puede ocasionar que la inversión en el equipo no sea beneficiosa.

La viabilidad económica de los sistemas solares también depende de la región en que se instale el equipo. La energía solar tiene la característica de que tiene que ser utilizada en el mismo lugar donde se genera, lo que hace que las diferentes tecnologías que hacen uso de ésta, tengan diferentes escenarios económicos en diferentes regiones.

Por lo tanto, la viabilidad económica de los calentadores solares, depende en gran medida del costo de la energía eléctrica y de la cantidad de días nublados consecutivos, en cada región geográfica. Mientras más alto sea el costo de la electricidad, más alto será el ahorro en el gasto de energía eléctrica y mayor la probabilidad de que la inversión en un calentador solar sea beneficiosa. Por otro lado, mientras más días nublados consecutivos ocurran en el año, mayor será la

utilización de energía eléctrica como fuente auxiliar del sistema y menores los beneficios del sistema.

Otra variable económica de importancia para la viabilidad de los calentadores solares es el factor de la intensidad del uso, que depende de la cantidad y frecuencia que se necesite el agua caliente. El calentador solar tiene el mismo costo de operación si se utiliza una vez al año como si se utiliza todos los días del año, pero mientras más sea utilizado éste mayor será el consumo de energía eléctrica evitado y por consiguiente mayor el beneficio, por la cantidad del gasto ahorrado. Esto hace que a medida que aumenta el uso del equipo, más beneficioso resulte la inversión en éste.

El patrón de consumo de agua caliente también es una variable que afecta la viabilidad económica de los calentadores solares. Si la unidad familiar utiliza gran parte del volumen de agua caliente disponible en el tanque en las tardes o durante la noche, cuando la intensidad de la radiación solar es baja, tendrá que depender del sistema auxiliar eléctrico para proveerse el servicio de agua caliente en la mañana, disminuyendo así los beneficios del calentador solar.

En Puerto Rico existen condiciones favorables para la utilización de los calentadores solares, ya que la intensidad de la radiación solar es alta y ocurre casi todo el año. Además, el costo de la energía eléctrica es alto, ha venido aumentando en los últimos años y no se prevee que disminuya. Esto podría explicar el auge en la utilización de estos equipos en la isla en los últimos años. Por otro lado, hace neces-

sario buscar respuestas a la interrogante de porqué su uso no es aún mayor a tono con las expectativas basadas en esas condiciones favorables.

Utilización de los calentadores solares en Puerto Rico

En Puerto Rico existen veintiocho fabricantes y distribuidores de calentadores solares de agua¹⁰. Estos son los que suplen la mayoría de las unidades solares en la isla.

Los calentadores solares han comenzado a ser utilizados en el país, tanto para uso residencial como para uso comercial en los últimos años. La tabla 2 muestra la cantidad de calentadores solares existentes en la isla en los años de 1976 a 1981. Esta tabla indica que los calentadores solares han tenido un ritmo creciente de utilización. Del año 1976 al 1978 se instalaron en la isla un total de 3,573 calentadores solares para uso residencial, un promedio de 1,191 calentadores por año. En 1979 se instalaron un total de 5,852. Esta última cifra equivale a casi cinco veces la cantidad promedio de calentadores solares, existentes para cualquier año de 1976 a 1978. En cuanto a las unidades para uso comercial, gubernamental e industrial también se ha visto un crecimiento de utilización a través de los últimos años.

Hasta el 1981 había en la Isla un total de 16,737 calentadores solares de agua para uso residencial. Esta cantidad

¹⁰ Oficina de Energía, Fabricantes y distribuidores de calentadores Solares en Puerto Rico. (Hoja suelta).

Tabla 2.1.

Equipo Solar Instalado en Puerto Rico*

Año	1976-78	1979	1980	1981	Total
Equipos residenciales**	3573	2523	4789	5852	16737
Area de colector (pie ²) comercial, gubernamen- tal e industrial	1026	44,100	23782	13795	87703

* Fuente: Oficina de Energía

** No se incluyen las unidades solares fabricadas por el propio consumidor.

es pequeña en comparación con el mercado potencial que ha estimado la Oficina de Energía de 750 mil unidades solares para uso residencial¹¹.

De ser correcta esta estimación de mercado potencial, se podría concluir que se está haciendo uso limitado de los calentadores solares, a pesar del alegato de que el reemplazo de los calentadores eléctricos por calentadores solares pueden aliviar la situación energética crítica que confronta el país.

Los calentadores eléctricos son uno de los enseres del hogar que más energía eléctrica consumen. Nestor Ortiz¹², como parte de un análisis de viabilidad de los calentadores solares, midió el consumo de electricidad de un calentador eléctrico manteniéndolo funcionando todo el tiempo, para diferentes unidades familiares y encontró que éste fluctuaba entre 150 y 300 kv/hr al mes. En contraste, un refrigerador convencional de 12 pies cúbicos consume aproximadamente 85 kv/hr mensuales, una lavadora de ropa utilizada ocho veces por semana consume 262 kv/hr al mes, y una secadora de ropa utilizada 12 horas semanales consume 280 kv/hr mensualmente¹³. Por tanto al sustituir un calentador eléctrico por uno solar, dismi-

¹¹Entrevista con el Ing. Angel M. Correa, División de Energía Solar, Oficina de Energía, San Juan, febrero 1980.

¹²Nestor Ortiz, "Solar Water Heating Application: How much can you save", Revista del Colegio de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores de Puerto Rico, San Juan, oct-dic (1978) pág. 15-17.

¹³Autoridad de Energía Eléctrica, Cuente sus kilovatios hora y controle su consumo, (San Juan, la autoridad [n. d.] pág. 7-16.

nuirá su forma en forma sustancial la cantidad de energía eléctrica consumida por una unidad familiar. Esta posibilidad, unido a la creencia de que los calentadores solares posible-mente se están utilizando por debajo de su demanda potencial, explican un marcado interés de parte del gobierno para promo-ver su uso. En el 1980 se estableció en el país, una exen-ción contributiva sobre los gastos de compra a instalación de cualquier equipo solar. Aquí se incluyen los calentadores de agua que son el equipo solar más utilizado en el país. En el caso de un equipo solar comprado para uso residencial, se proveía una deducción al ingreso tributable del 30 por ciento del costo del equipo, hasta un límite máximo de 500 dólares.

Por otro lado se ha motivado al consumidor para que cons-truya su propio calentador solar. Esto se ha hecho a través de la publicación de panfletos que indicaban como construir el equipo. Con ese fin, fue publicado un panfleto por el Co-mité de Trabajadores para Ayuda al Consumidor (COTACO) y el Centro para Estudios Energéticos y Ambientales¹⁴ y otro por el Departamento de Asuntos al Consumidor¹⁵. Estas publica-ciones pueden ayudar principalmente a familias de bajos in-gresos que no pueden pagar el precio de los calentadores so-lares provistos por empresas comerciales dedicadas a su pro-ducción o distribución, ya que el precio de venta es alto.

¹⁴ Comité de Trabajadores para ayuda al Consumidor y Cen-tro de Estudios Energéticos y Ambientales, Laborando y Conser-vando con la Energía Solar. (San Juan, [n. n.] [n. d.]).

¹⁵ Departamento de Asuntos al Consumidor, Como Construir un Calentador Solar. (San Juan, [n. n.] , [n. d.]).

Distribución de los calentadores solares en uso

Según un estudio realizado por la Oficina de Energía¹⁶ sobre la distribución de los calentadores solares en la isla, la mayoría de los calentadores solares en Puerto Rico están distribuidos entre familias de altos ingresos.

Para realizar esta distribución se establecieron tres grupos de consumidores, a base de los niveles de ingreso y el consumo de energía eléctrica. El grupo consumidor I se compone de personas de bajos ingresos y bajo consumo de electricidad (consumen menos del 10 por ciento del total de energía utilizada en Puerto Rico para calentamiento doméstico de agua). El grupo consumidor II se compone principalmente de usuarios de bajos ingresos y consumo moderado de electricidad (consumen cerca del 35 por ciento del total de energía utilizada para el calentamiento doméstico de agua en la isla). El grupo consumidor III compuesto principalmente por familias de ingresos medios y altos, y consumo de energía moderado (consumen más del 55 por ciento del total de energía utilizada para calentamiento doméstico de agua en el país).

La tabla 2.2 contiene la distribución del total de calentadores solares existentes en la isla para 1981, según fue hecho por la oficina de Energía. Es importante recalcar que los grupos de consumidores I y II se componen mayormente de

¹⁶ Oficina de Energía de Puerto Rico, Energy Conservation Plan Program Measures: Solar Water Heating (San Juan: [n. n.] 1981).

Tabla 2.2

Distribución, por Grupos de
Consumidores, del Acervo de
Calentadores Solares Acumulado entre
el 1976 y el 1981 en Puerto Rico

Grupo consumidor	Cantidad	Por ciento de total
I	167	1.0
II	1,506	9.0
III	15,064	90

Fuente: Oficina de Energía

personas de bajos ingresos y consumen conjuntamente alrededor del 45 por ciento del total de energía eléctrica utilizada en el país para calentar agua para uso doméstico. Sin embargo, poseían únicamente el 10 por ciento del total de los calentadores solares existentes en el país en 1981, según el estimado aludido. Mientras que el 90 por ciento de los calentadores solares pertenecían al grupo consumidor III, que estaba compuesto por familias de ingresos altos y medios. La cantidad de calentadores solares, de acuerdo a esta información, es muy baja para los grupos I y II, aunque estos representan un sector importante en el consumo de energía para calentar agua, en Puerto Rico.

Un estimado realizado por el Instituto de Tecnología Social¹⁷ encontró que las familias que habían comprado calentadores solares en la isla tenían un ingreso anual de \$15,000 ó más, lo que corrobora el estimado anterior. En este estudio se entrevistó a 100 propietarios de calentadores solares en Puerto Rico. El grupo entrevistado incluía personas que utilizan el calentador solar, para propósitos domésticos o no domésticos. De los propietarios que tenían unidades solares residenciales, 52 tenían ingresos de \$45,000 al año o más, 26 tenían ingresos igual o mayor de \$25,000 al año pero menor de \$45,000, 19 tenían ingresos anuales mayores o iguales a \$15,000 y menor de \$25,000, y ninguno tenía ingreso menor de

¹⁷ Instituto de Tecnología Social, Survey to Determine The Potencial Market for Solar Water Heaters in Puerto Rico, (In. p], [n. n], [n. d.).

\$15,000 al año.

Por lo que se puede inferir de estos estudios, la calefacción solar parece estar en una etapa todavía en la que es considerada como un especie de lujo, por algunos sectores económicos. Aunque esto se puede deber al desconocimiento de los verdaderos costos y beneficios que esta tecnología puede representar.

Como se ha visto en esta sección la cantidad de calentadores existentes en la isla ha tenido un ritmo creciente de utilización en los últimos años. Sin embargo el número existente en la isla para el 1980, era muy pequeño comparado con el mercado potencial estimado por la Oficina de Energía.

La baja utilización de estos sistemas, puede deberse a su alto costo, ya que parece que éstos son utilizados mayormente por familias de altos ingresos. Pero es posible que el desconocimiento de los verdaderos beneficios de la inversión en estos equipos, o incluso la no viabilidad económica del calentador solar para algunos sectores de la población de la isla puedan explicar en alguna medida la baja utilización que han tenido estos equipos hasta el momento.

CAPITULO III

METODOLOGIA

Introducción

En este capítulo se discute la metodología utilizada en el estudio y se reseñan los estudios que se han realizado para establecer la viabilidad económica de los calentadores solares para uso residencial en Puerto Rico.

Las primeras tres secciones del capítulo están dedicadas a la discusión de los aspectos metodológicos del estudio. En estas secciones se discuten, el método utilizado para estimar el mercado potencial de los calentadores solares, el modelo de costo-beneficio, que es la técnica utilizada para realizar el análisis de viabilidad de la inversión en calentadores solares y la procedencia de los datos utilizados en la investigación. En la última sección se discuten críticamente los estudios económicos sobre los calentadores solares que se habían realizado anteriormente en Puerto Rico hasta el momento de realizar esta investigación.

Estimación del mercado potencial

En el proceso de investigación se ha encontrado que anteriormente sólo se habían hecho dos aproximaciones del mercado potencial de los calentadores solares en Puerto Rico. Una

realizada por la Oficina de Energía de Puerto Rico¹⁸ y otra por David E. Ball¹⁹.

La Oficina de Energía estimó un mercado potencial de 750,000 unidades solares residenciales para toda la isla. Este estimado fue hecho a base del número de viviendas existentes en la Isla que cuentan con la facilidad física adecuada para la instalación de un calentador solar. El método utilizado para calcular el mercado potencial fue el siguiente: primero se determinó el número total de viviendas que existían en la isla, según estimado por la Junta de Planificación. A esta cifra se le restó el número de viviendas que por una razón u otra, alegadamente no se le pueden instalar calentadores solares como por ejemplo, las residencias de madera y zinc cuyo techo no es plano y los residenciales públicos. El número resultante fue aceptado como el mercado potencial para los calentadores solares.

Este método utilizado por la Oficina de Energía, por lo simplista, tiene algunas deficiencias. En primer lugar, en este estimado no se toma en consideración que, aunque exista una facilidad física adecuada para la instalación del calentador, puede existir una restricción presupuestaria o de otra índole que imposibilite a la unidad familiar para la compra

¹⁸ Entrevista con Ing. Angel M. Correa, División de Energía Solar, Oficina de Energía, San Juan, febrero 1982.

¹⁹ David E. Ball, Return on Investment for Residential Solar Water Heating, (Atlanta: Southern Solar Energy Center, January 1981).

del equipo. Además, al hacer el estimado se presume que la inversión en el calentador solar es económicamente viable para todas las unidades familiares que tengan facilidad física adecuada para instalar el sistema.

Ball hace un estimado del mercado potencial de los calentadores solares en Puerto Rico, a base del acervo de calentadores eléctricos convencionales existentes en la Isla. La cifra así estimada del mercado potencial fue de 365 mil unidades, que era la cantidad de calentadores eléctricos convencionales, según él, existentes en la Isla en diciembre de 1979.

Aunque este estimado puede que sea más revelador de la magnitud real del mercado potencial de los calentadores solares residenciales se considera que puede ser mejorado en alguna dirección utilizando otros criterios que pueden establecer mejor su potencial. En esta investigación se utilizó una modificación del método usado por Ball, considerando otras variables adicionales a la posesión de un calentador eléctrico convencional que pueden ayudar a determinar el mercado potencial.

El criterio utilizado en el presente estudio para incluir una unidad familiar en el mercado potencial de los calentadores solares, es que ésta tenga el servicio de agua caliente en su función de utilidad, que enfrenten una restricción presupuestaria que les permita manifestar ésta demandando algún tipo de los enseres que produzcan el servicio y, además, que la inversión en el calentador solar sea económicamente viable en la situación particular en que se encuentra la familia.

En la actualidad, además de los calentadores solares, existen dos tipos alternos que proveen el servicio de agua caliente, el calentador eléctrico convencional de tanque y el calentador de ducha²⁰. Por tanto, para determinar las familias que han manifestado demanda por agua caliente, es relevante estimar tanto el número de los calentadores eléctricos convencionales existentes como el de los calentadores de ducha, como primer paso para estimar el mercado potencial de los calentadores solares.

Específicamente el método utilizado para estimar el mercado potencial de los calentadores solares fue el siguiente: primero se determinó el número de unidades familiares con servicio de agua caliente, ya sea a través de un calentador eléctrico convencional, o de ducha. De esta cantidad se excluyó las unidades familiares para las cuales se determinó que la inversión en un calentador solar no es económicamente viable y se incluyen aquellas familias que, aunque al momento no cuentan con el servicio de agua caliente, por sus características socioeconómicas, podrían optar por agua caliente y la inversión en un calentador solar resulta ser la mejor alternativa para proveerse el servicio. Para determinar tanto las unidades familiares que se excluyen como las que se añaden se llevó a cabo un estudio de viabilidad de los calentadores solares, bajo diferentes situaciones que pueden afectar esa viabilidad

²⁰Se debe señalar que aunque los calentadores de ducha sólo producen agua caliente para bañarse, la instalación de más de uno de estos equipos en lugares apropiados de la casa puede hacerlos sustitutos aceptables para los calentadores solares o los calentadores eléctricos convencionales.

en los que puede encontrarse la unidad familiar.

Para llevar a cabo el análisis de viabilidad bajo esos diferentes escenarios, se han catalogado las unidades familiares en dos grupos. El primer grupo consta de las familias que tienen algún tipo de calentador eléctrico. Este grupo ha sido dividido en los siguientes casos: a) se tiene un calentador eléctrico que aún tiene vida útil y es utilizado todo el tiempo b) se tiene un calentador eléctrico que aún tiene vida útil y es utilizado sólo cuando se necesita c) se posee un calentador de ducha aún con vida útil.

El segundo grupo consta de las familias que no tienen calentador de agua alguno y que se enfrentan a las tres alternativas de calentadores para proveerse el servicio de agua caliente.

Para realizar el análisis de viabilidad de los calentadores solares se utilizó la técnica de costo-beneficio.

Análisis de costo-beneficio

Todo proyecto de inversión generará a través del tiempo una serie de impactos positivos y negativos que pueden ser clasificados como beneficios o costos. El análisis de costo-beneficio lo que pretende es identificar, cuantificar y comparar los costos y los beneficios que genera el proyecto, para de esta forma ayudar a la unidad decisional a evaluar la conveniencia del proyecto. Esta técnica postula como objetivo la maximización del beneficio neto (BN) de la inversión que se esté considerando. La función objetivo del análisis puede ser

formulada como:

$$BN = B - C \quad (1)$$

donde: B, es el beneficio total que genera el proyecto, y C, es el costo total en que se tiene que incurrir para llevar a cabo el proyecto.

Un proyecto es aceptable siempre que los beneficios sean mayores que los costos, es decir cuando el beneficio neto es positivo. Cuando se están considerando varios proyectos alternativos estos son colocados en orden de preferencia, de acuerdo a la magnitud de su Beneficio Neto. El proyecto que genera el mayor BN es considerado como la mejor alternativa de inversión.

A base de esto, se puede notar que la técnica de Costo-Beneficio está fundamentada en la racionalidad económica. En el caso en que se consideran más de un proyecto se procede de la misma forma en que proceden los individuos racionales cuando se confrontan con varias alternativas y escogen aquella alternativa que los coloca en el estado que más prefieren a tono con sus objetivos. En el análisis de costo beneficio, los beneficios pueden ser considerados como resultado por los cuales el individuo demuestra una preferencia, valorados a base de su disposición a pagar por ellos, y los costos como resultados por los cuales el individuo manifiesta una preferencia negativa, valorados a base de la compensación requerida para dejar a la persona igual que antes. Por lo tanto, la maximización del beneficio neto es un procedimiento que permite que los individuos afectados por el proyecto evaluado se coloquen

en el estado que más prefieren²¹.

Un factor importante a considerar en el análisis de costo-beneficio es el factor tiempo. En la mayoría de los proyectos de inversión, los beneficios y los costos no ocurren todos en un mismo punto en el tiempo, sino que son flujos a través de la vida económica del proyecto. Usualmente hay que incurrir en gran parte de los costos en el período inicial y los beneficios se reciben más adelante durante la vida útil del proyecto. Por lo tanto, la variable tiempo debe ser incluida en la función objetivo del análisis.

Para tratar el problema del tiempo hay que tomar en consideración que los individuos tienen preferencias intertemporales entre consumo en diferentes períodos de tiempo. De acuerdo a estas preferencias, le dan más valor al consumo presente que al consumo futuro, por lo que los impactos futuros del proyecto no son commensurables con los impactos presentes hasta que ambos sean actualizados en un punto en el tiempo.

Las preferencias intertemporales son medidas por medio de una tasa marginal de preferencia intertemporal (TMPI). Si un consumidor es indiferente entre un dólar en un año y 1.10 dólares el próximo año, entonces su TMPI es de .10 por año. Hay que señalar que las preferencias intertemporales son independientes del lugar donde se realicen las transacciones. Por lo tanto, la TMPI no debe ser confundida con la tasa de interés de mercado que es un fenómeno de un sistema particular de

²¹ Ajit K. Dasgupta & D. W. Pearce, Cost-Benefit Analysis: Theory and Practices (London: The Macmillan Press L.T.D. 1974) page 23-24.

organización económica, aunque esta última bajo ciertas condiciones puede ser usada como proxy de la primera²².

La fórmula (1) debe ser modificada para incluir las preferencias intertemporales de los consumidores. Una manera natural de hacerlo es utilizando la TMPI, para colocar todos los impactos del proyecto a un valor equivalente en un punto en el tiempo, preferiblemente el período inicial. Esto es, se puede descontar todos los flujos futuros con la TMPI, para calcular así el valor presente del beneficio neto (VPBN). Incorporando una TMPI igual a "r" la fórmula (1) puede ser reemplazada por la siguiente:

$$VPBN = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

donde: VPBN = el valor presente del beneficio neto

B_t = el beneficio en el período t

C_t = el costo en el período t

r = es la tasa de descuento

T = es el último período de la vida útil del proyecto

Esta fórmula hace que todos los impactos sean commensurables al descontar los impactos futuros por una tasa de descuento, que los hace equivalentes a los impactos que ocurren en el presente. La fórmula (2) es la que se utiliza en el análisis de costo-beneficio, para determinar la viabilidad

²² Robert Sugden of Alan Williams, The Principles of Practical Cost-Benefit Analysis. (Oxford University Press, 1979) pag. 11-14.

económica de un proyecto.

El análisis de costo-beneficio se ha utilizado principalmente para evaluar proyectos de inversión pública. Este análisis puede ser efectuado desde una perspectiva social o una privada. Desde una perspectiva social la función objetivo relevante es el valor presente del beneficio social neto (VPBSN), mientras que desde un punto de vista privado lo es el valor presente del beneficio privado neto (VPBPN).

Desde una perspectiva privada, en la que el análisis se utiliza para establecer la viabilidad financiera de la inversión, sólo se consideran aquellos impactos privados que afectan directamente a la unidad decisional. Esto es, los impactos internos del proyecto, los costos que tendrían que incurrir y los beneficios que recibiría si se realiza la inversión. Desde esta perspectiva privada los costos y los beneficios son valorados a los precios de mercado, ya que, dado el VPBPN como la función a maximizar, esta es la unidad de valor relevante.

Desde un punto de vista social se consideran todos los impactos que de una forma u otra puedan afectar las preferencias de la sociedad en pleno. Por lo tanto, esta perspectiva de análisis tiene el VPBSN como la función objetivo. En este análisis se consideran tanto los efectos internos como los efectos externos del proyecto. Los efectos externos, o externalistas pueden ser de carácter positivo o negativo, esto es, son impactos del proyecto que pueden aumentar o disminuir el nivel de utilidad del resto de la sociedad además de los costos y beneficios internos que percibe la unidad decisional.

Un ejemplo de externalidad negativa son los efectos ambientales que genere un proyecto, que aunque no afectan a la unidad decisional en su rol de inversionista, si afectan a la sociedad en conjunto.

Para medir los impactos del proyecto, el análisis social exige una unidad de medida que refleje adecuadamente la valoración social de cada uno de los impactos. Los precios de mercado son aceptables para este propósito siempre y cuando que no exista alguna distorsión en el mercado que impida que éstos reflejen la valoración social. De ocurrir alguna de estas distorsiones, se construyen unas medidas que reflejen correctamente la valoración social de los impactos del proyecto, medidas que se conocen como "precios sombras". Los precios sombras también se utilizan para valorar aquellos impactos del proyecto que no tienen precios de mercado.

La tasa de descuento utilizada en ambas perspectivas de análisis también puede ser diferente. En el análisis privado la tasa de descuento puede ser aproximada con la tasa de interés del mercado. La tasa de interés de mercado es determinada por los deseos de ahorrar y tomar prestado de los individuos, manifestados a través de la demanda y oferta de fondos. La demanda y oferta de fondos refleja la disposición de adelantar consumo futuro para aumentar el consumo presente y la de posponer el consumo presente para el futuro. Por lo tanto, la tasa de interés que establece el equilibrio de este intercambio intertemporal entre los individuos, puede reflejar la TMPI privada.

Pero, además de reflejar la TMPI de los individuos, la tasa de interés de mercado, incorpora el elemento de riesgo inherente al proceso de ahorrar y tomar prestado. Por esa razón, no existe una tasa única de interés en el mercado sino que coexisten diferentes tasas, lo que introduce un elemento de ambigüedad en la utilización de la tasa de interés del mercado como la TMPI. Por otro lado, al utilizar la tasa de interés como parámetro de la TMPI, se presume que el consumidor está tomando decisiones óptimas al ahorrar y tomar prestado. Pero el proceso de maximización de una función de utilidad que contiene bienes en diferentes períodos de tiempo, tiene la dificultad de que no se conoce con certeza la restricción presupuestaria que se enfrenta, ya que esto equivale a saber la cantidad de recursos que se tendrá durante toda la vida. Por lo tanto, el resultado de esta maximización no necesariamente será un óptimo. La tasa de interés de mercado es una de las variables objetivos de la política económica pública, por lo que es objeto de manipulación por parte del gobierno, acción que causa que ésta no siempre sea igual a la TMPI.

Estas son algunas de las causas por las que en el análisis de costo-beneficio desde una perspectiva social, no se utiliza la tasa de mercado como la tasa de descuento. Aunque en la literatura de costo-beneficio existe una controversia en torno a la tasa de interés que se debe utilizar como tasa de descuento en el análisis social, una de las tasas que se recomienda es la tasa de los bonos del gobierno. Esta tasa ade-

más de estar libre de riesgo, se supone que refleje un juicio de valor en cuanto a la TMPI social, debido a que esto debe ser una de las consideraciones utilizadas por los encargados de establecer política económica, al fijar la tasa de interés de los bonos gubernamentales.

En el análisis privado se utiliza la tasa de mercado que refleje la TMPI de la unidad decisional. Usualmente se aproxima ésta con la tasa de mercado a la cual la unidad decisional ahorra y toma prestado. Esta tasa de mercado también refleja el costo de oportunidad de realizar el proyecto bajo análisis, que tiene la unidad decisional. Este es el criterio usado en este estudio.

Criterios de decisión

En la técnica de costo-beneficio se han utilizado diferentes criterios para comparar el flujo de beneficios y costos y determinar la viabilidad económica de los proyectos. Entre estos criterios los más utilizados son el VPBN y la tasa interna de rendimiento (TIR).

Con el criterio del VPBN, se utiliza la siguiente regla de decisión: aceptar el proyecto si el VPBN es mayor que cero y rechazarlo si éste es menor que cero. El VPBN mayor de cero indica que el valor presente de los beneficios generados por el proyecto durante su vida económica es mayor que el valor presente de los costos en que se incurre para obtener esos beneficios.

El criterio de la tasa interna de rendimiento (TIR) re-

quiere que la tasa de rendimiento implícita en el flujo de costos y beneficios del proyecto sea calculada y entonces comparada con la tasa de descuento que se considere apropiada. La TIR del proyecto es aquella tasa de descuento que hace que el valor presente del beneficio neto sea igual a cero. Esta puede ser calculada solucionando el siguiente polinomio para r .

$$\sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (3)$$

La regla de decisión en este criterio es: aceptar el proyecto si la TIR del proyecto es mayor que la tasa de descuento relevante, de lo contrario, se rechaza el proyecto.

La utilización de la TIR tiene algunas limitaciones tales como:²³

(a) Esta es sensitiva a la vida económica del proyecto. Cuando se comparan proyectos con diferentes duraciones, la TIR revela como preferido a los proyectos de más corta duración.

(b) Raíces múltiples. Cuando se computa la TIR es posible obtener más de una tasa que soluciona el polinomio. Esto ocasiona ambigüedad en cuanto a la selección de la TIR que se va a utilizar entre todas las existentes. Esto ocurre solamente cuando el término $B_t - C_t$ cambia de signo más de una vez de un período a otro, a través de la vida útil del proyecto. Si este

²³Ajit K. Dasyupta en D.W Pearce, Op. Cit., pág. 164-168.

término, como es usual, es negativo en el período inicial del proyecto y luego es positivo para los períodos siguientes hasta el final de la vida económica del proyecto, entonces sólo existirá una tasa positiva que solucione la fórmula (3).

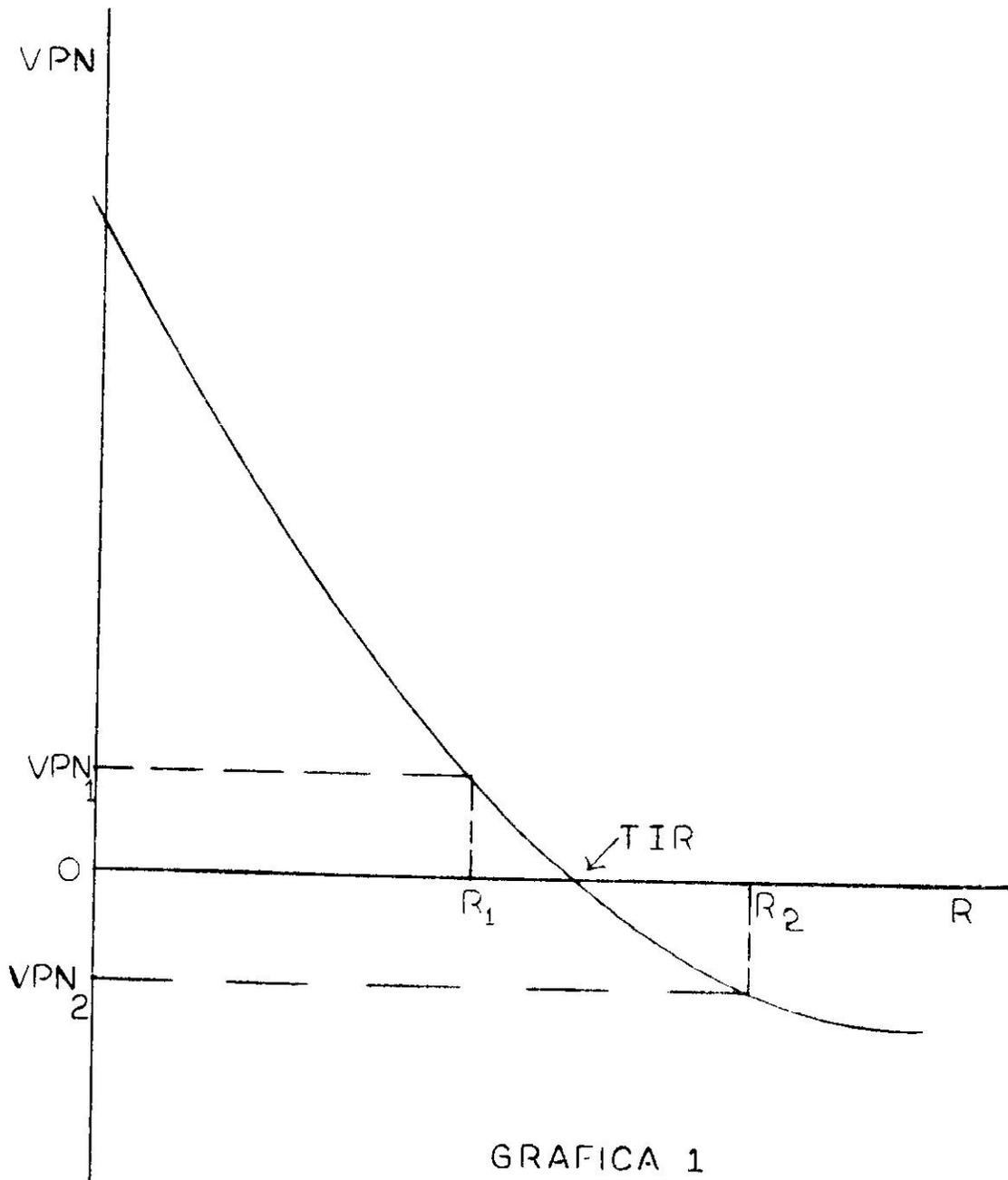
(c) Cambio en la tasa de descuento: La TMPI puede cambiar a través del tiempo de duración del proyecto bajo análisis. Si esto sucede, existirá arbitrariedad en cuanto a escoger la TMPI, con que se comparará la TIR.

Sin embargo, el criterio de la TIR cuando se obtiene una tasa única y se evalúa un sólo proyecto, nos lleva al mismo resultado que el VPBN. Esto puede verse en la gráfica I, que establece la relación que hay entre el VPBN y la TIR. Si la tasa de descuento fuera mayor que la TIR, r_1 , por ejemplo, el proyecto se rechazaría por ambos criterios, ya que el VPBN es negativo y r_2 mayor que la TIR. Por otro lado, si la tasa de descuento fuera menor que la TIR el proyecto se aceptaría también por el criterio del VPBN, ya que a esa tasa éste sería positivo.

Análisis de "cost-effectiveness"

Una variante de la técnica de costo-beneficio es el análisis de "Cost-effectiveness". Este análisis trata de determinar cómo un nivel dado de beneficios puede ser logrado al costo mínimo posible. Este método se utiliza cuando se está seleccionando entre proyectos mutuamente excluyentes que producen un mismo nivel de beneficio bien definido²⁴. En este caso

²⁴Robert Sugden and Alan Williams, Op. Cit., págs. 190-198.



GRAFICA 1
RELACION ENTRE EL VALOR PRESENTE NETO
Y LA TASA INTERNA DE RENDIMIENTO

en vez de tener que medir el flujo de beneficios y costos como en el caso del análisis de costo-beneficio, solo se tiene que cuantificar el flujo de costo para diferentes proyectos alternativos, y se selecciona el proyecto cuyo valor presente de los costos sea menor.

Criterio de decisión utilizado en el estudio

En este estudio se utilizó el VPBN, como el criterio de decisión, en los casos, antes especificados, donde se percibe tanto un flujo de costos como de beneficios durante la vida útil del calentador solar de agua. Estos son los casos donde la unidad decisional posee un calentador eléctrico convencional o calentador de ducha que desea sustituir con un calentador solar. En estos casos también se computará la TIR, ya que el hacer esto permitirá establecer la tasa de descuento crítica que hace viable la sustitución cuando se utilicen en el análisis diversas tasas de descuento.

En el caso en que el posible comprador no tiene al presente calentador de agua y considera adquirir uno por primera vez, se utilizará el análisis de "Cost-effectiveness" para evaluar la decisión de inversión. Este análisis es relevante en este caso debido a que se tienen proyectos mutuamente excluyentes como alternativas para obtener un mismo nivel de beneficio de agua caliente: calentador solar, calentador eléctrico convencional y calentador de ducha. En este caso, el beneficio es el valor de la utilidad que derive el posible comprador del servicio de agua caliente, magnitud desconocida, ya que el

consumidor no había manifestado previamente su disposición a pagar por este servicio. Sin embargo, ya que esa magnitud no varía para las diferentes alternativas, su cuantificación puede obviarse y decidir a base del costo, que sí puede establecerse con precisión para cada alternativa.

Procedencia de los datos

Para obtener el número de familias en la isla que tienen calentador eléctrico convencional o calentador de ducha, se utilizó un estudio realizado conjuntamente por el Centro para Estudios Energéticos y Ambientales y el Departamento de Economía del Recinto de Río Piedras, ambas unidades de la Universidad de Puerto Rico²⁵. En este estudio se obtuvo información sobre el acervo de estos enseres en las viviendas de Puerto Rico a principios del 1981.

Para hacer ese estudio se utilizó como fuente de datos un suplemento añadido a la encuesta mensual del Departamento del Trabajo. Utilizada para recopilar estadísticas en cuanto al "status" de empleo de la fuerza trabajadora del país. El suplemento que se añadió a la encuesta del Departamento del Trabajo, consistió en un cuestionario sobre el uso y consumo de electricidad, acervo de enseres eléctricos, prácticas de conservación de energía y otras.

La muestra que utiliza la encuesta del Departamento del

²⁵Ernesto Rodríguez y otros, Distributional and Socio-economic Impacts of Electricity Price Increases on the Puerto Rico Population. (San Juan: Centro de Estudios Energéticos y Ambientales, marzo 1983).

Trabajo contiene ocho submuestras, cada una de las cuales es por sí misma una muestra representativa de las viviendas y la población de Puerto Rico. El cuestionario sobre el uso de energía fue administrado sólo a dos de estas submuestras. Estas submuestras incluyeron un total de 1,961 familias. Pero como cada una de éstas es individual y representativa del universo, no existe problema alguno al utilizar sólo dos de ellas²⁶.

La muestra del Departamento del Trabajo es aplicable para estimar el acervo de calentadores eléctricos y de ducha en Puerto Rico, ya que en ambos casos el universo es la totalidad de viviendas en Puerto Rico. Por lo tanto, utilizando los resultados de esta muestra se puede extrapolar para estimar el número de estos enseres existentes en Puerto Rico.

Del referido estudio se obtuvo información sobre las características socioeconómicas de los poseedores de enseres que produce servicios de agua caliente, incluyendo los calentadores solares. Esta información es útil también para especificar la extensión del mercado potencial.

Para obtener los datos que se necesitaban sobre los calentadores solares de agua, los calentadores de ducha y los calentadores eléctricos convencionales, se realizó una encuesta entre los productores y distribuidores de estos equipos. Se entrevistó a seis de los 28 distribuidores de los calentadores solares. Es importante señalar que la información obte-

²⁶Ibid., vol. 5, págs. 1-4.

nida de esta forma, no variaba mucho de un productor o distribuidor de los calentadores solares a otro. En cuanto a los calentadores eléctricos convencionales de tanque se entrevistó a tres de los distribuidores de estos equipos y en cuanto a los enseres o calentadores de ducha, se entrevistó a dos de sus distribuidores.

Los datos en cuanto al gasto de electricidad que incurre un calentador eléctrico fue obtenido de publicaciones de la Autoridad de Energía Eléctrica. El consumo de electricidad de los calentadores de ducha, se obtuvo de la especificación que acompaña estos enseres.

Revisión de literatura

En los últimos años se han realizado varios estudios económicos de los calentadores solares para uso residencial en Puerto Rico. En todos estos estudios, el beneficio de la inversión es definido como el ahorro en la electricidad logrado como consecuencia de sustituir un calentador eléctrico convencional por un calentador solar. Pero, las variables que se han tomado en consideración y la metodología que se ha utilizado para analizar los datos, han variado de un estudio a otro.

El método de calcular el periodo de recobro de la inversión, fue utilizado en dos de éstos estudios de calentadores solares, uno realizado por Plaza, Soderstrom y Petersen²⁷, y

²⁷ Heriberto Plaza, Knub E. Pedersen y Kennett G. Soderstrom, Guía para el consumidor sobre calentadores solares de agua para el sector residencial en Puerto Rico, (Instituto para Estudios de Energía y Centro de Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico, Mayaguez, 1979).

otro por Nestor Ortiz²⁸. Este método consiste en calcular el período de tiempo necesario para que los beneficios generados por el proyecto iguallen la inversión inicial. De acuerdo con este método, cuando se están evaluando diferentes proyectos alternativos, el proyecto que recupere sus costos en un período de tiempo menor es considerado como la mejor alternativa de inversión²⁹. Cuando sólo se analiza un proyecto de inversión, mientras más corto sea el período de recobro de la inversión más beneficioso será el proyecto en cuestión y si el recobro de la inversión no se logra en ningún momento durante la vida útil del proyecto de inversión, entonces éste no es económicamente viable.

En el estudio de Plaza, Soderstrom y Pedergen se consideró el caso de una familia de cinco miembros que consume 240 Kv/hr mensuales para calentar agua. El precio del calentador solar que se utilizó fue de \$900.00 y se tomó en consideración en el análisis una tasa de incremento anual en el costo del kilovatio/hora.

El análisis se realizó para tres escenarios diferentes que fueron contruidos de acuerdo a la forma de financiar la inversión en el calentador solar. Se consideraron las siguientes formas de financiamiento: a) pago de contado del calentador

²⁸ Nestor Ortiz, "Solar Water Heating Application, How much can you save" Revista del Colegio de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores de Puerto Rico, San Juan, Oct-Dec, 1978.

²⁹ Peter G. Sassons & William A. Schaffer, Cost-Benefit Analysis A Handbook, (New York: Academic Press, 1978) Page 655.

solar b) préstamo de \$900.00 a un plazo de 24 meses c) incluir la unidad solar en la hipoteca de una residencia nueva. En este análisis se encontró que el período de amortización para cada uno de los escenarios anteriores es de 4.5, 5.7 y 3.4 años respectivamente.

En el análisis hecho por Nestor Ortiz se estimó el gasto mensual de electricidad ocurrido por un calentador eléctrico mantenido funcionando las 24 horas del día. Para esto se instalaron cuatro calentadores eléctricos, calibrados a 140°F, en cuatro unidades familiares y se midió el consumo de electricidad de éstos. Las familias variaban en cuanto al número de miembros y el uso que hacían del agua caliente. Se encontró que el consumo de electricidad para calentar agua de estas familias fluctuaban entre 150 y 300 kv/hr mensuales.

El análisis se realizó considerando la reducción en el gasto en electricidad de diferentes casos de familias que ahorrarían de 150 a 300 kv/hr al mes, al sustituir, el calentador solar. Al analizar el gasto evitado se consideró el subsidio sobre consumo de electricidad y la tasa de inflación.

El resultado del estudio señala que el período de recobro de la inversión será de 1.4 a 2.2 años.

Se puede observar que de acuerdo a éstos dos estudios la inversión en un calentador solar es beneficiosa, ya que el recobro de la inversión inicial, se logra en un período de tiempo corto, relativo a la vida útil del sistema que es veinte años.

Estos estudios tienen dos deficiencias básicas. En pri-

mer lugar el método de análisis que se utilizó no es el más apropiado, ya que considero que el flujo de gastos ahorrados tiene el mismo valor sin considerar que el gasto más distante en el tiempo tiene un valor menor que el gasto más inmediato debido a la preferencia que tiene el consumidor por el consumo presente sobre el consumo futuro³⁰.

El método del período de recobro de la inversión le da la misma ponderación al gasto presente (inversión inicial) que al beneficio futuro (ahorro en electricidad), al no utilizar una tasa de descuento para poner en valor presente todos los impactos del proyecto. Además no se considera la magnitud del beneficio adicional obtenido después del período de recobro de la inversión. Otra deficiencia de estos estudios es que sólo se analizó el caso de utilización más eficiente del calentador eléctrico convencional, es decir, en el que éste se mantiene todo el tiempo funcionando. Esto hace que la inversión en un calentador solar resulte más atractiva al quisás sobreestimar el ahorro de energía.

Otro método que se ha utilizado para analizar la viabilidad económica del calentador solar es el rendimiento de la inversión (RDI). Este fue utilizado por Ball³¹ en un estudio que hizo sobre el uso de los calentadores solares en la región sur de los Estados Unidos, donde se incluyó a Puerto

³⁰ D.W., Pearce, Cost-Benefit Analysis (London: The Macmillan Press LTD, 1971) pag. 34.

³¹ David E. Ball, Return on Investment for Residential Solar Water Heating, (Atlanta: Southern Solar Energy Center, Jan. 15, 1981).

Rico.

Bell define el rendimiento de la inversión de un calentador solar de la siguiente forma:

$$RDI = \frac{AE}{CS}$$

donde: AE, es el ahorro en electricidad del primer año, y CS, es el costo del sistema solar menos los créditos contributivos que se le otorga al que invierte en un calentador solar.

En este análisis se computó el RDI, a base del ahorro en electricidad logrado al sustituir un calentador eléctrico convencional por uno solar. El caso que se analiza es el de una familia que consume 80 galones de agua caliente por día y utiliza un calentador eléctrico calibrado a 140°F. Se presume que el calentador solar utiliza sólo un 50 por ciento del total de energía utilizada del sol. El costo de electricidad que se utilizó fue un promedio del precio del kv/hr en cada estado o jurisdicción, presumiendo un consumo mensual de 1,000 kv/hr.

El RDI computada para Puerto Rico fue de .155.

El método del RDI permite comparar el rendimiento de la inversión en un calentador solar con el rendimiento de las inversiones alternas.

Las desventajas que tiene este método son que, al igual que el método del estudio anterior, tampoco considera las preferencias intertemporales del valor del dinero en el tiempo, ni considera la extensión del período de la vida útil de la

inversión.

Llavina³² como parte de un estudio en el que se investigó el efecto de los sistemas solares de calentamiento y enfriamiento sobre el servicio eléctrico de Puerto Rico, cuantifica el beneficio obtenido como consecuencia de utilizar un calentador solar de agua en lugar de uno eléctrico.

Para ésto se seleccionaron dos grupos, cada uno compuesto por tres usuarios de la Autoridad de Energía Eléctrica. El grupo I utilizaba el calentador eléctrico convencional, para proveerse el servicio de agua caliente y el grupo II utilizaba un sistema solar. Los dos grupos tuvieron una correspondencia de uno a uno en cuanto a situación económica, tamaño de la familia, modo de vida y consumo de energía eléctrica.

Para estos dos grupos se midió el consumo de electricidad utilizada para calentar agua, durante un período de 28 días. En promedio cada consumidor del grupo I consumió 182.43 kv/hrs y cada consumidor del grupo II 66.21 kv/hrs, una diferencia de 116.22 kv/hr.

Se puede notar, según la información anterior, que existe un ahorro significativo en el consumo de electricidad con la instalación de un sistema solar en reemplazo de uno eléctrico. Una limitación de este estudio es que al igual que los estudios ya citados, sólo se consideró el caso en que se mantiene el calentador eléctrico funcionando todo el tiempo.

³² Rafael Llavina Jr., Impact of Solar Heating and Cooling on Electric Utilities (San Juan: Autoridad de Energía Eléctrica, 1976) pag. 18.

El estudio al no valorar los datos sobre el ahorro de energía ni el costo de la inversión no tiene resultados en cuanto a la viabilidad económica de los calentadores solares, aunque estos resultados parecen indicar que en este caso específico, dado el ahorro de energía, la inversión podría ser viable.

Por último Arias³³ realizó un estudio sobre la viabilidad económica de los calentadores solares, utilizando el valor presente del beneficio neto, como criterio de decisión. En este estudio se diseñó una guía para determinar la viabilidad económica de los calentadores solares. Para ésto se tabularon los pasos intermedios del análisis, bajo diferentes escenarios que tomaban en cuenta diferentes variables que puede efectuar la viabilidad de la inversión.

Los escenarios diferían en cuanto al consumo de electricidad, dependiendo de los usos que el consumidor le da al agua caliente: lavar ropa, lavar platos, y bañarse; la calibración del calentador eléctrico, 130°F ó 140°F; el tamaño de la unidad familiar; y el modo de financiar la inversión. Luego que se tuvo esta información tabulada se establecieron 15 pasos que, dependiendo de la situación en que se encuentre inicialmente la unidad decisonal, la refieren a diferentes tablas para computar el valor presente neto aplicable a su caso y así determinar si el uso del calentador solar es económicamente viable.

³³Roberto Arias Hernández, "Guía para determinar la viabilidad de los calentadores solares para uso residencial", Tesis no publicada para el grado de maestría, Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, 1983.

Arias realiza su análisis sólo para el caso en que el consumidor hace uso controlado del calentador eléctrico.

Como en su estudio Arias lo que pretende es establecer una guía para determinar la viabilidad económica del calentador solar, se analizan situaciones muy detalladas para casos específicos que resulta difícil generalizar para llegar a conclusiones generales sobre la viabilidad de los calentadores solares. No obstante, se señala en el estudio que todo parece indicar que mientras más numeroso sea el grupo familiar mayor es la probabilidad de que el calentador solar sea económica viable.

El método del presente estudio es similar al que utilizó Arias en su investigación, sin embargo Arias sólo analiza uno de los casos que se consideran en esta investigación, que analiza otras situaciones en las que puede ocurrir la decisión de inversión en un calentador solar.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Introducción

En este estudio se realiza un análisis de la viabilidad de la inversión en los calentadores solares para uso residencial en Puerto Rico y se estima el mercado potencial de estos enseres. Para hacer el análisis de viabilidad se utiliza un modelo de costo beneficio, mientras que el mercado potencial se estima a base del número de familias que pueden sufragar la inversión y que, además, de acuerdo al análisis de viabilidad la inversión le resulta viable.

Este capítulo presenta el resultado de estos análisis. En la primera sección se discuten algunas de las variables y parámetros que son importantes para el análisis de viabilidad y determinación del mercado potencial. En primer término se determina el acervo de enseres para calentar agua existentes en Puerto Rico y se discute el gasto de electricidad requerido para su operación. Luego se discute la proyección del precio de la electricidad para el periodo de duración del proyecto, que es de 20 años. El precio del kv/hr es una de las variables primordiales para determinar la magnitud del ahorro en energía, que es el beneficio principal de la inversión en el calentador solar. Dentro de esta sección también se discute el tamaño adecuado del calentador solar en Puerto Rico, con-

forme al tamaño de la familia y el uso que se le da al agua caliente. De este parámetro depende el tamaño de la inversión. Por último se discuten las tasas de descuento utilizadas en el análisis para convertir a valor presente los flujos futuros de beneficios y costos.

La segunda sección se dedica al análisis de viabilidad del calentador solar bajo diferentes escenarios en los que se podría ubicar el comprador potencial. Finalmente en la última sección se hace la determinación del mercado potencial de los calentadores solares.

Determinación de variables y parámetros relevantes para el estudio

Enseres disponibles para el calentamiento de agua en Puerto Rico

Las familias puertorriqueñas utilizan al presente tres tipos de enseres para obtener el servicio de agua caliente: el calentador eléctrico de tanque, el calentador solar y el calentador de ducha. De estos equipos los primeros dos proveen agua caliente para todos los usos, mientras que el calentador de ducha usualmente se utiliza exclusivamente para proveer agua caliente para bañarse. Sin embargo, si calentadores de este tipo son colocados en otros lugares estratégicos en adición a la ducha, también pueden proveer agua caliente para todos los usos.

Los calentadores eléctricos de tanque y los calentadores de ducha se han utilizado tradicionalmente en el país, mientras

que los calentadores solares se han utilizado en años recientes según se mencionó en el capítulo dos.

La Tabla 4.1 presenta el acervo de estos enseres que existía en Puerto Rico en el 1981. Estos datos fueron obtenidos de una encuesta realizada por el Departamento de Economía de la Universidad de Puerto Rico y el Centro de Estudios Energéticos y Ambientales de esta misma institución, como parte de un estudio sobre los impactos socioeconómicos y distributivos de los aumentos en el costo de la electricidad sobre la población de Puerto Rico³⁴.

De acuerdo a esta encuesta, el 33 por ciento de las familias en la Isla poseen calentadores eléctricos de tanque. A base de este por ciento y el total de familias en Puerto Rico, se calculó el número de viviendas que tenían este enser en el país. Estas son 286,340 del total de 867,697 viviendas que había en Puerto Rico en 1981.

La encuesta estableció también que el 22 por ciento de las viviendas que había en Puerto Rico poseen calentadores de ducha (ver Tabla 4.1). Esto significa que en el país existen alrededor de 190,893 familias con estos enseres. Esta cantidad es bastante elevada por lo que se decidió incluir como uno de los escenarios para el análisis de viabilidad del calentador solar la alternativa en la que la unidad familiar va a sustituir un calentador de duchas.

Los calentadores de ducha han sido planteados como una buena alternativa al calentador eléctrico de tanque para redu-

³⁴ Ernesto Rodríguez y otros, op. cit.

Tabla 4.1

Acervo de Calentadores de Agua en Puerto Rico; Año 1981

Tipo de calentador	*Por ciento de familias que poseen el calentador	**Cantidad total de calentadores disponibles
Calentador eléctrico de tanque	33	286,340
Calentador de ducha	22	190,893
Calentador solar	2	17,354

Fuente: Ernesto Rodríguez y otros, Distributional and Socio-economic Impacts of Electricity Prices Increases on Puerto Rico Population, (San Juan: Centro para Estudios Energeticos y Ambientales, marzo, 1983) Vol. 2, págs. 87, 92 y 95.

* Según datos de la encuesta

** Datos obtenidos aplicando los por cientos de la encuesta al número total de viviendas en el país (867,697), que representa el universo de la muestra.

cir el gasto de electricidad de calentar agua. Evan Powell³⁵ afirma que este tipo de enser puede disminuir en gran magnitud la cantidad de kv/hr que se utilizan para ese propósito. La ventaja que tiene este tipo de calentador es que calienta el agua en la cantidad y en el momento en ésta se utiliza, de forma que no se desperdicie energía por el enfriamiento del agua caliente almacenada, como en el caso del calentador eléctrico de tanque. En este mismo artículo se plantea que calentadores de ducha pueden ser ubicados en varios lugares estratégicos de la casa para obtener así agua caliente para todos los usos requeridos por la familia.

Según la encuesta aludida y como puede ser observado en la Tabla 4.1 sólo el dos por ciento de las viviendas en la Isla poseen calentador solar como sus sistemas de calentamiento de agua. Esta proporción representa un total de 17,354 calentadores solares instalados en Puerto Rico. Esta cifra, obtenida proyectando los resultados de la encuesta, se aproxima bastante al estimado de 16,737 sistemas solares residenciales disponibles en el país en el 1981, realizado por la Oficina de Energía.³⁶

En la Tabla 4.2 se resume la distribución de los tres sistemas de calentamiento de agua por nivel de la familia. Estos datos fueron obtenidos también de la encuesta a la cual se hizo

³⁵Evan Powell, "Tankless Water Heater, New Way to Lower your Energy Bill", Popular Science, Vol. 217 (February, 1982) pages 29-47.

³⁶Ver Tabla 2.1.

Tabla 4.2

Distribución por Nivel de Ingreso del Acervo de los Diferentes
Calentadores de Agua en Puerto Rico: Año 1981

Nivel de ingreso familiar anual (en dólares)	Por ciento del total de los enseres		
	Calentador eléctrico de tanque	Calentador de ducha	Calentador solar
0 - 4,999	29.7	53.6	11.2
5,000 - 9,999	31.1	27.5	29.6
10,000 - 14,999	22.7	13.9	40.7
15,000 - 19,999	9.3	3.3	3.7
20,000 ó más	7.2	1.7	14.8

Fuente: Ernesto Rodríguez y otros, Distributional and Socioeconomic Impacts of Electricity Prices Increases on Puerto Rico Population, (San Juan: Centro para Estudios Energéticos y Ambientales, marzo 1983) págs. 127-134

referencia anteriormente. De acuerdo a estos estimados, el 30 por ciento pertenece a familias con un ingreso de 10,000 dólares o más. Esto indica que los calentadores eléctricos convencionales están distribuidos uniformemente entre familias de todos los niveles de ingreso. Por otro lado, tal parece que los calentadores de ducha son considerados en Puerto Rico como un bien inferior, ya que su utilización está casi totalmente limitada a familias de bajos ingresos. Alrededor de 54 por ciento de los calentadores de ducha existentes en la Isla pertenecen a familias de ingresos anual menor de 5,000 dólares y 28 por ciento a familias de ingreso anual entre cinco mil y 9,999 dólares (ver Tabla 4.2). Así que el 82 por ciento de estos enseres están en manos de familias cuyo ingreso anual es igual o menor de 9,999 dólares.

En contraste, los calentadores solares están distribuidos mayormente entre familias de ingreso moderados y altos. Estos enseres están distribuidos por nivel de ingreso en la siguiente forma. 11 por ciento del total pertenecen a familias cuyo ingreso es igual o menor a 4,999 dólares anuales, 30 por ciento a familias cuyo ingreso anual es de 10,000 dólares o más. Con esta evidencia se puede concluir que la mayoría de los calentadores de agua solar pertenecen a familias de ingresos medios y altos.

Consumo de electricidad de los sistemas de calentamiento de agua

Una variable importante para el análisis de viabilidad

económica de los calentadores solares es el ahorro en energía eléctrica que conlleva su uso, bajo los diferentes escenarios de las fuentes alternas para proveer agua caliente que sustituye. Estas son: la utilización continua de un calentador eléctrico de tanque mantenido encendido las 24 horas; el uso moderado del calentador eléctrico convencional mantenido encendido sólo el tiempo necesario y la utilización del calentador de ducha. Con el fin de determinar ese ahorro en energía se examina el consumo de electricidad bajo cada una de estas alternativas.

En los casos en que está envuelto el calentador eléctrico de tanque se consideró uno de 20 galones calibrado a 120°F. Se tomo este tamaño debido a que es el adecuado para una familia de cuatro miembros, tamaño promedio de la familia puertorriqueña. Según los datos del censo de la población de 1980. El tamaño adecuado de un calentador eléctrico de tanque se calcula a base de un consumo de cinco galones de agua caliente por persona.

En el caso del calentador de ducha se escogió uno que utiliza una carga de 3.5 kilovatios. Este tipo de calentador de ducha es el que más se usa en la Isla, de acuerdo a los distribuidores de este enser. El consumo mensual de estos enseres bajo las condiciones especificadas se presenta en la Tabla 4.3.

Los datos sobre el consumo del calentador eléctrico de tanque fueron obtenidos de la Autoridad de Energía Eléctrica, mientras que los datos del consumo de energía del calentador

Tabla 4.3

Consumo Mensual de Electricidad
de los Diferentes Calentadores de Agua

Tipo de Calentador	Consumo de electricidad en kv/hr
Calentador eléctrico de tanque*	
Uso continuo	225
Uso limitado	73
Calentador de ducha**	70
Calentador solar	0

Fuente: * Autoridad de Energía Eléctrica, Cuente sus kilovatios hora y controle su consumo (San Juan: La autoridad, [n. d.]).

** Especificación del fabricante del enser.

de ducha se estimaron utilizando la especificación que acompaña a estos enseres.

Según la Tabla 4.3, cuando el calentador eléctrico es utilizado todo el tiempo el consumo mensual de energía eléctrica del enser es de 225 kv/hr. Este estimado de la Autoridad de Energía coincide con los estimados independientes hechos por Néstor Ortiz³⁷ y Llavina³⁸, en los trabajos discutidos anteriormente. Por lo tanto, se toma esa cifra como una aproximación adecuada del gasto de electricidad para calentar agua, bajo el escenario en que el enser es utilizado continuamente.

El consumo de electricidad estimado para el caso en que la unidad familiar hace uso limitado del calentador eléctrico es de 73 kv/hr al mes, como lo muestra la Tabla 4.3. Este estimado, según los datos de la Autoridad de Energía Eléctrica, corresponde al consumo de electricidad en que incurre un calentador eléctrico convencional de 20 galones calibrado a 120°F si se mantiene encendido hasta que el agua caliente a esta temperatura. Esta cifra también se aproxima al gasto de electricidad de este equipo si se encendiera por una hora dos veces al día.

El consumo mensual de energía eléctrica del calentador de ducha es de 70 kv/hr al mes. Esta cifra se obtuvo utilizando el dato de 3.5 kv como la carga requerida por el equipo

³⁷Nestor Ortiz, op. cit.,

³⁸Rafael Llavina, op. cit.

y presumiendo que cada miembro de la familia mantiene el calentador encendido por 10 minutos cada día.

El calentador solar hace muy poco uso de energía eléctrica por ese razón se consideró su consumo de electricidad como cero, para fines del análisis³⁹.

Comportamiento futuro del precio de la electricidad

El costo de la energía eléctrica es otra variable que afecta significativamente la viabilidad económica del calentador solar. El precio del kv/hr es el que pondera el ahorro en el consumo de electricidad para establecer el valor del beneficio de la inversión en un calentador solar, esto es, el ahorro en el costo de electricidad como consecuencia de sustituir un sistema eléctrico de calentamiento de agua por uno solar.

Como el proyecto tiene un período de duración de 20 años (vida útil del calentador solar) ha sido necesario hacer una proyección del precio de la electricidad para usos residenciales para este período de tiempo. Para realizar esta proyección se estimó un modelo de regresión en el cual se expresa el precio del kv/hr como función del tiempo. De esta forma se pudo determinar la tendencia que ha tenido ese precio en el pasado y con ésta se pudo determinar el precio futuro del precio del kv/hr. Sin embargo, debido a que el subsidio sobre el consumo de energía eléctrica que existe en la Isla hace que algunas

³⁹El calentador solar con sistema auxiliar de energía eléctrica sólo hace uso de la electricidad cuando ocurren varios días nublados consecutivos.

familias perciban un precio del kv/hr más bajo, se realizaron dos proyecciones: una para el precio del kv/hr con subsidio y otra para el precio sin subsidio. El concepto de precio que se utilizó en el análisis fue el de precio promedio por período de tiempo. Para realizar la proyección del precio del kv/hr sin subsidio se utilizaron datos desde 1956 hasta 1982, obtenidos de la Autoridad de Energía. La Tabla 4.4 presenta estos datos.

En el modelo de regresión se incluyó una variable "dummy" para recoger el efecto de los aumentos en precio de petróleo decretados por la OPEP en el 1973 sobre el costo de la electricidad.

El modelo que mejor ajustó en el caso del precio sin subsidio fue el siguiente:

$$P_t = .0521655 - .000203551t^2 + .000011323t^3 + .0013454D$$

(.00146)
(.00002)
(.00000)
(.00033)

$$R^2 = .97$$

$$F = 360.089$$

$$DW = 1.794$$

donde:

P_t = precio del kv/hr sin subsidio en el período t

t = tiempo expresado en años

$$D = \begin{cases} 0 & \text{si } t = 1956 - 1973 \\ 1 & \text{si } t = 1974 - 1982 \end{cases}$$

El número entre paréntesis corresponde a la desviación estándar de los parámetros.

Tabla 4.4

Precio del kv/hr sin subsidio de 1956 a 1982
(en ¢)

AÑO	precio del kv/hr
1956	3.175
1957	3.113
1958	3.102
1959	2.950
1960	2.851
1961	2.816
1962	2.770
1963	2.646
1964	2.599
1965	2.542
1966	2.460
1967	2.418
1968	2.374
1969	2.264
1970	2.222
1971	2.415
1972	2.592
1973	2.793
1974	4.056
1975	5.142
1976	5.670
1977	6.034
1978	5.911
1979	6.077
1980	8.790
1981	10.797
1982	10.140

Fuente: Autoridad de Energía Eléctrica

Para este modelo todos los parámetros son significativos a un nivel de confiabilidad de un 99 por ciento.

La proyección del precio del kv/hr con subsidio se hizo utilizando datos desde 1974 (año en que se estableció el subsidio) hasta 1982. Estos datos aparecen en la Tabla 4.5. Para tener suficientes observaciones para poder estimar los parámetros de la regresión, se utilizó el precio promedio del kv/hr por cuatrimestre en vez de usar datos anuales. En este caso el que mejor ajustó, utilizando el método de los mínimos cuadrados ordinarios, (MCO) fue el siguiente:

$$P_{t2} = .0455 + .0007008t + .0000868t^2$$

(.0001) (.0002) (.0000)

$$R^2 = .9189$$

$$F = 96.26$$

$$DW = 1.446$$

donde: P_{t2} es el precio del kv/hr con subsidio, t es el tiempo expresado en cuatrimestres.

La cifra entre paréntesis corresponde a la desviación estándar de los parámetros. En este modelo todos los parámetros son significativos a un 95 por ciento. Como el estadístico Durbin-Watson es bajo, no se puede aceptar la hipótesis de que la autocorrelación de primer grado sea igual a cero. Para resolver este problema presente de autocorrelación y asegurar la eficiencia de los parámetros, se utilizó el método de estimación de los mínimos cuadrados generalizados (MCG). El modelo estimado con este método fue el siguiente:

Tabla 4.5

Precio del kv/hr con subsidio desde 1974 hasta 1982
(en ¢)

Año	Cuatrimestre	Precio del kv/hr
1974	III	4.329
1975	I	4.670
	II	4.190
	III	4.431
1976	I	4.490
	II	4.601
	III	4.581
1977	I	4.617
	II	4.672
	III	4.824
1978	I	4.814
	II	4.691
	III	4.560
1979	I	4.769
	II	5.267
	III	5.421
1980	I	5.757
	II	5.768
	III	6.184
1981	I	6.529
	II	6.434
	III	6.739
1982	I	7.761

Fuente: Autoridad de Energía Eléctrica

$$P_2 = .0481186 - .00123028t + .0001097t^2$$

(.0023)
(.0005)
(.0005)

$$R^2 = .9352 \qquad F = 115.440 \qquad DW = 1.84$$

En este caso todos los parámetros son significativos a un 95 por ciento de confianza y de acuerdo a la prueba Durbin-Watson no existe autocorrelación de primer grado.

La Tabla 4.6 muestra la proyección del precio del kv/hr, con y sin subsidio, obtenida con los modelos discutidos. En el caso del precio del kv/hr con subsidio la proyección por cuatrimestre se promedió para convertirlo en precio anual.

Para realizar el análisis de viabilidad era necesario realizar estas proyecciones de precio del kv/hr para 20 años, sin embargo se está consciente de que una proyección para un período de tiempo tan prolongado hace que los resultados pierdan precisión. Las condiciones bajo las cuales se generaron los datos utilizados para estimar los parámetros del modelo, pueden cambiar radicalmente en este período de 20 años, para el cual se hace la proyección, no obstante, no existe técnica de proyección alguna que pueda proveer unas predicciones confiables para un período de tiempo tan largo. Cuando se seleccionó el modelo de regresión para realizar la proyección del precio se pensó en construir dos escenarios de precios adicionales a la predicción dada, por el modelo. Esto se haría sumando y restando el error estándar de la regresión a la predicción dada por el modelo, de forma de crear un escenario optimista y otro pesimista del comportamiento del precio. Esto, sin embargo, no se pudo lograr debido a que los modelos ajustaron de forma tal que

Tabla 4.6

Proyección del Precio del Kv/hr de 1983 al 2002
(en ¢)

Año	Precio del kv/hr sin subsidio	Precio del kv/hr con subsidio
1983	12.017	8.599
1984	13.467	9.975
1985	15.067	11.570
1986	16.822	13.310
1987	18.741	15.285
1988	20.830	17.448
1989	23.100	19.813
1990	25.544	22.316
1991	28.184	25.130
1992	31.620	28.085
1993	34.060	31.237
1994	37.311	34.587
1995	40.779	38.134
1996	44.472	41.879
1997	38.396	45.821
1998	52.557	49.961
1999	56.963	54.298
2000	61.621	58.832
2001	65.537	63.564
2002	71.718	68.993

que el error estándar fue insignificante.

El hecho de que los modelos ajustaran bien, sin embargo, no significa necesariamente que las predicciones se vayan a realizar. El precio del petróleo, que es el factor que más afecta el costo del kv/hr en Puerto Rico, es muy inestable y puede cambiar significativamente en el futuro. Además el desarrollo de nuevas tecnologías para generar energía eléctrica puede afectar el costo de la electricidad en forma considerable. Tomando esto en consideración se decidió construir otro escenario más conservador para el comportamiento del precio del kv/hr de forma de fortalecer el análisis. Este se construyó manteniendo el precio del kv/hr de 1983 constante a través del período de duración del proyecto.

Estos dos escenarios de inflación, uno alto y otro bajo, ayudó a determinar cuán sensibles son los resultados del análisis a cambios en la trayectoria del precio de kv/hr.

Tamaño del calentador solar

Un parámetro importante para el análisis de viabilidad de los calentadores solares es la determinación del tamaño adecuado de estos sistemas, como se mencionó en el capítulo dos. La Oficina de Energía de Puerto Rico ha sugerido un método para calcular éste, basado en el tamaño del grupo familiar y en el uso que se le vaya a dar al agua caliente.

Este método supone que cada pie cuadrado de colector de luz solar recoge, en un día promedio, energía de calor suficiente para elevar la temperatura de aproximadamente 1.5 galones

de agua desde la temperatura ambiente (80°F) en Puerto Rico hasta cerca de 130°F . Supone, además, que cada persona gasta alrededor de 15 galones de agua para bañarse, que se consumen 20 galones de agua por cada uso del lavaplatos y que se usan 40 galones por cada tanda de ropa lavada a máquina.

La capacidad del tanque de almacenamiento de agua caliente puede ser aproximada sumando las cifras de las cantidades de agua requeridas por la unidad familiar para los diferentes usos. El área requerida de colector (pies cuadrados) se obtiene dividiendo la capacidad deseada del tanque de almacenamiento (en galones) entre 1.5. Los colectores de energía solar que están disponibles en el mercado son de 18 y 20 cuadrados, por lo tanto el área de colectores que se necesita tiene que ser aproximada a múltiplos de 18 ó 20.

Una deficiencia del método sugerido por la Oficina de Energía es que considera que los 15 galones de agua que cada persona utiliza para bañarse es agua a 130°F , como la provista por el calentador solar, en lugar de considerar agua a 100°F que es a la temperatura que normalmente ésta se usa. Por lo tanto al estimar la capacidad del tanque de almacenamiento a base de 15 galones de agua para bañarse por persona se está sobreestimando ésta.

La temperatura deseada de 100°F se lograría mezclando agua a 80°F (temperatura ambiente del agua en Puerto Rico) con el agua a 130°F provista por el calentador solar. Para estimar la capacidad correcta del calentador solar hay que determinar la cantidad de agua a 130°F que hay que mezclar con agua a

80°F para obtener 15 galones de agua por persona a 100°F . La siguiente fórmula sirve ese propósito:

$$(T_f)(V_f) = T_1V_1 + T_2V_2 \quad (1)$$

donde:

T_f = temperatura final

T_1 = temperatura del agua provista por el calentador solar (130°F)

T_2 = temperatura ambiente del agua (80°F)

V_f = volumen final del agua

V_1 = volumen de agua a 130°F

V_2 = volumen de agua a 80°F

Utilizando el que $V_f = V_1 + V_2$ y resolviendo la ecuación (1) para V_2 se obtiene que:

$$V_2 = \frac{V_1(T_1 - T_f)}{T_f - T_2} \quad (2)$$

y sustituyendo los valores conocidos de T_1 , T_f y T_2 se tiene que:

$$V_2 = \frac{V_1(130 - 100)}{100 - 80} \quad (3)$$

ó sea, que $V_2 = 1.5V_1$

Dado que una persona necesita 15 galones de agua para bañarse se tiene que:

$$V_f = V_1 + V_2 = 15$$

pero, ya que por (3) $V_2 = 1.5$, tenemos que

$$V_1 + 1.5V_1 = 15$$

de donde se obtiene que

$$V_1 = 6$$

Puede concluirse, entonces, que se necesitan nueve galones de agua a 130°F para obtener 15 galones de agua a 100°F (temperatura agradable para bañarse). Por lo tanto, al calcular el volumen adecuado del tanque de almacenaje del calentador solar, se deben estimar seis galones de agua por persona para bañarse en vez de quince galones.

El calentador solar adecuado para la familia de cuatro miembros según el método explicado arriba, es uno de 60 galones de tanque de almacenamiento y dos colectores de 20 pies. De estos sesenta galones, 24 serían utilizados para bañarse y quedarían disponibles 36 galones para ropa u otro uso. Debido a que un porcentaje bajo de las familias en Puerto Rico poseen lavaplatos, no se consideró este uso en el cómputo de la capacidad del equipo⁴⁰.

Tasa de descuento

El análisis de costo-beneficio requiere la utilización de una tasa de descuento para convertir el flujo de beneficios y costos del proyecto a su valor presente, para de esta forma compararlos y recomendar o no recomendar la inversión. La tasa de descuento apropiada es aquella que aproxima la tasa mar-

⁴⁰ De acuerdo a la encuesta realizada por el Departamento de Economía y el Centro de Estudios Energéticos de la Universidad de Puerto Rico, sólo el 1.6 de las familias en el país poseen lavaplatos.

ginal de preferencia intertemporal de la unidad familiar para la cual se está realizando el análisis.

En esta investigación se utilizaron dos tasas de interés para descontar el beneficio neto del proyecto. Estas fueron 9 por ciento y 15.5 por ciento.

La tasa de nueve por ciento aproxima la tasa de interés de los certificados de ahorro en el segundo semestre de 1983 por lo que se tomó la tasa de descuento relevante para las familias que adquirirían el calentador solar sufragando el monto de inversión con sus propios recursos financieros. En este caso la tasa de descuento relevante es el costo de oportunidad de los fondos, o sea, la tasa a la que la unidad familiar ahorra, suponiendo que ésta aproxima su tasa marginal de preferencia intertemporal. Esta tasa de nueve por ciento también puede ser la tasa de descuento relevante para las familias que aunque financiarían la inversión con dinero prestado, pueden hacerlo a una tasa de interés baja, como las que ofrecen las cooperativas de ahorro.

La tasa de 15.5 por ciento es la tasa de interés de los préstamos FHA Título I, en el momento del estudio, que es el tipo de financiamiento que proveen los fabricantes y distribuidores de los calentadores solares. Por esta razón se tomó 15.5 por ciento como la tasa de descuento relevante para las familias que tengan que utilizar esa fuente de financiamiento.

Estas dos tasas de descuento, una alta y otra baja, pueden delinear situaciones bajo las cuales la inversión en un calentador solar tendría que ser viable.

Análisis de viabilidad de los calentadores solares bajo distintos escenarios

Según planteamientos previos, el proyecto que aquí se analiza es la inversión en un calentador solar para uso residencial. El período de tiempo del proyecto es de 20 años, que corresponde a la vida útil del calentador solar. Se analiza la viabilidad de la inversión para una familia de cuatro miembros que es tamaño promedio de la familia en Puerto Rico. El análisis se hizo bajo distintos escenarios que describen situaciones en las cuales podría ubicarse al inversionista potencial. Estas situaciones explican la manera en que la familia previamente obtenía el agua caliente.

Descripción de los escenarios e identificación de los costos y beneficios

Los escenarios considerados en la investigación en los que puede encontrarse la unidad familiar fueron los siguientes:

- a. La unidad familiar utiliza un calentador eléctrico convencional el cual mantiene funcionando todo el tiempo.
- b. La unidad familiar posee un calentador eléctrico convencional y lo utiliza sólo el tiempo que lo necesite.
- c. La unidad familiar posee un calentador de ducha el cual utiliza al bañarse.
- d. La unidad decisional no posee calentador de agua alguno.

Los primeros tres escenarios se diferencian únicamente en la

magnitud del gasto de energía para calentar agua en que incurre la unidad familiar al presente. Como se vio anteriormente, éste varía de un escenario a otro. Bajo el último escenario la unidad familiar no está incurriendo en gasto de electricidad alguno para calentar agua en el momento presente.

Para los primeros dos casos el calentador solar sustituye la utilización de un calentador eléctrico de 20 galones calibrado a 120⁰F. La vida útil de este equipo es de 10 años. El consumo de electricidad vigente para el caso en que el equipo se mantiene encendido todo el tiempo es de 225kv/hr al mes, mientras que para el caso en que se hace uso limitado del calentador es de 73 kv/hr.

En el tercer escenario, en el cual la familia posee un calentador de ducha, se consideró un equipo que funciona con una carga de 3.5 kilovatios y tiene una vida útil de 10 años. En este caso se estimó que la unidad familiar consumiría 70 kv/hr al mes para el calentamiento de agua.

Para estos tres casos se percibe tanto un flujo de costos como un flujo de beneficios, por lo que se utilizó la técnica de costo-beneficio para realizar el análisis de viabilidad de la inversión.

El costo del proyecto para estos casos consiste en el costo de la inversión en el calentador solar para el calentador aquí justificado, que es de 1,412 dólares⁴¹. Los costos de

⁴¹ Este dato se obtuvo computando un promedio del precio a que vendían un calentador de los calentadores, 1.412 dólares, y el precio de los calentadores solares en el momento de la inversión.

mantenimiento y funcionamiento de este equipo son insignificantes por lo cual se supone igual a cero para fines del análisis.

Por otro lado, el beneficio se define como el gasto evitado. Este consiste en el ahorro en electricidad logrado por sustituir un calentador eléctrico convencional o un calentador de ducha, por uno solar, más el costo de reposición del equipo evitado, ya que la vida útil del calentador solar es de 20 años, mientras que la de los otros equipos es de 10 años. Para medir en términos monetarios el beneficio proveniente del ahorro en electricidad, se valoró el consumo de energía eléctrica evitado en cada uno de los casos, con precios del kv/hr bajo los dos escenarios de inflación antes descritos y utilizando tanto el precio del kv/hr con subsidio como el precio sin subsidio. Hay que señalar que existe otro beneficio, para las familias que no reciben en la actualidad el subsidio sobre el consumo de energía eléctrica, pero que la utilización del sistema solar le permitiría reducir el consumo de electricidad en magnitud tal que pudieran acogerse al subsidio. Para este caso un beneficio adicional sería la reducción en el precio del kv/hr que se percibiría. En esta investigación no se consideró este beneficio por no tener los datos para cuantificarlo.

El beneficio por el costo de reemplazo del equipo evitado se midió aplicándole al costo de 1983 de ambos enseres una tasa de crecimiento promedio igual a la del índice de precios de los bienes duraderos en los últimos 18 años. Esta tasa se

obtuvo utilizando la definición de la media geométrica y fue 5.26 por ciento. Para efectos del análisis se presumió que la reposición del equipo se haría en el décimo año del proyecto de inversión en el calentador solar.

El costo promedio del calentador eléctrico convencional de 20 galones en 1983 fue de 160.00 dólares que dentro de 10 años se estimó aumentaría a 253.73 dólares, de acuerdo a la tasa de crecimiento de la inflación indicada. En el caso del calentador de ducha el costo promedio en 1983 fue de 38.00 dólares, lo que aumentaría a 60.26 dólares para el año décimo del proyecto.

En el último escenario en el cual la unidad familiar no posee calentador de agua alguno, se analizó solamente el costo de las tres alternativas que se tienen para proveer el servicio de agua caliente. Estas son: el calentador eléctrico de tanque (el cual puede ser mantenido funcionando todo el tiempo o sólo el tiempo necesario); el calentador de ducha y el calentador solar.

Para este análisis se utiliza la técnica de "Cost-Effectiveness" que exige seleccionar entre las tres alternativas que proveen el mismo nivel de beneficios del servicio de agua caliente, aquella que lo logre con el menor costo. Al suponer un mismo nivel de beneficio para las tres alternativas se hace innecesaria su cuantificación. Los costos bajo este escenario consisten en: la inversión inicial, el costo de reposición y el gasto de funcionamiento.

A continuación se ofrecen los resultados del análisis de

viabilidad del calentador solar bajo los diferentes escenarios considerados. En resumen se especificaron tres escenarios bajo los cuales la inversión en el calentador solar sustituye una fuente alterna de agua caliente. Estas tres alternativas son, a su vez, evaluadas tomando en cuenta dos escenarios de inflación y dos definiciones de precio del kv/hr, lo que eleva a doce el total de escenarios considerados. Estos doce escenarios fueron analizados usando la técnica de costo-beneficio, a la luz de dos tasas de descuento alternativas.

Una última situación considerada es el caso en que la unidad familiar no posee calentador de agua, pero desea proveerse del servicio de agua caliente. Para evaluar esta decisión el instrumento de análisis utilizado es la técnica de "cost-effectiveness" que elige entre las cuatro alternativas para proveer el servicio de agua caliente la que sea la de menor costo. Cada una de estas alternativas también fue analizada con ambas tasas de descuento.

Costos y beneficios del calentador solar

En esta sección se presentan los resultados del análisis de viabilidad en los que la técnica de costo-beneficio era pertinente para el análisis. La Tabla 4.7 presenta los resultados bajo los diferentes escenarios antes especificados.

Sustitución de un calentador eléctrico de uso continuo

La inversión en el calentador solar es económicamente viable cuando sustituye un calentador eléctrico de tanque que fun-

Tabla 4.7

Valor Presente Neto y Tasa Interna de Rendimiento de un Calentador Solar
 Bajo Diferentes Escenarios del Tipo e Intensidad de Uso del Enser Sustituido
 Tasas de Interés y Tipos de Precios Vigentes

Escenario	Escenario de precios crecientes*		Escenario de precios constantes**		TIR
	VPBN r = 9%	VPBN r = 15.5%	VPNB r = 9%	VPBN r = 15.5%	
Calentador eléctrico convencional uso continuo:					
Precio sin subsidio	6103	3069	1278	476	22.27
Precio con subsidio	5318	2617	158	-317	11.67
Calentador eléctrico convencional uso limitado:					
Precio sin subsidio	1108	91	-460	-752	3.71
Precio con subsidio	843	-91	-912	-1062	***
Calentador de ducha:					
Precio sin subsidio	340	-64	-934	-1078	3.26
Precio con subsidio	674	-194	-494	-777	***

* Proyección del precio de la electricidad con un modelo de regresión.
 ** Manteniendo constante el precio de la electricidad al nivel del de 1983.
 *** Para estos casos la TIR es negativa, por lo que no pudo ser computada.

ciona todo el tiempo, tanto suponiendo precios futuros constantes como crecientes y descontando los flujos tanto a una tasa alta como a una baja, siempre que el precio de la electricidad aplicable sea el precio sin subsidio. El valor presente neto positivo, especificado en la tabla, es indicativo de la viabilidad económica bajo estos escenarios. El valor presente neto fluctua entre 6,103 dólares bajo las condiciones más favorables a la inversión y 476 dólares bajo las condiciones más adversas, siempre que el precio de la electricidad sin subsidio sea el aplicable. Esto significa que el valor presente de los beneficios generados por el calentador solar supera al valor presente de los costos en que hay que incurrir para obtener los mismo. La viabilidad de la inversión bajo estas circunstancias es corroborado por una tasa interna de rendimiento (TIR) de la inversión más alta que las tasas de descuento utilizadas.

Por otro lado, cuando se analiza la sustitución del calentador eléctrico de tanque de uso continuo por uno solar, bajo el escenario en que son aplicables los precios de electricidad con subsidio, la inversión es viable en todas las situaciones, excepto en la que se suponen precios de electricidad constantes y se descuentan los flujos con la tasa de descuento de 15.5 por ciento. En este caso el valor presente neto es igual a -317 dólares, lo que significa que el valor presente de los costos del proyecto es mayor que el de los beneficios. Como esta situación es la única en que el VPBN es negativo en el escenario en que se hace uso continuo del calentador eléctrico

convencional, se quiso determinar cuán sensitivo es el resultado bajo este escenario a cambios en los supuestos usados en el análisis. Con ese fin se construyó un escenario intermedio del crecimiento en el precio con subsidio del kv/hr, haciendo crecer éste a una tasa de 5.66 por ciento que ha sido el crecimiento compuesto promedio del precio con subsidio del kv/hr de 1974 a 1982. Esta tasa de crecimiento fue computada con la fórmula de media geométrica. El VPBN bajo este nuevo supuesto del comportamiento del precio del kv/hr es de 13.35 dólares. Esto indica que el proyecto también es viable siempre que el precio subsidio crezca a una tasa igual o mayor que la aquí supuesta.

En resumen cuando el calentador solar sustituye un calentador eléctrico de tanque que se utiliza todo el tiempo, la inversión es económicamente viable para todas las situaciones estudiadas, excepto cuando el precio con subsidio del kv/hr se supone constante a través de los años; y aún esta excepción desaparece cuando se supone una tasa intermedia del crecimiento en el precio del kv/hr con subsidio de por lo menos 5.66 por ciento.

Las situaciones hasta aquí consideradas, particularmente las que suponen la sustitución de un calentador eléctrico convencional de uso continuo y la vigencia de precios sin subsidio, ha sido el escenario bajo el cual se han realizado la mayoría de los análisis conocidos sobre la viabilidad de los calentadores solares. Dichos estudios han recomendado el calentador solar como una buena alternativa de inversión. Sin em-

bargo según la encuesta realizada por el Departamento de Economía y el Centro de Estudios Energéticos de la Universidad de Puerto Rico, sólo el 16 por ciento de las familias que poseen calentador eléctrico de tanque en Puerto Rico lo mantienen funcionando todo el tiempo. Por lo tanto, ésta no resulta ser la situación en la cual pudiera ubicarse la mayoría de los compradores potenciales de calentadores solares en la Isla.

Sustitución de un calentador eléctrico de uso controlado

La inversión en el calentador solar para sustituir un calentador eléctrico de tanque de uso limitado, es económicamente viable cuando es aplicable el precio sin subsidio y hay una expectativa de precios crecientes, tanto a la tasa de descuento moderada de nueve por ciento como la alta de 15.5 por ciento. El valor presente del beneficio neto es positivo en ambos casos, como puede verse en la Tabla 4.7. Por lo tanto, se concluye que es conveniente invertir en el calentador solar siempre que estén presentes las condiciones especificadas en estas situaciones.

Sin embargo, bajo este escenario, cuando se valoran los beneficios con el precio del kv/hr sin subsidio, pero con una expectativa de precios constantes, la inversión en el sistema solar no es viable bajo ninguna de las dos tasas de descuento utilizadas, según se manifiesta en la tabla por el VEBN negativo. La tasa interna de rendimiento en este caso es de 3.71 por ciento, lo cual representa un rendimiento más bajo que las tasas de descuento consideradas y corrobora que la inversión no es aceptable bajo estos supuestos.

Al utilizar el precio del kv/hr con subsidio para evaluar los beneficios de usar el calentador solar en sustitución del calentador eléctrico de uso limitado, la inversión es viable únicamente bajo el escenario de costos de electricidad crecientes y cuando es aplicable la tasa de descuento moderada de un nueve por ciento. En este caso el VPBN es de 848 dólares (ver Tabla 4.7). Sin embargo, el valor presente del beneficio neto es de -91 cuando se utiliza la tasa de descuento de 15.5 por ciento para descontar el flujo de beneficios que resulta de ese mismo escenario de proyección del precio de la electricidad. Se concluye, por lo tanto, que cuando aplican los precios con subsidios y hay expectativas de precios crecientes, la viabilidad de invertir en un calentador solar en sustitución de uno eléctrico convencional de uso limitado depende de la tasa de descuento aplicable. La tasa interna de rendimiento de 14.65 marca el límite superior de la tasa de descuento para que el proyecto sea aceptable. Cuando se evalúa la inversión bajo el mismo escenario, pero utilizando el precio con subsidio y bajo el supuesto de precios constantes, ésta no es viable con ninguna de las dos tasas de descuento utilizadas, según indica un valor presente del beneficio neto negativo en ambos casos. Cuando se analiza la inversión con la tasa de nueve por ciento el VPBN es de 1,912 dólares y que con la tasa de 15.5 por ciento es de -1,062, como puede verse en la tabla.

Es evidente que cuando se hace uso limitado del calentador eléctrico de tanque, su sustitución por el calentador solar no es beneficioso bajo circunstancias tan diversas como

cuando se mantiene este equipo encendido todo el tiempo. No obstante, este escenario es muy importante, ya que alrededor de 84 por ciento de las familias que poseen calentador eléctrico convencional hacen uso limitado de éste.

Conviene recalcar que en este caso el escenario de inflación más favorable para la inversión (precios crecientes), la inversión en el calentador solar no es viable cuando se utiliza el precio del kv/hr con subsidio y se descuentan los flujos a una tasa de descuento de 15.5 por ciento. Esta situación es importante debido a que el 53 por ciento de las familias que hacen uso limitado del calentador eléctrico de tanque reciben subsidio y para ellos la inversión en el calentador solar es lo suficientemente alta como para tener que ser financiado a través del financiamiento ofrecido por los fabricantes y distribuidores de los sistemas, en cuyo caso la tasa de descuento relevante es de 15.5 por ciento.

Sustitución de un calentador de ducha

La sustitución del calentador de ducha como fuente de servicio de agua caliente fue el último escenario bajo el cual se analizó la inversión en el calentador solar. Cuando es aplicable a este caso el precio del kv/hr sin subsidio, el valor presente neto es positivo únicamente cuando se valoran los beneficios con la proyección de precios crecientes y se usa la tasa de descuento moderada de nueve por ciento. El VFBN en esta situación es igual a 840 dólares lo que significa que bajo esas condiciones los beneficios del proyecto superan el costo de

inversión. Por el contrario, cuando se descuenta el flujo de beneficio neto con la tasa de 15.5 por ciento el VPBN es negativo. También es negativo bajo el supuesto de inflación de precios constantes y para las dos tasas de descuento utilizadas.

De la misma manera, bajo el supuesto de precios del kv/hr con subsidio, la inversión en un sistema solar que sustituya al calentador de ducha es viable sólo bajo el escenario de inflación de precios crecientes y utilizando la tasa de descuento de nueve por ciento. En este caso el VPBN es igual a 674 dólares. Por el contrario, de 1,194 dólares y por ende la inversión no es viable, cuando se descuentan los flujos a la tasa de 15.5 por ciento. De igual forma, tampoco es viable la inversión bajo este escenario cuando se analiza con el supuesto de precios constantes tanto con la tasa de descuento de nueve por ciento como con la tasa de descuento de 15.5 por ciento.

Como se ha visto en esta sección, la inversión en el calentador solar es viable únicamente bajo los supuestos de precios crecientes y una tasa de descuento de nueve por ciento tanto cuando analiza el precio sin subsidio como el precio con subsidio. Por el contrario, la inversión en el equipo solar con ese propósito no es viable, ni aún bajo los supuestos más favorables de precios sin subsidio y crecientes, cuando se utiliza la tasa de 15.5 por ciento. Este hallazgo cobra importancia en el análisis debido a que la mayoría de las familias que tienen calentadores de ducha, según planteamientos previos, son familias de bajos ingresos que con mayor probabilidad tendrían que

financiar la inversión con el financiamiento de 15.5 por ciento provisto por los fabricantes y distribuidores de los sistemas solares. De hecho, como se mencionó antes, el 32 por ciento de las familias que poseen calentador de ducha, tienen ingresos anuales de 10,000 dólares o menos.

Se puede concluir del análisis de costo-beneficio de los diferentes escenarios en que puede ubicarse la inversión en un calentador solar, que la misma no es beneficiosa con tanta frecuencia como ha sido planteado en estudios previos, según se desprende de los resultados presentados en esta sección. La viabilidad económica de un calentador solar es positiva, fuera de toda duda únicamente bajo las condiciones más favorables de que se sustituya un calentador eléctrico convencional mantenido encendido 24 horas al día y que sea aplicable el precio sin subsidio, también es viable cuando hay una expectativa de precios constantes con la excepción de cuando aplica la tasa de descuento más favorable de 15.5 por ciento, pero aún esta excepción desaparece si los precios aumentan a una tasa moderada de 5.56 por ciento.

La mayoría de los estudios realizados anteriormente y que fueron discutidos en el capítulo 3, consideraron condiciones como éstas bajo las cuales la inversión en el calentador solar tiene más probabilidad de ser viable. Sin embargo, éste no es el caso más representativo de la situación en que puede ubicarse la mayoría de las familias puertorriqueñas, que son compradores potenciales del calentador solar, como fue argumentado arriba al informar los resultados de la encuesta realizada

por el Centro de Estudios Energéticos y el Departamento de Economía de la Universidad de Puerto Rico.

Otra conclusión es que la inversión en el calentador solar es también viable cuando sustituye un calentador eléctrico convencional de uso moderado cuando son aplicables los precios sin subsidio y existe una expectativa de precios crecientes. También es viable bajo esas mismas circunstancias, pero considerando precios con subsidio, aunque en este caso a una tasa de descuento inferior a 14.65 por ciento, pero no a la de 15.5 por ciento. Este último hallazgo es importante, ya que alrededor del 84 por ciento de las familias que poseen calentadores eléctricos de tanque hacen uso moderado de éste y el 53 por ciento reciben subsidio y probablemente tengan acceso a la inversión en el calentador solar solamente con el financiamiento alto de 15.5 por ciento provisto por los suplidores.

Finalmente, cuando el calentador solar sustituye un calentador de ducha la inversión es viable solamente bajo expectativas de precios crecientes y cuando aplica la tasa de descuento moderada de nueve por ciento, tanto para precios sin subsidio como para precios con subsidio. Sin embargo, según datos de este estudio, el 32 por ciento de los poseedores de los calentadores de ducha son familias de ingresos inferiores a los que de 10,000 dólares, para quienes probablemente sea aplicable sólo la tasa de descuento alta de 15.5 por ciento.

Análisis de "Cost-Effectiveness" de alternativas para proveer un mismo nivel de beneficio de agua caliente

El análisis de "costo efectividad" se utiliza para seleccionar entre proyectos alternativos que generen un mismo nivel de beneficio, aquel que lo hace a menor costo. Este es el análisis adecuado para evaluar el caso en que la unidad familiar no posee el presente calentador de agua alguno o que debe sustituir el que ahora tiene por haber agotado éste su vida útil. En este caso la unidad familiar se enfrenta con diferentes alternativas disponibles en el mercado que producen el servicio de agua caliente, éstas son el calentador eléctrico de tanque, el calentador de ducha, y el calentador solar y seleccionaría la que resulta menos costosa.

El beneficio de la inversión bajo este caso es la utilidad que la unidad familiar derive del servicio de agua caliente. Esta sin embargo, no es necesario medirlo si suponemos que es la misma para todas las alternativas y que ya se tomó la decisión de tener agua caliente. El costo de las diferentes alternativas consiste en el monto de inversión inicial, el costo de funcionamiento y el costo de reposición del equipo. Para el calentador solar el costo es únicamente la inversión inicial, ya que los costos de funcionamiento son mínimos, por lo que no se consideraron en este análisis. La duración del proyecto se tomó como la vida útil del sistema solar (20 años) por lo que no hay costo de reposición envuelto.

En el análisis ha sido necesario descontar el flujo de costos de estas alternativas para hacer posible su comparación. Con ese fin se usaron las tasas de descuento de 9 y 15.5 por ciento justificadas en el análisis anterior.

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 4.8. El calentador solar es la alternativa de costo menor sólo bajo el escenario de precios crecientes y utilizando una tasa de descuento de 9 por ciento para descontar el flujo de costos. El costo del calentador solar es de 1,412 dólares, mientras que el valor presente de los costos para las otras alternativas, cuando es relevante la tasa de descuento de nueve por ciento, excede los 2.000 dólares tanto para el precio del kv/hr con subsidio como sin subsidio. Esto significa que a las familias que aún no tienen sistemas de calentamiento de agua y para las cuales la tasa de descuento relevante es 9 por ciento, el calentador solar es la alternativa más conveniente cuando sea válida una expectativa de precios creciendo al mismo ritmo del pasado.

Sin embargo, bajo este mismo escenario de inflación de creciente, pero aplicando la tasa de descuento de 15.5 por ciento, la alternativa de menor costo es el calentador de ducha. Esta es la alternativa de costos más bajos, tanto cuando la valoración se hace con el precio del kv/hr con subsidio como sin subsidio. El valor descontado de los costos del calentador de ducha es de 1,256 cuando se valora con precio del kv/hr con subsidio y 1,386 dólares cuando se utiliza el precio del kv/hr sin subsidio, como puede verse en la tabla 4.8.

Sin embargo, la diferencia en costos entre el calentador de ducha y el calentador solar bajo este escenario de costos crecientes y una tasa de descuento de 15.5 por ciento es mínima y por otro lado, el calentador solar provee agua caliente para

Tabla 4.8

Resultados del Análisis de "Cost-Effectiveness"

	Escenario de precios crecientes*		Escenario de precios constantes**	
	VPCT r 9%	VPCT r 15.5%	VPCT r 9%	VPCT r 15.5%
Calentador eléctrico de tanque uso continuo				
Precio sin subsidio	7,675	4,641	2,850	2,048
Precio con subsidio	6,890	4,089	1,730	1,257
Calentador eléctrico de tanque uso limitado				
Precio sin subsidio	2,680	1,163	1,112	820
Precio con subsidio	2,420	1,256	659	510
Calentador de ducha				
Precio sin subsidio	2,290	1,386	956	673
Precio con subsidio	2,124	1,256	516	372
Calentador solar	1,412	1,412	1,412	1,412

* Proyección del precio de la electricidad con un modelo de regresión
 ** Manteniendo constante el precio de la electricidad al nivel de 1983

usos adicionales al baño. Por lo tanto, en este caso puede ser que el calentador solar resulte más atractivo que el calentador de ducha para algunas familias, aunque su costo sea más elevado. Esto dependerá de la utilidad marginal que derive la familia de contar con agua caliente para esos otros usos adicionales. Si esta utilidad marginal es menor que la diferencia de costos entre los dos enseres, a la familia le convendría el calentador solar.

Bajo el escenario de costos constantes el calentador de ducha es la alternativa que minimiza los costos, tanto cuando aplican los precios sin subsidio como cuando son relevantes los precios con subsidio, y con la tasa de descuento de nueve por ciento como con la de 15.5 por ciento. En este escenario de inflación el costo del calentador de ducha es mucho menor que el costo del calentador solar. El valor presente de los costos del calentador de ducha cuando se utiliza el precio del kv/hr sin subsidio es de 952 dólares con la tasa de descuento de nueve por ciento y 673 dólares con la tasa de 15.5. Cuando aplica el precio del kv/hr con subsidio los costos son de 516 dólares con la tasa de descuento de nueve por ciento y 372 dólares con la tasa de 15.5 por ciento. Estas cantidades son menores que el costo del calentador solar que es de 1,412 dólares.

Es interesante observar que, bajo este escenario de precios constantes, aún el calentador eléctrico utilizado con moderación es una mejor alternativa que el calentador solar. Los costos de esta alternativa cuando es válido el precio del kv/hr sin subsidio, es de 1.412 dólares con la tasa de descuento

de nueve por ciento y 820 dólares con la tasa de 15.5 por ciento. Cuando aplica el precio del kv/hr con subsidio los costos son de 659 y 510 dólares con las tasas de descuento de nueve y 15.5 por ciento respectivamente. Estas cifras son menores que el costo del calentador solar, el cual es 1,412 dólares.

Se concluye, por lo tanto, que el calentador solar es la alternativa que minimiza costos sólo bajo el escenario de precios crecientes y utilizando la tasa de descuento de 9 por ciento. Esta tasa de interés es relevante sólo para familias que puedan financiar la inversión con sus propios recursos. Por otro lado, aún bajo este escenario de inflación, no es la mejor alternativa cuando aplica la tasa de descuento de 15.5 por ciento, resultando favorecido el calentador de ducha por ser la alternativa de costos menores. El calentador de ducha también es la mejor alternativa para proveer el agua caliente bajo el escenario de precios constantes con las dos tasas de descuento utilizadas. Por lo tanto, el calentador de ducha resulta ser la mejor alternativa para familias que tendrían que financiar su inversión en el calentador con el financiamiento disponible en el mercado.

Mercado potencial de los calentadores solares

El propósito de determinar el potencial de los calentadores solares ha sido el de investigar si en realidad estos sistemas son utilizados por debajo de su potencial de mercado como ha sido argumentado por la Oficina de Energía de Puerto Rico. Esta agencia, como se mencionó antes, estimó un mercado poten-

cial de 750 mil unidades solares para uso residencial en el país. No obstante, para 1981 el acervo de calentadores instalados en la Isla era de alrededor de 17 mil unidades, lo que representa una proporción pequeña del mercado potencial según estimado por la Oficina de Energía.

El mercado potencial de los calentadores solares se define en el presente estudio como el número total de familias que al presente tienen servicio de agua caliente a través de un calentador eléctrico de tanque o un calentador de ducha, y para quienes la inversión en el calentador les resulta económicamente viable, más las familias que al presente no tienen el servicio de agua caliente, pero que de decidirse a tenerlo, el calentador solar sería la forma más económica de obtenerlo.

Como se vio anteriormente en la Tabla 4.1 el 33 por ciento de las viviendas en Puerto Rico tienen calentador eléctrico de tanque, lo que corresponde aproximadamente a 286 mil viviendas; de las cuales el 84 por ciento o alrededor de 240 mil hacen uso controlado de este enser. Por otra parte, un 22 por ciento de las familias en el país, o cerca de 191 mil viviendas, tienen calentador de ducha. Solo dos por ciento tienen calentadores solares y el 43 por ciento restante no cuentan con el servicio de agua caliente. Estos últimos por cientos equivalen a un total de 17 mil y 390 mil familias respectivamente.

Para especificar el mercado potencial de acuerdo a la definición anterior, es necesario hacer uso de los resultados del análisis de viabilidad bajo los diferentes escenarios contruídos. Los resultados del análisis sin embargo, para algunos

de los casos analizados son positivos bajo un escenario de inflación y negativos para el otro. Por lo tanto, se ha decidido calcular un estimado del mercado potencial bajo el escenario de precios crecientes y otro bajo el escenario de precios constantes. De esta forma se puede especificar un límite superior y otro inferior para el mercado potencial.

Mercado potencial bajo el supuesto de precios crecientes

Bajo la expectativa de precios crecientes, el calentador solar es económicamente viable para el caso en que se sustituye un calentador eléctrico de tanque que se mantiene encendido todo el tiempo, bajo los dos escenarios de precios del kv/hr y las dos tasas de descuento. Estas familias, como se vio antes, constituyen un 16 por ciento del total de 286 mil que poseen un calentador eléctrico en el país, o sea, aproximadamente 46 mil familias. Estas familias, por ser la inversión viable para ellas, estarían dentro del mercado potencial de los calentadores solares.

Por otra parte, para el caso en que se hace uso limitado del calentador eléctrico convencional y hay expectativas de precios crecientes, el calentador solar resulta viable para todas las situaciones analizadas excepto cuando aplica el precio del kv/hr con subsidio y es relevante una tasa de descuento de 15.5 por ciento.

Esta excepción es muy importante debido a que, como se mencionó antes, el 53 por ciento del total de 240 mil familias que hacen uso limitado del calentador eléctrico de tanque re-

ciben subsidio sobre el consumo de electricidad. Además, el 84 por ciento de las familias que reciben subsidio tienen un ingreso anual de menos de 10.000 dólares. Si suponemos que para estas familias la inversión en el calentador solar es lo suficientemente alta como para tener que ser financiada mediante el financiamiento provisto por los suplidores de los equipos solares, concluimos que para ellas la tasa de descuento relevante es la de 15.5 por ciento. Por lo tanto, se puede tomar el 45 por ciento (84 por ciento de .53) como la proporción de las familias que hacen uso moderado del calentador eléctrico de tanque que, por ser aplicable a ellas el precio con subsidio y la tasa de descuento de 15.5 por ciento, no están dentro del mercado potencial. Las familias que sí estarían en el mercado potencial serían el 55 por ciento restante de las 240 mil que hacen uso limitado del calentador eléctrico de tanque, o sea, 132 mil familias.

En el caso en que la unidad familiar sustituye un calentador de ducha por el calentador solar, la inversión es viable, tanto a precios sin subsidio como con subsidio, únicamente bajo la tasa de descuento moderada de nueve por ciento. Esta situación, sin embargo, no es muy frecuente, ya que según el análisis anterior, el 81 por ciento de las familias que poseen calentador de ducha tienen un ingreso anual menor de 10 mil dólares. Para estas familias, de acuerdo al supuesto del párrafo anterior, la tasa de descuento que aplica es de 15.5 por ciento. Por lo tanto, sólo para el 19 por ciento restante la sustitución del calentador de ducha sería viable y estarían dentro

del mercado potencial de calentadores solares. Estos son un total de 36,290 familias adicionales.

El último caso que se consideró fue de las familias que no poseen calentador de agua alguno. Para este caso, y bajo este escenario de costos crecientes, la inversión en el calentador solar es la mejor alternativa para proveerse el servicio de agua caliente únicamente con la tasa de descuento de nueve por ciento, como se vio anteriormente, tanto bajo precios sin subsidio como precios con subsidio. Sin embargo, esta tasa de interés no es aplicable para la gran mayoría de las familias en el país que no tienen calentador de agua alguno, ya que estas son familias de ingresos bajos. Con información obtenida de la encuesta realizada por el Departamento de Economía y el Centro de Estudios Energéticos de la Universidad de Puerto Rico, se pudo computar que sólo el 3.77 por ciento del total de familias en el país tienen ingreso anual igual o mayor a 10 mil dólares y no poseen calentador de agua alguno. Este sería el total de familias para las cuales la tasa de descuento aplicable sería de nueve por ciento y por lo tanto formarían parte del mercado potencial. Estas familias son un total de 32,730.

En resumen, bajo este escenario de inflación, el mercado potencial de los calentadores solares estaría constituido por: 46 mil familias que mantienen el calentador eléctrico de tanque funcionando todo el tiempo; 132 mil familias que hacen uso limitado de este enser; 36,290 de las familias que poseen calentador de ducha y; 32,730 de las familias que no poseen ni

presente calentador de agua alguno. Esto hace un total de 247,020 compradores potenciales.

Mercado potencial bajo el supuesto de precios constantes

El calentador solar resulta ser económicamente viable bajo este escenario solamente para el caso en que se posee un calentador eléctrico de tanque el cual se mantiene funcionando todo el tiempo. Así que el estimado del mercado potencial sería de 46 mil familias.

A base del análisis previo se puede concluir que los calentadores solares para uso residencial en Puerto Rico tienen un mercado potencial que fluctúa entre 46 mil y 247,020 unidades dependiendo de la expectativa en cuanto a precios futuros. Este estimado es mucho menor que el mercado potencial de 750,000 unidades estimado por la Oficina de Energía de Puerto Rico.

Resumen

En este capítulo se discutieron algunas variables importantes para el análisis de viabilidad y la estimación del mercado potencial de los calentadores solares y se presentaron los resultados del análisis.

Se planteó que los calentadores eléctricos de tanque existentes en la isla están distribuidos entre familias de todos los niveles de ingreso, mientras que los calentadores de ducha son utilizados por muchas familias de bajos ingresos, y que la escasa cantidad de calentadores solares existentes en el país

pertenecen, casi en su totalidad, a familias de ingresos altos y moderados. En esta sección también se especificó el consumo de electricidad de estas alternativas que proveen el servicio de agua caliente. El calentador eléctrico de tanque mantenido encendido todo el tiempo, alternativa que había sido el objeto de estudio en los análisis previos, consume alrededor del triple de energía eléctrica que este mismo sistema con uso controlado, o que el calentador de ducha. Sin embargo sólo el 16 por ciento de las familias que poseen calentador eléctrico de tanque en la isla mantienen éste encendido todo el tiempo.

Se especificaron dos escenarios alternos para describir el comportamiento del costo de la electricidad durante la duración del proyecto bajo análisis. El primero se construyó utilizando un modelo de regresión a base del comportamiento histórico del precio para hacer la proyección del precio del kv/hr y el otro se hizo manteniendo el precio del kv/hr de 1983 constante a través de la vida económica del proyecto. También se utilizaron dos tasas de descuento en el análisis de viabilidad, una de nueve por ciento y otra de 15.5 por ciento. La primera es la tasa de interés de los certificados de ahorro, la cual se supone aproxima la tasa usando fondos propios y la otra es la tasa de interés que aplica a las familias que financian la inversión a través del financiamiento provisto por los fabricantes y por los distribuidores del equipo.

Se discutió también la determinación del tamaño óptimo de los calentadores solares. Se determinó que el método sugerido por la Oficina de Energía subestima la capacidad deseada de

estos sistemas, por lo que se presentó una forma para darle mayor precisión a éste cómputo.

Las últimas dos secciones del capítulo fueron dedicadas al análisis de viabilidad y la determinación del mercado potencial de los calentadores solares para uso residencial.

El análisis de viabilidad se efectuó para diferentes situaciones en las que puede encontrarse la unidad familiar al tomar la decisión de invertir en el calentador solar. Estos son: la unidad familiar sustituye un calentador de tanque que mantiene encendido todo el tiempo; la unidad familiar sustituye un calentador eléctrico convencional del que hace uso controlado, la unidad decisional remplacea un calentador de ducha, y; la unidad familiar no posee calentador de agua, pero interesa proveerse del servicio de agua caliente. Los primeros tres casos se analizaron con el modelo de costo-beneficio y el último con la técnica de "cost-effectiveness". Estos análisis se realizaron bajo los diferentes escenarios mencionados antes, en cuanto a tasas de descuento, precios del kv/hr con subsidio y sin subsidio y expectativas de inflación.

Los resultados del análisis de viabilidad demostraron que la viabilidad económica del calentador solar depende de la situación específica en que se encuentre la unidad familiar. El calentador solar es económicamente viable bajo todos los escenarios construídos, sólo para el caso en que sustituye a un calentador eléctrico de tanque de uso continuo. Esta es la situación bajo la cual se han hecho todos los análisis previos que han concluído que la inversión en el calentador solar es

viable. No obstante, éste no es el caso más representativo de la situación en que puede ubicarse a las familias puertorriqueñas.

Por otra parte, cuando el calentador solar sustituye un calentador eléctrico de tanque de uso limitado o un calentador eléctrico de ducha, el análisis resulta viable bajo algunos escenarios y no viable bajo otros, sin embargo, para estas dos situaciones, la inversión en el calentador solar no es viable bajo los escenarios más relevantes para un gran número de familias en el país.

El análisis de "cost-effectiveness" demostró que el calentador solar es la alternativa que minimiza costos, sólo cuando se considera la inversión bajo el escenario de costos de electricidad crecientes y se utiliza una tasa de descuento de nueve por ciento. Bajo los otros escenarios el calentador de ducha resultó ser la alternativa de costos menores y por consiguiente la mejor alternativa de inversión.

Se estimaron dos aproximaciones del mercado potencial; una bajo la expectativas de costo de electricidad crecientes y otra bajo la expectativa de costos constantes, tomando en cuenta los escenarios en que el calentador solar era viable. En el primer caso se estimó un mercado potencial de 247,020, mientras que bajo el segundo el estimado fue de 46 mil. Estas cifras son mucho menor que el estimado de 750 mil unidades hecho por la Oficina de Energía de Puerto Rico.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación surge debido a la preocupación existente en Puerto Rico, de que los calentadores solares de uso residencial se están utilizando por debajo de su potencial, aún cuando representan una alternativa real para aliviar el problema energético de Puerto Rico. El propósito de este estudio ha sido, el determinar si en realidad los calentadores solares de agua para uso residencial se están utilizando por debajo de su potencial (como ha sido planteado por la Oficina de Energía de Puerto Rico) y de estar ocurriendo esto, investigar las causas.

Se plantearon diferentes hipótesis sobre el problema. En primer lugar se planteó que la alegada subutilización de los calentadores solares podría deberse a que las autoridades públicas y privadas han sobreestimado el mercado potencial de los calentadores solares. Por otro lado, se señaló que tal vez aún con una especificación más moderada del mercado potencial, la utilización actual estaría por debajo de su potencial por falta de información de parte del consumidor sobre los verdaderos costos y beneficios del calentador solar.

Para analizar el problema se identificaron cuatro situaciones en las que puede encontrarse la unidad decisional al momento de considerar el calentador solar como alternativa.

Estas fueron: A) el comprador potencial posee un calentador eléctrico convencional el cual mantiene funcionando todo el tiempo; B) el posible comprador posee un calentador eléctrico convencional, pero hace un uso limitado de éste; C) la unidad decisional posee un calentador de ducha; y D) el comprador potencial no posee calentador de agua alguno.

En el estudio se efectuó un análisis de viabilidad, que luego fue utilizado para determinar el mercado potencial de los calentadores solares. El mercado potencial fue definido como el número total de familias que, además de enfrentar una restricción presupuestaria que no le impida adquirir el equipo, la inversión en el calentador solar le resulta económicamente viable para la situación aplicable a su caso al momento de hacer la decisión.

Para estimar el mercado potencial de los calentadores solares se determinó el número de unidades familiares con calentador eléctrico de tanque y de esta cantidad se excluyó aquellas familias para las cuales no resulta económicamente viable la inversión en el calentador solar. Además se incluyó en el mercado potencial el total de familias que al presente no poseen calentador de agua alguno, pero que de decidirse a tenerlo, el calentador solar resulta ser la mejor alternativa de inversión.

La metodología utilizada para efectuar el análisis de viabilidad fue la técnica de costo-beneficio y la técnica de "Cost-effectiveness". La primera técnica se utilizó para los casos en los que el calentador solar sustituye una fuente alternativa

de agua caliente, donde es relevante tanto el flujo de costos como un flujo de beneficios. La técnica de "cost-effectiveness" se utilizó para el caso en el que no se posee calentador de agua y se consideran varias alternativas para obtener un mismo nivel de beneficios de servicio de agua caliente, situación donde sólo es relevante el flujo de costos.

En el análisis de costo-beneficio se definió como beneficio el ahorro en el gasto de electricidad y en el reemplazo del equipo, que resulta de usar el calentador solar en lugar de los otros dos sistemas. El costo del proyecto es el monto de inversión en el calentador solar. Se usó como criterio de decisión el valor presente del beneficio neto (VPBN) con el algoritmo de que el proyecto es viable siempre que el VPBN fuera positivo, ya que indicaría que el valor presente del beneficio es mayor que el valor presente del costo.

El criterio de decisión bajo el análisis de "Cost-effectiveness" es que la mejor alternativa es aquella para la cual el valor presente del costo sea el más bajo.

Para traer a valor presente los flujos de beneficio y costos se utilizaron dos tasas de descuento, una de 15.5 por ciento relevante para las familias que utilizarían el financiamiento provisto por los suplidores de los calentadores solares y otra de nueve por ciento que es relevante para las familias que comprarían el equipo solar con fondos propios.

El análisis de viabilidad consideró el caso de una familia de cuatro miembros, por ser éste el tamaño promedio de una familia en Puerto Rico. Este análisis se efectuó bajo dos expec-

tativas alternas de crecimiento del precio del kv/hr, una que proyecta el precio de la electricidad con un modelo de regresión lineal basado en el comportamiento histórico del precio y otra que mantiene constante el precio del kv/hr de 1983 a través de la vida útil del calentador solar.

El análisis de viabilidad arrojó los siguientes resultados. Para el caso en que el calentador solar reemplaza un calentador eléctrico de tanque que la familia mantiene funcionando todo el tiempo, el calentador solar resultó viable bajo todos los escenarios construidos. En el caso en que se sustituye un calentador eléctrico de tanque de uso limitado, el calentador solar es económicamente viable cuando hay una expectativa de precios crecientes y es válido el precio sin subsidio. También es viable cuando es aplicable el precio del kv/hr con subsidio y contrario, no es viable cuando hay la expectativa de precios crecientes, pero es aplicable el precio con subsidio y la tasa de descuento de 15.5 por ciento. Tampoco es viable bajo la expectativa de precios constantes bajo todas las situaciones especificadas en cuanto al precio y la tasa de descuento aplicable.

En el caso en que la unidad familiar sustituya un calentador de ducha, la inversión en el calentador solar resulta ser viable únicamente bajo el escenario de precios crecientes construido con el modelo de regresión y utilizando la tasa de descuento moderada de nueve por ciento. Bajo los otros escenarios no es viable.

En el caso en que la familia no posee ningún tipo de calentador de agua al presente, el calentador solar resulta ser

la alternativa preferida por ser la de menor costo, sólo bajo el escenario del costo del kv/hr creciente y utilizando una tasa de descuento de nueve por ciento. Sin embargo, bajo este mismo escenario de inflación, pero utilizando una tasa de descuento de 15.5 por ciento, el calentador de ducha es la mejor alternativa de inversión. El calentador de ducha, también resulta ser la alternativa que minimiza costos, bajo las dos tasas de descuento, cuando se analizan las alternativas bajo expectativas de costos del kv/hr constantes.

Estos resultados en los que el calentador solar resultó ser viable fueron utilizados para estimar su mercado potencial. Se computó un estimado de mercado potencial bajo cada una de las expectativas de precios del kv/hr. De esta forma se pudo especificar un límite superior y uno inferior para el mercado potencial de los calentadores solares.

Bajo el escenario de expectativas de precios de electricidad constantes, el estimado fue de 46 mil familias, mientras que bajo el escenario de costos crecientes fue de 247,000 familias.

A base de los resultados del estudio se puede concluir que desde un punto de vista privado el calentador solar no es siempre económicamente viable para todas las familias de la Isla, como se ha pretendido establecer en estudios previos. En la mayoría de los análisis de viabilidad del calentador solar que se realizaron antes, éste se analizó bajo las condiciones más favorables en las que la inversión en el equipo solar resulta beneficiosa. Este es el caso en que reemplaza un ca-

calentador eléctrico convencional que se mantiene funcionando todo el tiempo. Sin embargo, como se observó antes, ese caso no es el más representativo de la situación en que se encuentran la mayoría de las familias puertorriqueñas.

Es importante señalar, no obstante, que en esta investigación sólo se hizo un análisis privado de la inversión, por lo que no se consideraron los impactos externos del proyecto. Puede ser que considerando estos impactos en un análisis de los calentadores solares desde la perspectiva más amplia de toda la sociedad, el resultado del análisis sea distinto.

Con respecto al mercado potencial de los calentadores solares, se ha encontrado que éste es mucho menor que el que había sido estimado por la Oficina de Energía de Puerto Rico. Esto corrobora la primera hipótesis establecida. La explicación para esto es que el calentador solar no es económicamente viable bajo todas las circunstancias para todas las familias en la Isla, como estaba implícito en el estimado hecho por la Oficina de Energía. No obstante, aún con esta especificación más moderada del mercado potencial, la cantidad de calentadores solares existentes en la Isla en 1981, resulta ser pequeña en relación al mercado potencial que ha sido estimado en el presente estudio.

Este hecho se puede deber a que falta información en cuanto a los beneficios resultantes de la utilización del calentador solar. Otra explicación puede ser que el elevado costo inicial y la alta tasa de financiamiento hacen a la inversión inaccesible para muchos. También puede ser explicado por el

hecho de que en el país se están vendiendo unos sistemas solares que exceden al tamaño requerido por cada unidad familiar. Esto hace que el costo del calentador solar sea más elevado y por ende se afecta negativamente la viabilidad económica del sistema. El análisis de viabilidad del sistema solar en este estudio se realizó utilizando un tamaño del calentador solar que va a tono con la necesidad de agua caliente que tiene una unidad familiar y no el que recomiendan los suplidores de estos sistemas, que usualmente exageran el tamaño adecuado del equipo. El tamaño más justo aquí considerado mejora la competitividad del calentador solar en relación a otros sistemas alternos que proveen agua caliente.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio se puede recomendar la realización de un análisis de costo-beneficio social de los calentadores solares, para determinar si desde esa perspectiva de análisis los calentadores solares resulten viables bajo otras circunstancias. Esto podría ayudar en la formulación de medidas dirigidas a estimular el uso de estos equipos en armonía con su beneficio para la sociedad. Sin embargo, se puede señalar que el presente estudio da base para recomendar que: a) se provea información a los consumidores sobre la forma en que debe computar el tamaño adecuado del sistema solar; b) se divulgue cuáles son los beneficios del calentador solar bajo las diferentes situaciones en que se pueda encontrar las unidades familiares; c) se establezcan algunas medidas que permitan a las familias de ingresos bajos y moderados para las cuales la inversión en el calentador solar es viable

la adquisición de este sistema, de forma de equiparar la utilización actual de estos sistemas a su mercado potencial. Esto puede lograrse, motivando a los consumidores a que construyan su propio calentador solar como se hizo en el pasado, para de esta forma reducir los costos del equipo y hacerlo más accesible a familias de ingresos bajos y moderados.

APENDICE

APENDICE I

CONSIDERACIONES TECNICAS SOBRE LOS CALENTADORES SOLARES DE AGUA¹

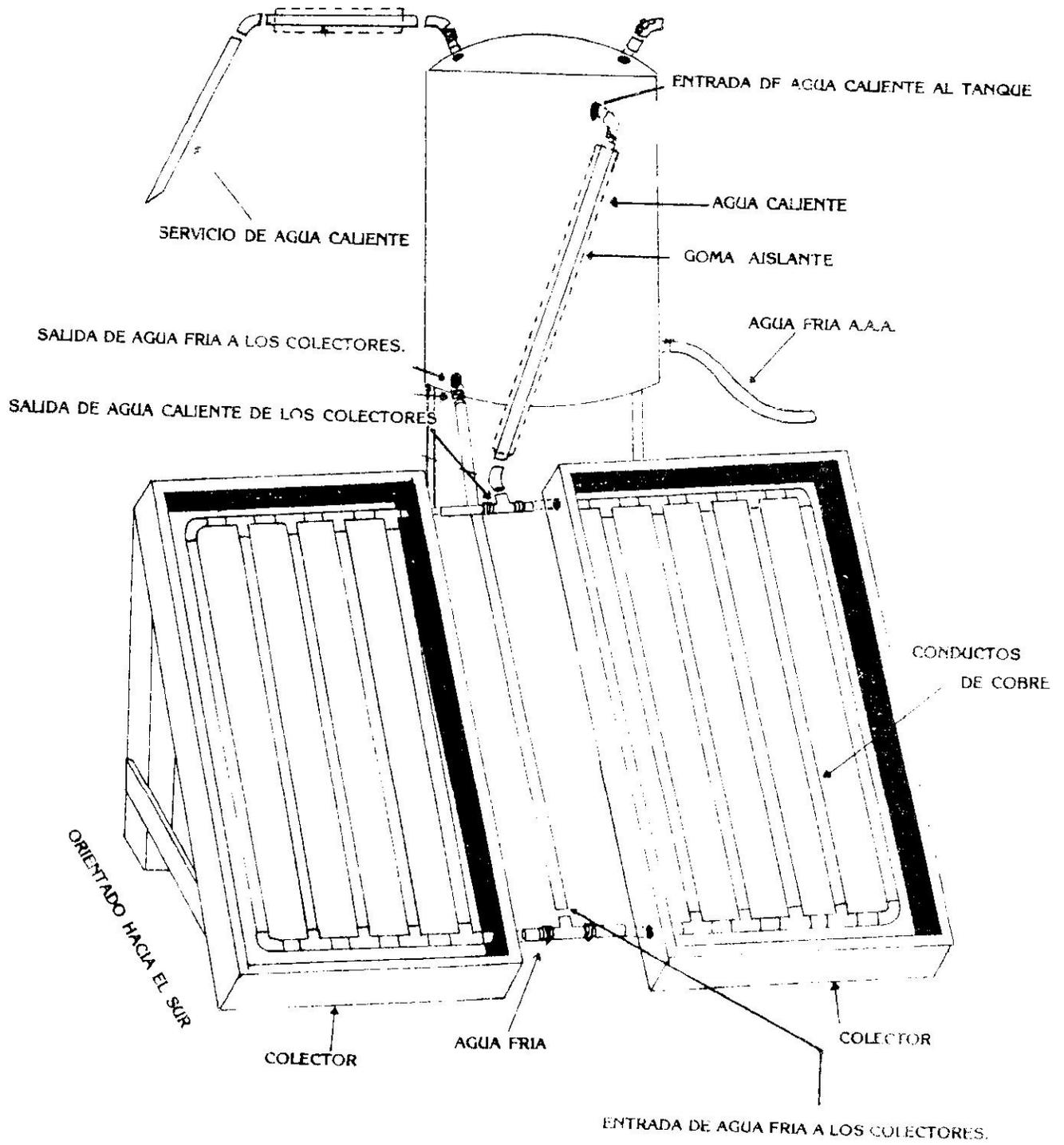
El calentador solar de agua utiliza dos componentes básicos, el colector de energía solar y el tanque de almacenamiento de agua. Además usa otros materiales como: tuberías, válvulas y aislantes térmicos, como se puede ver en la figura I. La función del colector es capturar la energía solar y transformarla en energía de calor, que pueda utilizarse. El tanque de almacenamiento sirve para almacenar el agua que ya ha sido calentada.

Los calentadores solares de agua usan colectores planos. Estos consisten de una plancha metálica plana, la cual captura la luz solar y de varios tubos adheridos firmemente a dicha plancha. La plancha metálica con los tubos adheridos, está colocada dentro de lo que se conoce como la caja del colector. Sobre esta caja se coloca una tapa de vidrio o plástico que sirve de ventana para la entrada de la luz solar. Para evitar la pérdida de calor, aisladores térmicos son colocados en los lados y por debajo de la plancha metálica.

El funcionamiento de estos colectores es el siguiente. La mayor parte de energía solar que cae sobre la tapa del co-

¹El material discutido en este apéndice ha sido tomado de: Heriberto Plaza, Knud Pedersen y K.G. Soderstrom, Guía para el consumidor sobre calentadores solares de agua, para el sector residencial en Puerto Rico. (Instituto para Estudios de Energía, 1979.

Figura I



lector es transmitida a la plancha metálica. La plancha absorbe esta energía lo que provoca un aumento en temperatura que es transmitido a los tubos que están adheridos a la plancha. Esto hace que el agua que pasa a través de los tubos también sea calentada. La tapa, además de permitir la entrada de los rayos del sol, ayuda a retener el calor hasta su punto máximo. Debe señalarse, sin embargo, que no toda la energía que recibe la plancha es absorbida, sino que parte de ésta es reflejada. Los colectores planos pueden producir temperaturas hasta de 158°F en un día soleado y 100°F durante un día nublado.

El otro componente principal del calentador solar de agua es el tanque de almacenamiento. Este se conoce también como termo-tanque y está construido de acero inoxidable y cubierto con una capa de poliuretano un aislante térmico tan potente que una pulgada de cemento. Esta cubierta de poliuretano convierte al tanque en una especie de termo que hace que el agua conserve su calor.

Existen dos tipos de calentadores solares de agua, el sistema de termosifón o sistema de circulación natural y el sistema con bomba de circulación forzada. Un tercer tipo surge como una variante al sistema de termosifón y se conoce como el sistema combinado. Todos sistemas utiliza los mismos componentes que ya fueron mencionados.

El sistema de termosifón puede utilizar uno o más colectores dependiendo de la capacidad del tanque de almacenamiento. El principio de operación de este sistema es a base de circulación por gravedad. Es importante recordar que la densidad de

un fluido varía inversamente con su temperatura y que los fluidos más livianos se mueven hacia arriba mientras que los más pesados se mueven hacia abajo. Para poder hacer uso de este principio en los calentadores solares de agua, la base del tanque de almacenaje debe ser localizada más alta que el punto más elevado de los colectores. Además la tubería que va al colector debe tener inclinación descendente (ver figura I).

Cuando el agua que es calentada por los colectores pasa al tanque, como tiene una temperatura mayor que el agua que está en el tanque, asciende; el agua está en el fondo del tanque (que es el agua con temperaturas más bajas) se despiaza hacia los colectores para ser calentada. De esta forma se establece un ciclo de circulación del agua entre el tanque y el colector.

El sistema con bomba de circulación, además de poseer los componentes básicos de los calentadores solares, tiene una pequeña bomba de circulación, la que opera con energía eléctrica y un control. En este sistema la ubicación del tanque de almacenamiento de agua no es importante, ya que la bomba de circulación impulsa el agua hacia el colector. Pero mientras más cerca esté el tanque del colector, menor cantidad de energía eléctrica necesitará la bomba de circulación para funcionar. El circuito de circulación del agua en este sistema es igual al del sistema de termosifón.

La función del control, en este sistema, es activar la bomba de circulación durante el día y desactivarla durante la noche. De esta forma se evita que el agua caliente que está en el tanque, pierda energía térmica al pasar por los colec-

tores y recibir bajas temperaturas.

Otro aditamento que este sistema requiere, es una válvula unidireccional para evitar la circulación natural del agua durante la noche.

El sistema combinado además de utilizar energía solar tiene un sistema auxiliar, garantiza un suministro de agua aún en los días nublados. La utilización de energía solar de este sistema se fundamenta en el principio de termosifón y el sistema auxiliar eléctrico entra en operación por lo regular después de dos días nublados consecutivos.

Para tener una idea precisa sobre la capacidad del calentador de agua vale señalar que el agua que se obtiene de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) es de aproximadamente 80°F . Cada pie cuadrado de colector recoge en un día promedio energía suficiente para elevar la temperatura de aproximadamente 1.5 galones de agua de la provista por la AAA, hasta cerca de 130°F .

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Arias Hernández, Roberto. "Guía para determinar la viabilidad de los calentadores solares para uso residencial". Tesis de Maestría no publicada, Universidad de Puerto Rico, Escuela Graduada de Administración de Empresas, Río Piedras, Puerto Rico: 1983.
- Autoridad de Energía Eléctrica. Cuente sus kilovatios hora y controle su consumo. San Juan: Autoridad de Energía Eléctrica, (n. d.).
- Bach, Wilfrid, Walthar Manshard, William Matthews y Harrison Brown. Renewable Energy Prospects. New York: Pergamon Press, 1979.
- Ball, David E. Return on Investment for Residential Solar Water Heating. Atlanta: Southern Solar Energy Center, enero 1981.
- Bonnet, Juan A. Jr., Energy Alternatives for the Caribbean. San Juan: Centro de Estudios Energéticos y Ambientales, Universidad de Puerto Rico, (n. d.).
- Bonnet, Juan A. Jr., y Barry G. Graves. Planning and Initial Activities for the Utilization of Renewable Energy Sources in the Southern United States, Puerto Rico and the Virgin Island. San Juan: Centro de Estudios Energéticos y Ambientales, Universidad de Puerto Rico, (n. d.).
- Cobas, Amador. Material informativo sobre la energía solar. San Juan: Oficina de Energía de Puerto Rico, 1974.
- Cobas, Amador, Hugh Thorne y C.M. Concepción. Plan de trabajo para el proyecto de energía solar. San Juan: Oficina de Energía de Puerto Rico, 1978.
- Comité de Trabajadores para Ayuda al Consumidor y Centro de Estudios Energéticos y Ambientales. Laborando y conservando con la energía solar. San Juan: el comité, (n. d.).
- Daniels, Farrington. The Sun Energy. Madison: Universidad de Wisconsin, Departamento de Química, (n. d.).
- Dasgupta, Ajit K. y D. W. Pearce. Cost-Benefit Analysis. Oxford: Oxford University Press, 1970.
- Departamento de Asuntos al Consumidor. Cómo construir un calentador solar. San Juan: Departamento de Asuntos al Consumidor, (n. d.).

- Hobson, J. E., The Economics of Solar Energy. California: Standard Research Institute, (n. d.).
- Informe Anual del Centro de Estudios Energéticos y Ambientales, 1980. San Juan: Universidad de Puerto Rico, 1980.
- Institute of Social Technology, Survey to Determine the Potential Market for Solar Water Heaters in Puerto Rico. San Juan, el Instituto, 1978.
- Llavina, Rafael, Impact of Solar Heating and Cooling on Electric Utilities. San Juan: Autoridad de Energía Eléctrica, (n. d.).
- Oficina de Energía de Puerto Rico, Manufacturantes y Distribuidores de calentadores solares en Puerto Rico. Material no publicado. San Juan, Oficina de Energía de Puerto Rico, (n. d.).
- Informe de la situación energética de Puerto Rico. San Juan, Oficina de Energía de Puerto Rico, 1982.
- La política energética de Puerto Rico. San Juan: Oficina de Energía de Puerto Rico, 1979.
- Reglamento para la certificación de equipo solar. San Juan, Oficina de Energía de Puerto Rico, 1982.
- Office of Energy Resources, The Economics of Solar Water Heaters, A Guide for Evaluating the Cost Effectiveness of Active Solar Water Heating Systems in Maine. Maine (n. d.). (n. d.). 1970.
- Ortiz, Néstor, Solar Water Heating Application: How can you Save?. Revista del Colegio de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores de Puerto Rico. San Juan, Diciembre 1979.
- Pearce D. W., Cost-Benefit analysis. London: The Macmillan Press Ltd. 1971.
- Plaza, Heriberto, Rolf B. Pedersen y Kenneth S. Soderstrom, Guía para el consumidor, calentadores solares de agua, sector residencial. Mayagüez: Instituto de Energía, 1979.
- Rodríguez, Ernesto, William Colón, Salvador Lugo y Samuel Torres, Distribution and Socioeconomic Impact of the Electricity Price Increase on the Puerto Rico Population. San Juan: Centro de Estudios Energéticos y Ambientales, marzo 1982.
- Sassone, Peter G. y William A. Schaffer, Cost-Benefit Analysis: A Handbook. New York: Academic Press, 1970.

- Soderstrom, Kenneth G., Simulation and Cost Optimization for Solar Hot Water Systems in Tropical Climate. Mayagüez, Universidad de Puerto Rico, 1980.
- Soderstrom, Kenneth G. y M. F. Soderst, Thermal Design Criteria for Solar Hot Water Systems in Tropical Climate. (n. p.), (n. n.) (n. d.).
- Sudgen, Robert y Alan Williams, The Principles of Practical Cost-Benefit Analysis. Oxford, Oxford University Press, 1979.
- United States, Department of Commerce, Economics Study of Puerto Rico. Washington, Department of Commerce, 1979.
- Energy Data Report, Solar Collector Manufacturing Activity. Washington, Department of Commerce, 1980.
- The Solar Energy Research Institute, Analyzing Method for Solar Heating and Cooling Applications, Passive and Active Systems. Colorado, Departamento de Energía de Estados Unidos, 1980.

