

ANÁLISIS ECONÓMICO DE UNA CASA EFICIENTE CON USO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

ECONOMIC ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC-ENERGY EFFICIENT HOUSE

Sergio Zuniga-Jara

Doctor en Economía
Docente Investigador
Universidad Católica del Norte, Coquimbo
sz@ucn.cl

Madeleyn Álvarez

Ingeniero Comercial
Universidad Católica del Norte,
Coquimbo

Meybol Santander

Ingeniero Comercial
Universidad Católica del Norte, Coquimbo

Edxell Serrano

Ingeniero Comercial
Universidad Católica del Norte,
Coquimbo

Resumen

El estudio aplica una metodología para evaluar la conveniencia económica de una inversión en energía fotovoltaica para una familia típica. Se permite concluir, en base al Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) que el éxito de este tipo de proyectos de escala familiar está fuertemente condicionado por el monto de la inversión inicial y reinversiones. Como resultado final, los proyectos no resultaron rentables aún después de un análisis de sensibilidad de variables críticas, que incluyó la existencia de subsidios. Esto parece explicar el por qué cuando se adquieren estos equipos a través de un subsidio del Estado, es frecuente ver que los usuarios no realizan las reinversiones necesarias y terminan abandonándolos.

Palabras Claves: valor actual neto, rentabilidad, proyecto, energía fotovoltaica, Chile

Clasificación JEL: G31

Abstract

This study evaluate the economic attractiveness of an investment in photovoltaic-energy for a typical family. Based on the Net Present Value and the Internal Rate of Return we established that the success of this type of family-scale projects is strongly affected by the amount of the initial investment and the reinvestment. As a final result, the projects were not profitable even after a sensitivity analysis of critical variables, which included the existence of subsidies from the Government. This seems to explain why when purchasing this equipment through a subsidy, it is common to see that users do not perform the necessary reinvestments and end up abandoning them.

Key Words: net present value, profitability, project, photovoltaic-energy, Chile

JEL Classification: G31

1. INTRODUCCIÓN.

A nivel residencial, la energía fotovoltaica es una de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) con mayor capacidad de generación eléctrica (Guzmán, 2011), aunque la gran limitante es el elevado costo de los paneles fotovoltaicos y baterías. Algunos países europeos (especialmente España y Alemania) llevan años motivando el uso de las ERNC. A pesar de que Chile posee condiciones geográficas y climatológicas favorables, su desarrollo es relativamente reciente. La Ley 20.257 de 2008 generó un impulso al respecto, al obligar a que un 5% de la energía inyectada al sistema interconectado sea proveniente de fuentes renovables, para llegar al año 2025 al 10%.

Los gobiernos regionales fomentan el uso de estas energías en localidades aisladas, especialmente sistemas de electrificación y alumbrado en lugares aislados. A pesar de las expectativas iniciales, una parte importante tales sistemas termina siendo abandonado por los usuarios. Por otra parte, existe una notoria escases de análisis económicos detallados, que estimen costos y beneficios de inversiones de este tipo, y que sirvan de base para la toma de decisiones de una familia, o de un pequeño empresario que quiera analizar la implementación de un sistema de energía fotovoltaica. Como ilustración, el Informe final del Programa de Electrificación Rural (PER), el que otorgó subsidios públicos a la inversión en proyectos de distribución eléctrica para sectores aislados o dispersos, indicaba que no se había conseguido las metas de cobertura, y que se debiera disponer de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) social o privado, Tasas de Recuperación de la Inversión (TIR) y las relaciones entre esas variables y los montos invertidos (Ministerio del Interior, 2005).

Dado lo anterior, el objetivo central de este estudio es analizar económicamente las condiciones bajo las cuales una Casa Eficiente en Uso de Energía Fotovoltaica (CEUEFV) es sustentable en el largo plazo, y analizar cuáles son las condiciones que hacen efectivamente viable económicamente su operación. Para esto, en lo que sigue se consideran variables tales como la localización y condiciones climatológicas, el número promedio de personas por hogar, la necesidad de subsidios a la inversión, entre otras. El estudio está organizado como sigue. En primer lugar se definen los elementos que componen un equipo fotovoltaico para la vivienda de la familia típica, y se proyecta la inversión inicial, reinversiones y el costo de operación. A continuación se obtiene el Valor Actual Neto (VAN), Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) y Tasa interna de Retorno (TIR), y se realiza un análisis de sensibilidad de algunas variables relevantes, tales como el precio de la energía, valor de la inversión y costos de operación y mantenimiento. El trabajo finaliza con conclusiones y recomendaciones.

2. LA CASA EFICIENTE EN EL USO DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

En Chile, la región de Coquimbo destaca por la gran pureza de sus cielos, con más de 300 días despejados al año e índices de 75% de transparencia atmosférica media (Pereda, 2005). Además, la región de Coquimbo posee una ruralidad muy elevada (20% comparado con el 13% a nivel nacional, de acuerdo la encuesta CASEN para el año 2006), con una cobertura eléctrica de sólo el 79% (Covarrubias, Irarrázaval & Galaz, 2005). A partir del Programa de Electrificación Rural (PER), la región de Coquimbo contaba con el mayor número de viviendas que se abastecían de electricidad con Sistemas Fotovoltaicos del país, con un total de 1043 viviendas (Leiva, Herrera & Bolocco, 2008).

Para este estudio se seleccionaron como caso de estudio las ciudades de Coquimbo y Ovalle, que representan al sector costero e interior de la región respectivamente, y cada una es capital de una de las provincias de la región. La **Tabla 1** muestra que dada la mayor radiación solar media en la ciudad de Ovalle, un mismo equipo fotovoltaico tendrá un mayor rendimiento en el interior que en la costa.

Tabla 1
Informe de radiación para la ciudad de Coquimbo y Ovalle
(Mega Joules y kilovatios-hora por metro cuadrado)

Año / Unidad de Medida	Coquimbo		Ovalle	
	MJ/m ²	KWh/m ²	MJ/m ²	KWh/m ²
2009	17,36	4,82	20,99	5,83
2010	16,58	4,61	20,59	5,72
Promedio	16,97	4,71	20,79	5,78

Fuente: Ministerio de Energía, 2012.

El requerimiento medio de energía de una familia típica en Chile parece estar bien caracterizado. El consumo promedio de electricidad domiciliaria para el sector urbano es de 148 kWh/mes y el rural de 125kWh/mes, es decir unos \$14.991/mes y \$13.726/mes, respectivamente (Ministerio de Desarrollo Social, 2006). Estimaciones muestran que en un hogar típico de Chile sólo tres artefactos representan el 70% del consumo total de energía: refrigerador 29%, televisión 12%, iluminación 24%, y aparatos en "stand by" 10% (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2010). También existen listados extensivos con estimaciones del consumo de electrodomésticos para la vivienda según tipo de electrodoméstico y horas de uso (Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2006). El tamaño medio de la vivienda de la región es de 66m², con un número medio de 4,3 de habitantes por hogar (Comisión de Estudios Habitacionales y Urbanos, 2011).

Una casa eficiente en el uso de energía eléctrica reemplaza parcialmente el consumo energético actual por energía fotovoltaica. Este reemplazo se traduce en reducir el consumo a niveles que aseguran un mínimo de funcionalidad en el hogar. La **Tabla 2** muestra la estimación realizada por los autores producto de reducir el consumo a mínimos razonables, considerando tanto el número de aparatos de cada tipo, la potencia y las horas de uso. Esto se traduce en un requerimiento de 72,9 kWh por mes, lo que denominamos "consumo nivel base" de la vivienda eficiente.

Tabla 2
 Consumo eléctrico fotovoltaico de la vivienda eficiente: base

	Horas de uso diario	Potencia (Watts)	Consumo diario (Wh)	Consumo Mensual (kWh)
Iluminación Living	5	20	100	3,0
Iluminación Cocina	4	20	80	2,4
Iluminación Baño	2	20	40	1,2
Iluminación Habitación 1	1	20	20	0,6
Iluminación Habitación 2	1	20	20	0,6
Entretención radio	2	60	120	3.6
Entretención televisor	4	100	400	12.0
Conservación de Alimentos (refrigerador)	3	400	1200	36.0
Quehaceres domésticos (lavadora)	1.14	395	450	13,5
Consumo Mensual total				72,9

Fuente: Elaboración propia, basado en la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2006.

La vivienda eficiente posee el nivel base de eficiencia de 0%. Los ahorros que se generen a partir del nivel base representan incrementos en los niveles de eficiencia. Mientras mayor sea la eficiencia, menor consumo, y menor la energía fotovoltaica requerida. La [Tabla 3](#) muestra que los niveles de eficiencia considerados van desde 0% a 50%, y los consumos asociados en los distintos usos.

Tabla 3
 Consumo eléctrico fotovoltaico y eficiencia energética

Nivel de Eficiencia	Iluminación Diaria (Wh)	Entretención Diaria (Wh)	Alimentación Diaria (Wh)	Quehaceres Domésticos Diarios (Wh)	Total Diario (Wh)	Total Mensual (kWh)
0%	260,00	520,00	1200,00	450,00	2430,00	72,9
10%	233,33	466,67	1080,00	406,67	2186,70	65,6
20%	206,67	416,67	960,00	360,00	1943,30	58,3
30%	183,33	363,33	840,00	316,67	1703,30	51,0
40%	156,67	313,33	720,00	270,00	1460,00	43,7
50%	130,00	260,00	600,00	226,67	1216,70	36,5

Fuente: Elaboración propia

En lo que sigue, se definen los equipos fotovoltaicos necesarios para satisfacer los requerimientos anteriores.

3. ASPECTOS TÉCNICOS

Los elementos que constituyen la inversión requerida en equipo fotovoltaico típico para una conexión aislada son fundamentalmente cuatro: paneles solares, baterías, inversores de corriente y controladores de carga. Para estimar la dimensión global del sistema se requiere estimar el consumo de energía diario (Wh) y el tiempo de autonomía mínimo. En nuestro caso éste se determinó en 3 días de autonomía, es decir sin radiación solar el día previo, incluyendo un porcentaje de seguridad de 25% debido al desgaste de paneles y baterías, y suciedad sobre el panel, pérdidas por el cableado, e imprecisión de los datos.

a) **Baterías:** Acumulan la energía que se produce en los paneles. Se consideran baterías de ciclo profundo AGM de 100 Ah y 12 volts, las que soportan mejor los ciclos de carga-descarga, y pueden proveer de energía durante 20 horas continuas. La capacidad de la batería (amperaje-hora) viene dado por:

$$CB = \frac{[Ce \times (1 + FS)] \times D}{T}$$

donde FS = factor de seguridad, Ce = consumo de energía diario (Wh), D = días de autonomía y T = tensión de alimentación. Por ejemplo, si el consumo de energía diario es de 320 Wh, los días de autonomía son 3, el factor de seguridad 0,25 y la tensión de alimentación de 12 V, entonces: $CB = \frac{[320 \times (1 + 0,25)] \times 3}{12} = 100 \text{ Ah}$. En este caso, si la batería es de 100 Ah, solo se necesitaría una unidad. La Tabla 4 muestra los requerimientos de baterías resultantes para las distintas categorías y niveles de eficiencia mostrados anteriormente en la Tabla 3.

Tabla 4
 Número de baterías de 100Ah requeridas
 por nivel de eficiencia y categoría de consumo

Nivel de Eficiencia	Iluminación	Entretención	Alimentación	Quehaceres Domésticos	Total Baterías
0%	1	2	4	2	8
10%	1	2	4	2	7
20%	1	2	3	2	7
30%	1	2	3	1	6
40%	1	1	3	1	5
50%	1	1	2	1	4

Fuente: Elaboración propia

b) **Paneles solares:** Transforman la radiación solar en energía eléctrica. Se consideran paneles policristalinos de 140 W. A partir del consumo diario (Wh) y los datos de radiación, se puede estimar la energía que generan los paneles, y cuál es el

número de paneles que se requerirán. El procedimiento se puede resumir como sigue (Gobierno de Canarias, 2002):

1. Determinar el consumo de carga (Watios/hora), el tiempo diario de funcionamiento del equipo (Horas/día), calculando el consumo total diario ($CdR = (\text{Consumo de Carga}) \times (\text{Tiempo funcionamiento equipo fotovoltaico})$), y el consumo diario del equipo fotovoltaico; $CdFV = CdR / \text{Tensión de alimentación}$.
2. Obtener datos de radiación en Hora pico solar (H.P.S.) y de amperios (A) que entrega el panel, y calcular energía generada por panel (en Amperes/hora/día): $Ep = (\text{Radiación en H.P.S.}) \times (\text{Amperios del panel})$
3. Calcular numero de paneles ($PFV = CdFV / Ep$), y agregar un Factor de Seguridad (FS, en %); $PFV = (CdFV \times [1+ FS]) / Ep$

Como se puede observar en la Tabla 5, los cálculos resultan en un requerimiento de un mayor cantidad de paneles solares en el borde costero debido a su menor radiación solar.

Tabla 5
Paneles solares de 140W requeridos según niveles de eficiencia.

Nivel de eficiencia	Número de Paneles Solares	
	Sector Costa	Sector Interior
0%	11	9
10%	9	8
20%	7	6
30%	6	5
40%	4	4
50%	3	3

Fuente: Elaboración propia.

c) **Inversores de corriente.** Convierten la corriente continua de las baterías en corriente alterna, lo que permite el uso de artefactos que funcionan con 220V. Se consideran inversores de onda sinusoidal pura COTEK SK2000-112, potencia máxima de 2000W y eficiencia máxima de 91.0%.

d) **Controladores de Carga.** Regulan la carga de las baterías, evitando la sobrecarga y disminución en su vida útil. Se considera un controlador de carga modelo Phocos MPS80, máxima corriente de carga de 80A.

4. ASPECTOS ECONÓMICOS.

La Tabla 6 muestra la vida útil de los componentes del equipo, apreciándose que son los paneles fotovoltaicos los que tienen mayor duración, lo que sugiere que el horizonte de evaluación del sistema en conjunto sea de 25 años. A continuación se estima la inversión inicial y el costo de operación periódico requerido para la casa de una familia típica en el borde costero y del interior.

a) **Inversiones y Reinversiones:** El valor de adquisición de los equipos que componen la inversión se detallan en la Tabla 6. Los precios relevantes incluyen el Impuesto al Valor Agregado (IVA) ya que los usuarios son consumidores finales.

Tabla 6
 Valor de las Inversiones del equipo fotovoltaico, en pesos chilenos

Elementos	Vida útil (en años)	Precio Unitario, con IVA
Panel fotovoltaico	25 años	\$ 139.000
Batería	4 a 8 años	\$ 89.000
Inversor	10 años	\$ 450.000
Controlador de carga	20 años	\$ 155.000

Fuente: Elaboración a partir de cotizaciones de SOLENER S.A., DIGISHOP Ltda. y ANTUNSOLAR Ltda. (2010)

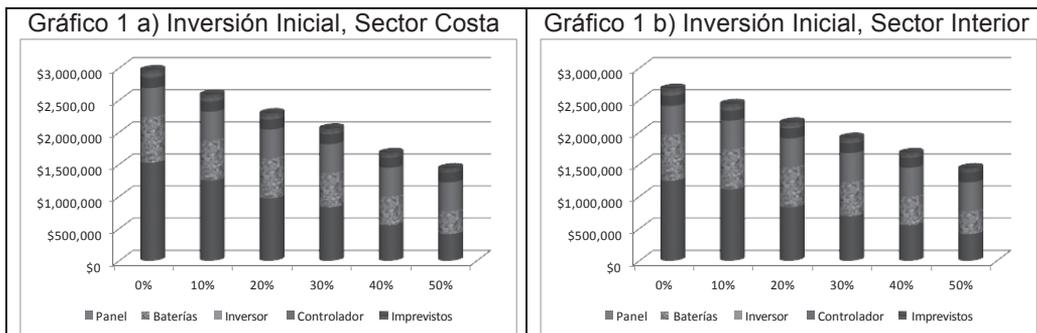
Los Gráficos 1a y 1b muestran la participación de los componentes en la inversión inicial, incluyendo imprevistos del 4% para todos los casos. Puede notarse que a menor eficiencia, los paneles solares representan prácticamente la mitad de la inversión, seguido por las baterías. Tal como se esperaba, en términos generales en la costa existe un mayor requerimiento debido a la menor radiación solar.

Respecto a las reinversiones, en un horizonte de 25 años existen requerimientos de baterías, inversores y controladores de carga (se excluyen los paneles). La Tabla 7 muestra las estimaciones para el caso de las baterías, destacando su alto costo relativo si se las compara con el total de inversiones iniciales. De este modo, comparativamente las reinversiones son un factor que representa un muy alto requerimiento en la implementación y operación del sistema, y el componente de mayor significancia son las baterías.

Tabla 7
 Proyección de reinversiones en baterías según nivel de eficiencia.

Eficiencia	Cantidad	Valor Por Reinversión	Total de Reinversiones a 25 años
0%	8	\$ 712.000	\$ 2.136.000
10%	7	\$ 623.000	\$ 1.869.000
20%	7	\$ 623.000	\$ 1.869.000
30%	6	\$ 534.000	\$ 1.602.000
40%	5	\$ 445.000	\$ 1.335.000
50%	4	\$ 356.000	\$ 1.068.000

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia

b) Costos de operación y Mantenimiento: El mantenimiento básico permite mantener el rendimiento del equipo a través del tiempo. Este mantenimiento comprende limpiar la cubierta del panel cada dos meses, verificar que no haya terminales flojos ni rotos, podar árboles que puedan provocar sombra, y de una inspección visual para verificar ventilación y protección de la intemperie. Los costos de mantención anual para el equipo se estiman en mano de obra (6 mantenciones de 3 horas cada una, cada 2 meses) con valores de \$35.118 anual en la costa, y de \$25.920 en el interior, más un costo anual por la visita de un especialista una vez al año por \$25.000, y finalmente Insumos por \$ 12.000 al año, principalmente agua destilada e insumos para la limpieza. Con esto, el valor anual correspondiente a mantenciones para un proyecto fotovoltaico Costero es de \$72.118 y en el Interior de \$62.920.

c) Ahorro por Generación de energía fotovoltaica: El sistema representa ahorros para los usuarios. La Tabla 8 muestra la cantidad de energía generada (kWh) generada por el sistema fotovoltaico valorada a la tarifa del proveedor local (CONAFE), pudiendo notarse que en realidad el ahorro energético representa magnitudes poco significativas, lo que lleva a pensar que el sistema difícilmente podrá ser rentable desde el punto de vista de una familia en particular.

Tabla 8
 Ahorros derivados de la implementación del equipos fotovoltaico

Nivel de eficiencia	N° de kWh fotovoltaicos Generados (Mensual)	N° de kWh fotovoltaicos Generados (Anual)	Costa		Interior	
			Ingreso mensual (en pesos)	Ingreso anual (en pesos)	Ingreso mensual (en pesos)	Ingreso anual (en pesos)
0%	72,91	874,91	\$ 10.672	\$ 128.059	\$ 11.380	\$ 136.556
10%	65,62	787,42	\$ 9.604	\$ 115.253	\$ 10.242	\$ 122.900
20%	58,33	699,93	\$ 8.537	\$ 102.448	\$ 9.104	\$ 109.245
30%	51,04	612,44	\$ 7.470	\$ 89.642	\$ 7.966	\$ 95.589
40%	43,75	524,94	\$ 6.403	\$ 76.836	\$ 6.828	\$ 81.933
50%	36,45	437,45	\$ 5.336	\$ 64.030	\$ 5.690	\$ 68.278

Fuente: Elaboración propia.

Los Flujos de Fondos anuales fueron elaborados en un horizonte de 25 años, tanto para el sector costa como para el interior. Como ingresos fueron considerados los ahorros calculados en el apartado anterior. También se consideró las inversiones totales, y se incluyen en el estudio las estimaciones por capital de trabajo y las recuperaciones de las inversiones (valores residuales) al final del horizonte de evaluación.

MEDIDAS DE CONVENIENCIA ECONOMICA

Con el fin de obtener estimadores de la conveniencia de implementar proyectos fotovoltaicos, se considera que el inversionista corresponde a una familia típica. La metodología estándar de evaluación económica requiere la proyección de flujos de caja, y a partir de éstos obtener indicadores de conveniencia, tales como el Valor Actual Neto, el Período de Retorno de la Inversión, y la Tasa Interna de Retorno.

a) Tasa de descuento: Para una familia típica se asume que parte de los desembolsos para financiar el proyecto se financiarán con algún tipo de crédito de consumo. En este caso, la tasa de descuento a usar es una versión del Costo de Capital Promedio Ponderado (WACC, Weighted Average Cost of Capital), una tasa que mide el coste de capital utilizado en el proyecto, dado por una media ponderada entre los recursos propios y ajenos, excluyendo cualquier beneficio tributario de la deuda, ya que en Chile éstos beneficios son sólo aplicables a empresas. Es decir,

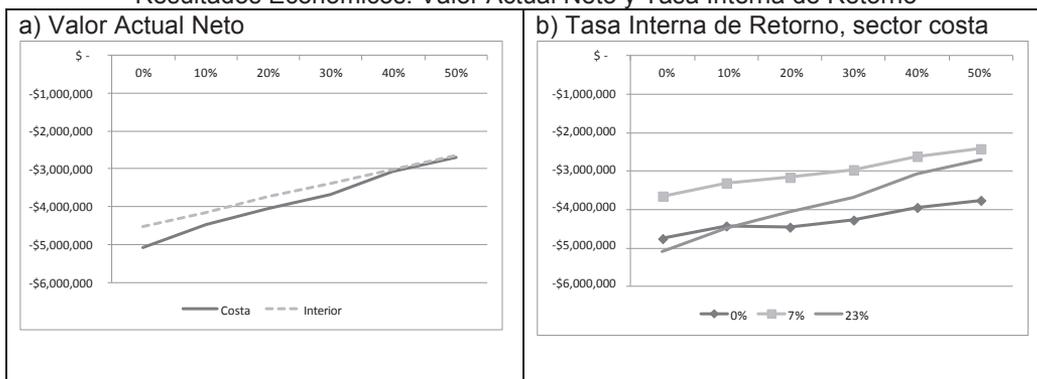
$$WACC = k_d \left(\frac{Deuda}{Deuda + Patrimonio} \right) + k_p \left(\frac{Patrimonio}{Deuda + Patrimonio} \right)$$

k_d es la tasa de costo de la deuda, y k_p es la tasa de costo del patrimonio o de los recursos propios del inversionista.

Para determinar el costo de oportunidad del patrimonio o capital propio se consideraron los depósitos a plazo como la alternativa equivalente, y en particular la tasa promedio anual ofrecida actualmente por los bancos de Chile es de 7,25% (Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras, 2012). Para el costo de la deuda, las tasas de los créditos de consumo para montos inferiores o iguales al 200 UF actualmente en Chile son del orden del 38,24% anual, y esta es la tasa que usamos como el costo de la deuda. Para el cálculo del WACC se usaron proporciones iguales de 50% para la deuda y el patrimonio respectivamente. Dado lo anterior, la tasa de descuento promedio ponderada será de 22,7%.

Tres son los estimadores de conveniencia económica usados en este estudio. Los resultados se presentan a continuación. En primer lugar, el Período de Recuperación de la Inversión (PRI) reflejó que no se logra recuperar la inversión inicial en ninguno de los casos. Esto se debe principalmente a la magnitud de la inversión inicial, los ahorros anuales limitados y el importante efecto negativo que producen las reinversiones. El Gráfico 2a) resume las estimaciones del Valor Actual Neto (VAN) calculado a la tasa de descuento WACC en un horizonte de 25 años. Se puede apreciar que para ambos sectores el VAN es claramente negativo en todos los escenarios, y que es aún más negativo en el sector costero. El Gráfico 2b) muestra el efecto de la tasa de descuento sobre el VAN, apreciándose que la Tasa Interna de Retorno (TIR) queda indeterminada matemáticamente a las tasas de descuento reales usuales. Además, se puede observar que aún reduciendo el WACC a cero el VAN sigue siendo negativo en todos los casos. De esta manera, para la situación base podemos resumir que en de acuerdo al criterio del VAN, actualmente no se dan las condiciones de factibilidad económica para la implementación de equipos fotovoltaicos, tanto para los casos del sector costa e interior. Sin embargo, es importante analizar cuales serían los cambios en algunos de los parámetros clave, que pudieran llevar a generar un escenario más optimista.

Gráfico 2
Resultados Económicos: Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno



Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

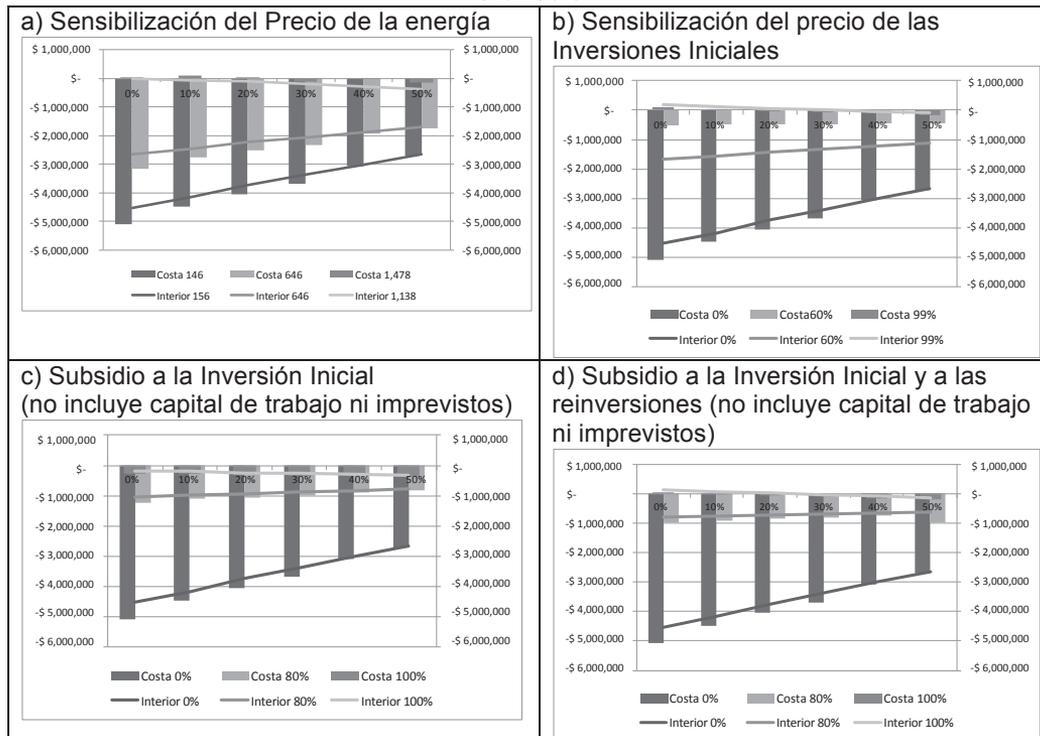
A continuación se analizan algunas condiciones que podrían hacer que este tipo de proyectos fotovoltaicos sean factibles para la familia típica.

a) *Precio de la energía:* El precio de la energía está expuesto a variaciones por sobre-consumo en temporada de invierno, o reajustes en el precio del kWh. El Gráfico 3a), muestra que en el nivel de eficiencia de 0% el proyecto comienza a ser factible cuando se sobrepasa la brecha de los \$1.478/kWh en la costa y de \$1.138/kWh en el interior. Son cifras bastante altas para la realidad actual. Además en los niveles de mayor eficiencia (50%), si bien el efecto que produce el aumento del precio de la energía es positivo en cuanto al VAN, el efecto es mucho menor, ya que al producir menos kWh, se reduce el efecto ante una variación de su precio, por lo que el aumento en este caso el precio de la energía debería ser aún más alto.

b) *Valor de las inversiones:* El Gráfico 3b) muestra que una disminución de un 60% en el valor de las inversiones a lleva que el VAN siga siendo negativo, pero en menor magnitud. Incluso al disminuir un 80% el valor de las inversiones el VAN sigue siendo negativo, aunque se aproxima bastante a 0. Para que el VAN comience a ser factible, las inversiones debiesen disminuir un 99% de su valor actual, una cifra bastante improbable, y aún de ser así, sólo sería factible para los niveles de menor eficiencia.

c) *Subsidios Gubernamentales:* En Chile no existen muchos subsidios al uso de Energías Renovables No Convencionales para las familias, aunque se puede destacar una franquicia tributaria a empresas constructoras que instalen paneles térmicos solares para calentar agua en viviendas nuevas. En el Grafico 3c) se muestra que luego de otorgar un subsidio que cubra hasta un 100% de la inversión inicial, el VAN en todos los caso sigue siendo negativo. También es posible analizar la posibilidad de ampliar el subsidio para que cubra la inversión inicial y también las reinversiones. Como resultado, el Gráfico 3d) muestra que los subsidios de hasta un 90% no logran reunir las condiciones de factibilidad. Para el sector interior con un 100% de subsidio, el VAN comienza a ser positivo para algunos niveles, aunque si bien es bajo, es uno de los escenarios más favorables que se ha encontrado.

Gráfico 3



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este estudio se analizaron algunas de las condiciones para que una familia típica del sector urbano y rural de la Región de Coquimbo-Chile, pudiera implementar un sistema fotovoltaico, en distintos niveles de eficiencia en su consumo energético. Si bien es cierto que la eficiencia reduce el consumo energético a partir de los niveles actuales, también existe cierta flexibilidad para determinar en qué ítems de energía se quiere restringir. La restricción será siempre menor en el sector rural, ya que posee un consumo base promedio menor que el sector urbano. Los antecedentes mostraron que en el sector interior de la región se encuentran mejores condiciones, dado un nivel de radiación solar más alto que el del sector costero, originado principalmente por la mayor cantidad de horas pico solar y la menor cantidad de días de nubosidad.

Una vez determinados los niveles de eficiencia y las características técnicas del equipo fotovoltaico, se definieron los requerimientos para cada nivel de eficiencia, es decir el número de paneles solares y baterías a utilizar. Para generar la misma energía el sector costero requiere de hasta 2 paneles adicionales y un número de baterías de hasta el doble, en comparación con la costa. Todo esto explica las diferencias en los niveles de inversión que alcanzan el valor de hasta \$1.100.000 para los paneles solares en el sector costero, y una diferencia sobre los \$300.000 para las baterías. En cuanto al sector interior, las diferencias entre los mismos niveles de

eficiencia alcanzan sus valores más altos en los \$800.000 aproximadamente, valor menor a lo expuesto para el sector costero.

Los precios de los componentes de los sistemas fotovoltaicos son elevados, especialmente las baterías. Esto lleva a que las reinversiones necesarias sean un desembolso incluso mayor que la misma inversión inicial. Los ingresos (ahorros) derivados de los proyectos fotovoltaicos resultan de los kWh de energía fotovoltaica generada y reemplazada. La diferencia entre estos ahorros por nivel de eficiencia y localización, mostraron importantes diferencias de acuerdo a los niveles de eficiencia. A partir de lo anterior se proyectaron los flujos de efectivo y los estimadores de conveniencia económica.

El estudio permitió concluir que en la situación actual el VAN es negativo en todos los casos evaluados, existiendo pequeñas diferencias entre el sector interior y costa. También se obtuvo que no se recupera la inversión en ningún horizonte de evaluación. En general, los resultados son desalentadores para todos los casos. El valor de la inversión inicial, las reinversiones, los gastos fijos, la poca capacidad de generar ingresos por medio del equipo fotovoltaico y el precio de la energía son los factores principales a destacar en los problemas de factibilidad económica de este tipo de ERNC. Se trata de inversiones con valores muy altos, que hacen difícil que una familia promedio pueda invertir, implementar y mantener en el largo plazo.

Se analizaron algunos factores que pudieran hacer factible la implementación del sistema. En primer lugar, el precio de la energía debería aumentar o sobrepasar en promedio los \$1.200/kwh para comenzar a generar escenarios factibles de implementación, lo cual parece bastante improbable, dado que los niveles actuales de hoy no superan los \$200/ kWh en la región. En cuanto al valor de las inversiones iniciales, éstas superan los \$3.000.000, aún en los niveles más bajos de eficiencia, es decir en los casos de baja generación de energía fotovoltaica, donde no se requiere de una gran infraestructura. También se analizó el efecto de subsidios a la inversión y reinversiones, obteniendo que con subsidios de 100% sobre el total de la inversión, estimadores como el VAN seguían siendo negativos. Esto implica que aun cuando se entregaran los equipos fotovoltaicos y se financiara la implementación en un 100% a una familia típica, estos proyectos improbablemente sean mantenidos en el largo plazo por estas familias, lo que se explica fundamentalmente por los altos costos de operación, incluidas las reinversiones y mantenciones. Es más. Aunque los equipos fueran entregados en forma de subsidios y quedaran en completa propiedad de las familias, existirá un claro incentivo a discontinuar la iniciativa al momento de que sea necesario realizar las reinversiones. Esto se explica por el hecho de que aún cuando se entreguen subsidios totales para las reinversiones, los resultados del VAN siguen siendo negativos, sin lograr cubrir los costos de mantención y operación, siendo más conveniente para una familia que ha recibido un subsidio de este tipo el liquidar los equipos y dar a ese dinero un uso alternativo, que mantener el sistema operativo. En resumen, actualmente no se presentan las condiciones que hagan económicamente factible la implementación de proyectos de uso eficiente de la energía fotovoltaica para familias con las características típicas definidas en este estudio, a menos que, claro está, dicha familia no disponga de otra alternativa.

REFERENCIAS

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2006). Guía de consejos prácticos para el uso de energía. Santiago: Agencia Chilena de Eficiencia Energética. Obtenido de <http://www.acee.cl/>

Comisión de Estudios Habitacionales y Urbanos (2011). Ciudades con Calidad de Vida. Diagnósticos Estratégicos de Ciudades Chilenas. Informe de Diagnóstico Base: La Serena - Coquimbo. Santiago: Gráfica LOM.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (2010). Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial. Santiago: Cámara Chilena de la Construcción.

Covarrubias, F., Irrarrázaval, I. & Galáz, R. (2005). Programa de Asistencia a la Gestión del Sector de la Energía: Desafíos de la Electrificación Rural en Chile. Washington, D.C.: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.

Gobierno de Canarias (2002). Instalaciones de Energías Renovables: Instalaciones Fotovoltaicas. Dirección General de Industria y Energía. Documento de Divulgación.

Guzmán, P. (2011). Impacto Económico y Social de la Energía Solar Fotovoltaica Residencial en el Norte de Chile. Proyecto de Título. Santiago: Universidad Mayor.

Leiva, R., Herrera, C. & Bolocco, R. (2008). Estudio de contribución de ERNC al SIC al 2025. Informe Final. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.

Ministerio de Desarrollo Social de Chile (2006). Resultados de la última Encuesta Casen. www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen.

Ministerio de Energía de Chile (2012). Informe de Evaluación del Recurso Solar, Chile. Obtenido de <http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/>

Ministerio del Interior (2005). Informe Final: Programa de electrificación Rural. Santiago: Ministerio del Interior. www.dipres.gob.cl

Pereda, I. (2005). Celdas fotovoltaicas en generación distribuida. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial Mención Electricidad. Pontificia Universidad Católica De Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Santiago

Superintendencia de Bancos e Instituciones Financieras. (2012). Tasa de Interés Corriente y Máxima Convencional. <http://www.sbif.cl>.