

**ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA A RESIDENCIAS EN EL ÁREA
SUR Y SUROESTE DE PUERTO RICO**

Por

Eyad Ali Fares

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de

MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

en

FINANZAS

**UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ**

Mayo, 2008

Aprobado por:

Gerson Beauchamp, Ph.D
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Rosario Ortiz, M.S
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Loida Rivera, Ph.D
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Agustín Irizarry, Ph.D
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Yolanda Ruiz, Ph.D
Decana Asociada de Investigación
y Asuntos Graduados

Fecha

Abstract of Thesis Presented to the Graduate School
of the University of Puerto Rico in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree of Master of Business Administration

**ECONOMIC ANALYSIS TO IMPLEMENT PHOTOVOLTAIC
TECHNOLOGY AT HOUSEHOLDS IN SOUTH-SOUTHWEST
PUERTO RICO**

Por

Eyad Ali Fares

May 2008

Chair: Loida Rivera Ph.D
Major Department: Business Administration

This study analyzed the economic feasibility of investing in photovoltaic technology at households in south-southwest Puerto Rico. There have been no mass implementation of this type of technology in Puerto Rico. A questionnaire was handed out to 342 Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA) customers to determine the average monthly electricity consumption, and to estimate the cash flow generated with the photovoltaic system. Economic feasibility was measured using the Internal Rate of Return (IRR).

The cash flow of a 2kW and 5kW of installed photovoltaic capacity was found and the IRR for each case was measured. It was found that it is not economically feasible to invest in photovoltaic technology in Puerto Rico at this point in time. Several public policy recommendations on how to make it economically feasible to invest in this type of technology were presented.

Resumen de Tesis Presentado a la Escuela Graduada
de la Universidad de Puerto Rico como requisito parcial de los
Requerimientos para el grado de Maestro en Administración de Empresas

**ANÁLISIS ECONÓMICO PARA LA IMPLANTACIÓN DE LA
TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA A RESIDENCIAS EN EL ÁREA
SUR Y SUROESTE DE PUERTO RICO**

Por

Eyad Ali Fares

Mayo 2008

Consejero: Loida Rivera Ph.D
Departamento: business Administration

En esta investigación se analizó la viabilidad económica de aplicar la tecnología fotovoltaica a residencias en el sur y suroeste de Puerto Rico. En Puerto Rico, no existe una implementación en masa de esta tecnología. Se administró un cuestionario a 342 abonados de la AEE para determinar es el consumo promedio de energía eléctrica. Este promedio sería utilizado para determinar el flujo de efectivo generado por el equipo fotovoltaico.

Se determinó el flujo de efectivo de un sistema fotovoltaico de 2kW y de 5kW de capacidad instalada respectivamente y se determinó la tasa de rendimiento interna (IRR) de cada caso. Se encontró que actualmente no es económicamente viable invertir en sistemas fotovoltaicos en Puerto Rico. Se hicieron varias recomendaciones para política pública de cómo hacer viable y económicamente atractivo invertir en este tipo de tecnología.

Copyright © 2008

por

Eyad Ali Fares

Los lazos familiares suelen extenderse más allá de la sangre. Para toda mi familia,
les dedico este trabajo, que es el producto del sacrificio y el desvelo.

Gracias.

Agradecimientos

Quiero comenzar por darle gracias al Señor Todo Poderoso, que me dió la sabiduría y el entendimiento para tomar el camino correcto y de poner en mi camino las personas que me brindaron la ayuda necesaria para desarrollar esta investigación.

Durante mis estudios graduados en la Universidad de Puerto Rico, varias personas dentro del Recinto Universitario de Mayagüez y fuera del recinto, colaboraron directamente con mi investigación, de forma tal que, ésta hoy es plasmada en blanco y negro.

Le doy gracias a la presidenta de mi Comité Graduado, Dra. Loida Rivera por ser mi guía. Quiero agradecer también al Dr. Gerson Beauchamp por su ayuda y dedicación y por aceptar este reto. Agradezco también la Profesora Rosario Ortiz por su ayuda durante mis estudios en el RUM y por su profesionalismo.

Un agradecimiento muy especial dirijo al Dr. Agustín Irizarry por interesarse en esta investigación, por su dedicación, y por brindar su importante contribución. Gracias también a los profesores Angela López, Hugo Burgos, Dr. Herminio Rodríguez y al profesor Rafael Balzac por dedicar de su tiempo y esfuerzo.

A todos los que de alguna forma me brindaron su ayuda, Gracias.

Índice

	<u>Página</u>
Abstract English	II
Resumen En Español	III
Agradecimientos	VI
Índice de cuadros	X
Índice de figuras	XII
Lista de Abreviaturas	XIV
1. Introducción	1
1.1. Tecnología Fotovoltaica	3
1.1.1. Naturaleza del Producto	4
1.1.2. Componentes	5
1.2. Iniciativa Tecnológica en los EE.UU.	8
1.2.1. Caso del Estado de California	8
Incentivos Económicos Estatales	9
Incentivos Económicos Federales	9
1.2.2. Caso del Estado de Florida	10
Incentivos Económicos Estatales	10
1.3. Asuntos Ambientales	11
1.3.1. Contaminantes del Aire	11
1.4. Radiación Solar	13
1.5. Modelo de Conversión de Energía Fotovoltaica	14
1.6. Herramientas de Investigación	17
1.7. Área Geográfica de Interés	18
2. Revisión de Literatura	19
2.1. Estudio de Caso de Canadá	24
2.2. Estudio de Caso de Europa	26
2.3. Iniciativa Tecnológica en Países en Desarrollo	28
2.4. Iniciativa Tecnológica en Puerto Rico	29
2.5. Costo de Energía en Puerto Rico	32

3.	Justificación y Objetivos de la Investigación	33
3.1.	Justificación	33
3.1.1.	Beneficio Económico del Sistema Fotovoltaico	35
3.2.	Objetivos	36
4.	Metodología de la Investigación	37
4.1.	Metodología	37
4.2.	Métodos Principales para Llevar a Cabo Análisis Económicos	38
4.3.	Valor Presente Neto	39
4.4.	Tasa de Rendimiento Interna	40
4.5.	Período de restitución	41
5.	Conocimiento y Aceptación de los Abonados de la AEE de la Tecnología Fotovoltaica	42
5.1.	El instrumento	46
6.	Hallazgos de los Análisis	48
6.1.	Análisis Económico	48
6.1.1.	Determinación del beneficio económico y el IRR deseado utilizando Microsoft Excel	52
6.1.2.	Estimado de Costo y Ahorro para un Sistema Fotovoltaico de 2kW de capacidad instalada y pagos de interés no deducibles	54
6.1.3.	Flujos de Efectivo con un Sistema Fotovoltaico de 2kW	55
6.1.4.	Estimado de Costo y Ahorro para un Sistema Fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada	59
6.1.5.	Flujos de Efectivo con un Sistema Fotovoltaico de 5kW	60
6.2.	Análisis del Cuestionario	64
6.2.1.	Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y la Variable de Ingreso	64
6.2.2.	Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y la Variable de Pago Mensual Promedio por Energía Eléctrica	66
6.2.3.	Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y el Nivel de Satisfacción con la AEE	68
6.2.4.	Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y Confianza en Mejoras en la AEE	70
6.2.5.	Correlación Entre Variables	72
6.2.6.	Análisis de Histogramas	72
7.	Hallazgos, Conclusiones y Recomendaciones	86
7.1.	Hallazgos	87

7.2.	Conclusiones	87
7.3.	Recomendaciones para Política Pública	90
7.4.	Limitaciones y Recomendaciones para Estudios Futuros	92
	Apéndices	94
A.	Encuesta Utilizada	95
B.	Gráficas del Promedio de Días Sin Sol	101
C.	Programa Javascript Utilizado Para Determinar el Tamaño de la Muestra	108
	C.1. Declaración de Variables	108
	C.2. Programa Javascript	109
D.	Itinirarios de Flujo de Efectivo	111

Índice de cuadros

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
1-1. Resumen del National Solar Radiation Database para Puerto Rico en un periodo de 30 años	16
1-2. Pueblos de Mayor Radiación Solar de Puerto Rico	18
5-1. Total de personas encuestadas según datos del Censo de la Población del año 2000	47
6-1. Detalles del Pago de Préstamo para un Sistema Fotovoltaico de 2kW .	54
6-2. Flujo de Efectivo Actual de un Sistema de 2kW	55
6-3. Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 2kW	56
6-4. Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 2kW Sin Pagos de Interests	58
6-5. Detalles del Pago de Préstamo para un Sistema Fotovoltaico de 5kW .	59
6-6. Flujo de Efectivo Actual de un Sistema de 5kWh	60
6-7. Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 5kW	61
6-8. Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 2kW Sin Pagos de Intereses	62
6-9. Variable Respuesta versus Ingreso	64
6-10. Variable Respuesta versus Pago por Energía	66
6-11. Variable Respuesta versus Satisfacción con la AEE	68
6-12. Variable Respuesta versus Confianza en la AEE	70
D-1. Datos Meteorológicos y Económicos Actuales en Puerto Rico	111
D-2. Itinerario de Flujo de Efectivo para un Sistema Fotovoltaico de 2kW de Capacidad Instalada	112

D-3. Itinerario de Flujo de Efectivo para un Sistema Fotovoltaico de 5kW
de capacidad instalada. 113

Índice de figuras

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1-1. Célula fotovoltaica	4
1-2. Ciclo de vida de la energía solar recolectadas por las placas fotovoltaicas	5
1-3. Placas fotovoltaicas	6
1-4. Inversor de corriente	7
1-5. Mapa de Puerto Rico Mostrando el Área Geográfica de Estudio	18
2-1. Precios Históricos del Petróleo	32
5-1. Correlación Lineal Negativa	43
5-2. Correlación Lineal Positiva	43
5-3. Falta de Correlación Lineal	44
6-1. Sexo	73
6-2. Edad	73
6-3. Estado Civil	74
6-4. Ocupación	75
6-5. Nivel de Educación	76
6-6. Ingreso Bruto Anual	76
6-7. Residencia	77
6-8. Cantidad Mensual Promedio de su Factura de Luz	78
6-9. Nivel de Satisfacción con la AEE	79
6-10. Usted Cree que la AEE	80

6-11.Comparación del Costo de Energía Eléctrica con el Servicio de la AEE	80
6-12.El Costo de Energía Eléctrica en Puerto Rico es:	81
6-13.Pérdidas de Electrodomésticos por Fallas de Voltaje	82
6-14.Conoce el Concepto de Energía Renovable	82
6-15.Conocimiento Sobre la Tecnología Fotovoltaica	83
6-16.Disposición a Invertir en un Sistema Fotovoltaico	84
6-17.Beneficio Económico de la Legislación Actual	84
6-18.¿Favorece que se Enmiende la Ley Actual con Respecto a la Tecnología Fotovoltaica?	85
B-1. Promedio de días sin sol para el mes de enero	101
B-2. Promedio de días sin sol para el mes de febrero	102
B-3. Promedio de días sin sol para el mes de marzo	102
B-4. Promedio de días sin sol para el mes de abril	103
B-5. Promedio de días sin sol para el mes de mayo	103
B-6. Promedio de días sin sol para el mes de junio	104
B-7. Promedio de días sin sol para el mes de julio	104
B-8. Promedio de días sin sol para el mes de agosto	105
B-9. Promedio de días sin sol para el mes de septiembre	105
B-10.Promedio de días sin sol para el mes de octubre	106
B-11.Promedio de días sin sol para el mes de noviembre	106
B-12.Promedio de días sin sol para el mes de diciembre	107

Lista de Abreviaturas

AAA	Autoridad de Acueductos y Alcantarillados
AC	Alternate Current
AEE	Autoridad de Energía Eléctrica
DC	Direct Current
DOE	Department of Energy of the United States of America
IRR	Internal Rate of Return
IRS	Internal Revenue Service
kWh	Kilowatt-hour, kilovatio-hora
MACRS	Modified Accelerated Cost Recovery System
NINV	Inversión neta inicial
NPV	Net Present Value
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NSRDB	National Solar Radiation Data Base
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
PBP	Payback Period - Período de Restitución
PM	Particulate Matter
PREPA	Puerto Rico Electric Power Authority
PV	Valor Presente

Capítulo 1

Introducción

El ser humano ha perseguido una tendencia de cambio para mejorar su estilo de vida actual, esto ha conducido a la humanidad hacia caminos que fluctúan desde lo fácil y obvio hasta lo abstracto e indefinido. Es precisamente el deseo de cambio que genera en el ser humano la curiosidad por buscar más allá del presente.

La tecnología fotovoltaica, o la generación de energía eléctrica mediante radiación solar, es un tema discutido desde tiempos en que se lanzan los primeros satélites artificiales al espacio. Esta tecnología ha demostrado ser eficiente en la generación de energía eléctrica para todas las necesidades de electricidad que requieren estos satélites.

La fascinación de la humanidad por el cambio y la constante mejoría dentro de aspectos que apliquen a usos prácticos de la realización de tareas en general, ha llevado a la aplicación práctica de la tecnología fotovoltaica a usos en escalas residenciales. Esta tecnología figura hoy como una opción alcanzable por consumidores de energía que aspiran a independizarse en cierta medida de la red eléctrica, disminuir el costo de energía y ayudar al ambiente.

El National Renewable Energy Laboratory (NREL), localizado en Golden, Colorado es uno de 22 laboratorios llamados *U.S. Department of Energy National Laboratories* del Departamento de Energía de Estados Unidos. Específicamente, el NREL tiene funciones que van dirigidas a encontrar mediante las investigaciones que lleva a cabo, recursos de energía renovable. Una base de datos muy importante llamada National Solar Radiation Data Base (NSRDB) recoge información en las 239 estaciones que tiene a través de Estados Unidos y sus territorios. El NREL cuenta con sistemas que monitorean el ambiente con el fin de conducir las investigaciones antes mencionadas y determinó lo siguiente:

- Desde el 1961-1990 Puerto Rico ha tenido una exposición a radiación solar de un promedio de $5.4 \text{ kWh}/m^2/\text{día}$ [1]
- Estados tales como California, Florida y Texas tienen una exposición similar a la de Puerto Rico
- La mayoría de los Estados Unidos tienen una exposición promedio menor a la de Puerto Rico

1.1. Tecnología Fotovoltaica

Existen varias opciones al momento de instalar un sistema fotovoltaico. Entre estas opciones y quizás las más utilizadas se encuentran las siguientes:

1. Sistema fotovoltaico conectado a la red de energía eléctrica, con reserva de carga por baterías
2. Sistema fotovoltaico conectado a la red de energía eléctrica, sin reserva de carga por baterías
3. Sistema fotovoltaico aislado totalmente de la red de energía eléctrica

Una persona que opte por instalar un sistema de energía solar puede escoger una de las opciones mencionadas anteriormente, que dependerá en gran parte de la preferencia del consumidor, del presupuesto disponible y de las opciones que esté buscando.

Para efectos de esta tesis, se hará énfasis primordial en el análisis de un sistema fotovoltaico conectado a la red de energía eléctrica, sin reserva de carga por baterías debido a los costos adicionales que supone invertir en el “banco” de baterías, y el costo económico y ambiental asociado a la disposición de las mismas. Se ha descartado hacer un análisis para un sistema fotovoltaico aislado totalmente de la red de energía eléctrica, ya que esto representa un nicho extremadamente pequeño y no representa la mayoría de las situaciones.

Se puede apreciar fácilmente que de las tres opciones, la que requiere menos desembolso inicial de dinero es la conecta el sistema solar a la red eléctrica y sin baterías de resguardo. Esto es natural ya que se evita el costo inicial de las baterías, mantenimiento, almacenaje de éstas, disposición y su eventual reemplazo. Las baterías envuelven otro costo al momento de ser deshechadas y el costo de disponer de las mismas, ya que éstas contienen entre otros, ácido, plomo y plástico. Debido a la naturaleza de esos componentes, las baterías deben ser deshechadas de una manera específica.

1.1.1. Naturaleza del Producto

La célula fotovoltaica, que está compuesta por semiconductores tipo P y tipo N, recibe los fotones de la radiación solar. Una vez la célula absorbe estos fotones, ocurre un proceso de excitación de partículas dentro de la célula con cargas positivas y negativas que se mueven dentro de éstas y es capaz de convertir esta reacción en electrones. Una vez se conecta un dispositivo a las placas cerrando así el circuito eléctrico, la electricidad fluye y electrifica el dispositivo, ya sea una bombilla, abanico o cualquier aparato electrodoméstico. Este proceso de conversión directa de energía solar a eléctrica produce una *corriente directa* o *Direct Current*, (DC) por sus siglas en inglés.

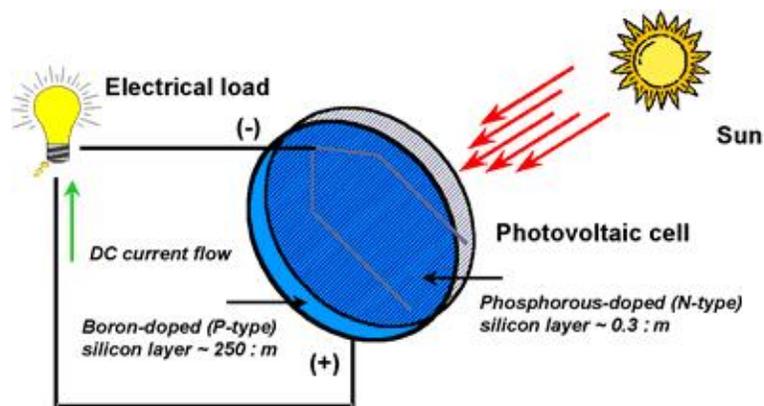


Figura 1-1: Célula fotovoltaica

La figura 1-1 ¹ muestra un modelo simplificado de este principio. Estas placas luego se conectan en conjunto para generar más capacidad eléctrica, para convertirse a corriente alterna o *Alternate Current*, (AC) por sus siglas en inglés. Una vez convertida a AC, puede usarse como fuente principal de energía eléctrica y operar cualquier equipo electrodoméstico.

¹ Adaptado del "Florida Solar Energy Center" [2]

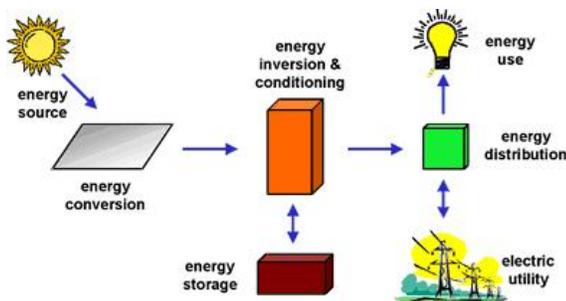


Figura 1-2: Ciclo de vida de la energía solar recolectada por las placas fotovoltaicas

En la figura 1-2² se puede plasmar el ciclo de vida de la energía eléctrica producida por una fuente fotovoltaica. Este diseño está conectado a la red eléctrica y tiene un “banco” de baterías para el almacenaje de energía eléctrica para uso en días nublados, durante la noche o mientras el servicio eléctrico esté interrumpido.

1.1.2. Componentes

El sistema fotovoltaico tiene varias partes que son esenciales para el funcionamiento adecuado del mismo. Entre estos equipos se encuentran los siguientes:

- **placas fotovoltaicas:** Es el componente principal y el más importante del sistema. Estas placas se conectan en conjunto para generar más energía eléctrica y usualmente se instalan en el techo de la edificación. De haber sombra en el techo por la presencia de árboles, estas placas se instalan en el patio o en un lugar de mejor exposición al sol. La figura 1-3 muestra un arreglo fotovoltaico que es el conjunto de todas las placas interconectadas, instalado en el patio de una residencia.
- **inversor de corriente:** La función principal de este sistema es convertir la corriente directa que se genera en las placas a corriente alterna para hacer funcionar los equipos electrodomésticos. También, existe la posibilidad de conectar el inversor al sistema eléctrico residencial. El inversor que se utiliza para conectar a la red tiene la capacidad de mantener el voltaje de salida en

² Adaptado del “Florida Solar Energy Center [2].



Figura 1-3: Placas fotovoltaicas

fase con el de la edificación. “In Phase” como suele llamárséle en inglés, es la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente y puede ser interpretado mediante movimiento armónico simple. Los inversores pueden tener configuración monofásica o trifásica. Es importante que el inversor sea de fase paralela con el sistema eléctrico de la edificación, ya que en caso de ocurrir una producción mayor de energía eléctrica a la consumida, pasar el exceso a la red eléctrica si el sistema está conectado a esta.

La figura 1-4 muestra un inversor de corriente para conectar a la red.

- **baterías de almacenaje:** en un sistema conectado a la red eléctrica, las baterías de almacenaje acumulan la energía que se produce con el sistema fotovoltaico para usarla durante la noche, en momentos de lluvia ó cuando se interrumpe el servicio de energía eléctrica. La capacidad de almacenaje de las baterías se mide con amperio-horas (amp-hr) por ejemplo, 1 amperio que se usa por una hora equivale a 1-amp horas. La capacidad de las baterías se muestra en amperios horas a cierto voltaje por ejemplo, 220 amp-hr a 10 voltios. Una batería de 220 amp-hr puede rendir 11 amperios por 20 horas. Las baterías que se utilizan para el sistema fotovoltaico se conoce como “deep



Figura 1-4: Inversor de corriente

cycle batteries”. Este tipo de baterías supe un voltaje consistente a medida que la batería se descarga, a diferencia de las baterías de arranque que suplen voltaje esporádico.

1.2. Iniciativa Tecnológica en los EE.UU.

Estados Unidos muestra un interés genuino por proveer alternativas de generación de energía que sean renovables o favorables al medio ambiente. Esto surgió después del embargo de petróleo por parte de la OPEP en la época de los años 70, el aumento en el precio del combustible y la clara dependencia de Estados Unidos de combustibles fósiles para generar energía. Es por ello que el gobierno federal invierte anualmente millones de dólares en desarrollo e investigación.

Además de lo mencionado anteriormente, se ha implantado una serie de incentivos estatales, y otros federales a través del Internal Revenue Service (IRS), para que los consumidores se interesen por adquirir fuentes alternas para producir la energía eléctrica que necesitan. Por ejemplo, se provee el privilegio a las compañías de utilizar el modified accelerated cost recovery system (MACRS), que es una forma más rápida de depreciar los equipos y deducirlos de los impuestos por ingresos, mediante la aplicación y clasificación de bienes y equipos termales, solares y otros relacionados con la producción de una energía limpia.

1.2.1. Caso del Estado de California

En California, como en otros 34 estados de los Estados Unidos de Norteamérica, los consumidores residenciales tienen derecho, entre otros beneficios, a lo que se denomina “Net Metering” [3]. Esto se refiere al ajuste en la factura del servicio eléctrico a base de una lectura *neta* del contador eléctrico. En el caso de “net-metering”, el cliente paga por la cantidad neta de energía que consume a través de un período de facturación, esta cantidad neta se obtiene de la diferencia entre la cantidad de energía comprada a la compañía de energía eléctrica y la energía producida con el sistema fotovoltaico.

Si la cantidad de energía eléctrica que se consume en un periodo de facturación es menor a la que se produce con el sistema fotovoltaico, el contador eléctrico tendrá un cargo negativo, en cuyo caso la compañía de energía eléctrica le devuelve o le acredita por esa cantidad de energía que se produjo en exceso.

Incentivos Económicos Estatales

El estado de California ofrece varios incentivos económicos que van dirigidos a incentivar a los ciudadanos a invertir en sistemas de energía solar. El Estado tiene la meta de generar 3,000 megavatios en energía solar fotovoltaica para el año 2017 [4]. Para lograr ese objetivo, el Estado ha asignado un fondo de \$400 millones por un período de 10 años. El propósito de ese programa económico es alcanzar un mercado de energía renovable autosustentable.

Entre los incentivos económicos que ofrece la “Iniciativa Solar de California” figuran los siguientes:

- Incentivos económicos en efectivo comenzando en los \$2.50 por vatio en sistemas de energía solar, en sistemas con capacidad generatriz de hasta 1 millón de vatios.
- Fondos para hogares existentes y nuevos para familias de bajos ingresos
 - incentivos económicos que fluctúan desde \$4.75 hasta \$7.00 por cada vatio de energía solar instalada en hogares de escasos recursos que cualifiquen [5] según los parámetros establecidos de ingreso y tamaño del componente familiar.

Los incentivos económicos que ofrece el gobierno estatal de California, combinados con los incentivos federales, pueden llegar a cubrir hasta el 50 % del costo total del sistema fotovoltaico [6].

Incentivos Económicos Federales

El Código de Rentas Internas en la sección 136 estipula que “los subsidios de conservación de energía que se reciben por parte de las compañías de energía

eléctrica directa o indirectamente no son tributables” [7] . El Código define medidas de conservación de energía como:

“instalaciones o modificaciones diseñadas para primordialmente reducir el consumo de energía o gas natural, o para mejorar el manejo de la demanda de energía”.

Existen créditos contributivos para las personas que adquieren equipos de generación de energía fotovoltaico, calentador de agua solar o celda de combustible. Se ha establecido mediante el “Energy Policy Act” un crédito contributivo de un 30 % o hasta \$2,000 por la compra e instalación de un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica o calentador solar, y un crédito de \$500 por cada 0.5 kW aplicable a celdas de combustible. En caso de que el crédito exceda la responsabilidad contributiva, se puede llevar a cabo un *carry forward* que es lo mismo que la distribución de la cantidad sobrante para el año siguiente. Este beneficio aplica al costo de instalación, ensamblaje, alambrado o de tubería.

1.2.2. Caso del Estado de Florida

Florida es otro de los Estados que ofrecen beneficios económicos a las personas que optan por adquirir un equipo fotovoltaico para generar energía eléctrica. Además de los incentivos económicos estatales, existen algunos incentivos económicos federales aplicables a ese estado.

Incentivos Económicos Estatales

El Estado de Florida ofrece un incentivo de hasta \$20,000 en forma de desembolso para las personas que invierten en un sistema de energía fotovoltaico para sus residencias. El reembolso ocurre si se cumple con los requisitos de instalación del Estado, y si el sistema fotovoltaico tiene capacidad generatriz entre 2 kW y 5 kW para solicitantes residenciales. El desembolso por parte del Estado es de \$4.00 por cada vatio [8]. Además de este reembolso que ofrece el Estado, los sistemas de energía fotovoltaica son exentos del pago del impuesto de venta o *sales tax* [9].

1.3. Asuntos Ambientales

En Puerto Rico, la compañía pública que genera la electricidad para la mayoría de los abonados del servicio eléctrico es la AEE con un total de 1,388,478 millones de clientes. Las fuentes principales de combustible de la AEE proceden de fuentes no-renovables como lo es el petróleo y el carbón. Esta compañía expone el ambiente a los contaminantes relacionados con la quema del petróleo, entre éstos, la contaminación atmosférica generada cuando se hace el proceso de bioconversión del producto químico o de la bioconversión durante la combustión de combustibles fósiles en calentadores y calderas. Se ha encontrado que los medios convencionales de producción de energía eléctrica es la causa principal de la contaminación del ambiente [10].

1.3.1. Contaminantes del Aire

Entre los contaminantes que se lanzan a la atmósfera están los siguientes:

- Óxido de azufre (SO): esta es una familia de gases que se compone de monóxido de azufre(SO), dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃) que se forman principalmente en las centrales eléctricas y durante el proceso de fundir metales y otros procesos industriales cuando se quema un combustible que contiene azufre, tales como el carbón y el aceite[11]
- Óxido de nitrógeno (NO) : éstos se forman cuando los combustibles se queman a temperaturas altas [12], como en un proceso de combustión. Las fuentes artificiales primarias del *NO* son vehículos de motor, plantas de generación de energía eléctrica utilidades eléctricas, y otras fuentes industriales, comerciales, y residenciales. El *NO* También se puede formar naturalmente. El óxido de nitrógeno es responsable de una amplia gama de consecuencias negativas tanto para el ambiente como para los seres vivientes debido a los muchos compuestos y derivados como bióxido de nitrógeno, ácido nítrico y otros [13]. Los efectos del NO se ven reflejados en el deterioro de la placa de ozono, lluvia ácida, partículas como PM₁₀ y PM_{2.5}y el calentamiento global entre otros.

- Partículas tales como:
 - PM: Esto se refiere al término en inglés “Particulate Matter” que pueden ser partículas o gotitas que se encuentran dispersas en el aire. Muchas fuentes hechas por el hombre y algunas naturales, emiten PM directamente al ambiente, o como pueden también emitirse otros contaminantes que reaccionan en la atmósfera y luego se convierten en PM. Estas partículas sólidas y líquidas tiene una amplia gama de tamaño, tales como:
 - PM₁₀: Son partículas con un diámetro menor de 10 micrómetros y representan un riesgo a la salud ya que pueden ser inhaladas y así acumularse en el sistema respiratorio [14].
 - PM_{2.5}: Las partículas con diámetro menor de 2.5 micrómetros se definen como partículas “finas” y representan los riesgos más grandes a la salud. Debido a su tamaño ínfimo (menos de un séptimo del ancho promedio de un pelo humano), las partículas finas pueden alojarse profundamente en los pulmones.
 - Bióxido de carbono (CO₂): Muchos seres vivos, al respirar, devuelven bióxido de carbono al ambiente [15]. Sin embargo, éste ha demostrado un alza sin precedente que contribuye a que la tierra retenga exceso de calor y así contribuir al calentamiento global [16].

Este último es un problema que afecta a todo el mundo, especialmente a los países más desarrollados ya que con la gran actividad de las diferentes industrias, las emisiones de los vehículos, los aerosoles y otros contaminantes mencionados anteriormente afectan, de forma adversa la capa de ozono. Es un científico de que ésta tiene ya varios agujeros que no muestran señas de mejora alguna.

1.4. Radiación Solar

La radiación solar es la energía radiante que resulta de las reacciones de fusión nuclear. Mediante este proceso, varios átomos se unen para formar un núcleo de mayor peso atómico. La temperatura del espectro es aproximadamente 5,800 K que se distribuye entre la onda corta visible del espectro electromagnético y el ultravioleta [17].

La radiación solar tiene una constante de aproximadamente $1,366 \text{ W/m}^2$ [18] justamente en las afueras de la atmósfera. Esta cifra cambia a través del año debido a la variación en la distancia de la tierra con respecto al sol. Esta constante se distribuye entre la radiación solar visible e invisible.

1.5. Modelo de Conversión de Energía Fotovoltaica

El total de energía eléctrica producida es función de la eficiencia general de la placa fotovoltaica, la eficiencia del inversor de corriente y otros factores tales como el promedio por hora de salida o *output* de energía por mes del arreglo ó el conjunto de placas fotovoltaicas conectadas. Sea \bar{E} dicha energía producida, entonces [19]

$$\bar{E} = A\bar{I}_C\bar{\eta}k_{t\alpha} \quad (1.1)$$

donde A es el área del arreglo de placas fotovoltaicas conectadas. Esto incluye el *packing factor* que es la fracción del volumen en una estructura de cristal que es ocupada por átomos. \bar{I}_C es el promedio por hora a largo plazo de la radiación solar por cada unidad dentro del conjunto fotovoltaico, $\bar{\eta}$ en la ecuación 2.1 es la eficiencia promedio de conversión de energía medida en proporción a la radiación solar. Según [19], $\bar{\eta}$ está dada por:

$$\bar{\eta} = \eta_r\eta_{pt} \left\{ 1 - \beta(\bar{T}_a - T_r) - \beta \frac{\tau\alpha}{\bar{I}_C U} (1 - \eta_r\eta_{pt}) \int_0^{I_C, MAX} I_C^2 P(I_C) dI_C \right\} \quad (1.2)$$

\bar{I}_C Se obtiene mediante la suma de las tres fuentes de radiación que una placa fotovoltaica recibe y son las siguientes:

1. radiación directa
2. radiación difusa
3. radiación reflejada en el plano terrestre

Según [20], \bar{I}_C se calcula:

$$I_C = I \left[\left(1 - \frac{I_d}{I} \right) R_b C + \frac{I_d}{I} \left(\frac{1 + \cos(\theta_p)}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos(\theta_p)}{2} \right) \right] \quad (1.3)$$

donde R_b es la proporción de radiación directa en un plano de apertura contra aquella sobre una superficie horizontal, C es la proporción de concentración, θ_p es el grado de inclinación del conjunto de placas fotovoltaicas con respecto al plano horizontal,

y ρ es la reflectividad terrestre. Además, \bar{I}_C es el promedio mensual por hora de radiación por cada unidad en una superficie horizontal. La fracción de radiación difusa \bar{I}_d/\bar{I} fue desarrollada por [21] y está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{\bar{d}}{\bar{I}} = 1.317 - 3.023\bar{K}_t + 3.372\bar{K}_t^2 - 1.769\bar{K}_t^3 \quad (1.4)$$

donde \bar{K} es la proporción promedio de la radiación solar horizontal contra la radiación extraterrestre.

donde \bar{T}_a es la temperatura ambiental promedio por hora, cada mes, η_r es la eficiencia de referencia del conjunto fotovoltaico, y η_{pt} es la eficiencia del equipo de rastreo de energía

Los resultados de la integral en la ecuación 1.4 están dadas por: [19]

$$\int_0^{I_C, MAX} I_C^2 P(I_C) dI_C = a_1 I_O^2 \int_0^{k_t, max} k_t^2 P(k_t) dk_t + a_2 I_O^2 \int_0^{k_t, max} k_t^2 \left(\frac{I_d}{I}\right) P(k_t) dk_t + a_3 I_O^2 \int_0^{k_t, max} k_t^2 \left(\frac{I_d}{I}\right)^2 P(k_t) dk_t \quad (1.5)$$

donde k_t es la proporción de la radiación solar horizontal I , con respecto a la radiación extraterrestre I_O . Los parámetros a_1, a_2 , y a_3 son constantes para horas y mes, y están dadas por:

$$a_1 = (R_b C)^2 + \rho C(1 - \cos(s))R_b + \frac{\rho^2(1 - \cos(\theta_p))^2}{4} \quad (1.6)$$

$$a_2 = R_b C(1 + \cos(\theta_p) - 2R_b C) + \rho(1 + \cos(\theta_p) - 2R_b C) \frac{1 - \cos(\theta_p)}{2} \quad (1.7)$$

$$a_3 = \left(\frac{1 + \cos(\theta_p)}{2} - R_b C \right)^2 \quad (1.8)$$

La fracción instantánea de radiación difusa I_d/I es función de k_t . La distribución a largo plazo de k_t es función de \bar{k}_t que se define como $\bar{k}_t = \bar{I}/I_0$. Esta data se obtiene de la información de radiación diaria que muestra el cuadro 1-1. Las integrales de la ecuación 1.5 fueron evaluadas por [22]

$$\int_0^{k_{t,max}} k_t^2 P(k_t) dk_t = -0.1551 + 0.9226\bar{k}_t \quad (1.9)$$

$$\int_0^{k_{t,max}} k_t^2 \left(\frac{I_d}{I}\right) P(k_t) dk_t = 0.1456 + 0.0544 \ln(\bar{k}_t) \quad (1.10)$$

$$\int_0^{k_{t,max}} k_t^2 \left(\frac{I_d}{I}\right)^2 P(k_t) dk_t = \bar{k}_t(0.2769 + 0.3184\bar{k}_t) \quad (1.11)$$

Cuadro 1-1: Resumen del National Solar Radiation Database para Puerto Rico en un periodo de 30 años

Mes	Radiación ($kWh/m^2/día$)	Temperatura ($^{\circ}C$) (%)
enero	4.5	25.0
febrero	5.1	25.1
marzo	5.8	25.6
abril	6.1	26.3
mayo	5.7	27.2
junio	6.0	27.9
julio	6.0	28.1
agosto	6.0	28.2
septiembre	5.6	28.1
octubre	5.0	27.7
noviembre	4.5	26.7
diciembre	4.1	25.6
Promedio anual	5.4	26.8

1.6. Herramientas de Investigación

Para determinar el área geográfica de interés según los recursos solares de la Isla, se utilizó el programa de computadoras desarrollado por el Gobierno de Canadá llamado *RETScreen* [23]. El mismo obtiene datos meteorológicos de la NASA y es utilizado mundialmente para proyectos de viabilidad económica de diferentes proyectos de energía limpia, como lo es la tecnología eólica y la fotovoltaica. También es capaz de calcular eficiencia de proyectos de calefacción, enfriamiento por aire acondicionado y potencia, entre otros. Los datos obtenidos de *RETScreen* son corroborados con estudios realizados en Puerto Rico para determinar los recursos solares de Puerto Rico [24].

Se desarrolló un cuestionario para determinar el grado de receptividad del abonado residencial de la AEE a la tecnología fotovoltaica. El propósito del mismo fué determinar cuánto conoce el abonado residencial sobre la disponibilidad de formas alternas de generación de energía eléctrica disponibles a nivel individual.

El cuestionario fué la herramienta para determinar las variables que llevan al abonado de la AEE a invertir en un sistema fotovoltaico. Se utilizaron herramientas estadísticas para determinar la correlación existente entre variables. Se aplicó además un modelo de regresión para determinar cuales variables influyen sobre la decisión de una persona a invertir en un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica en Puerto Rico.

1.7. Área Geográfica de Interés

Según datos obtenidos de [24] las áreas de Puerto Rico con más exposición a radiación solar se encuentran en el sur y suroeste de la Isla. A continuación se detalla la distribución geográfica del estudio:

Cuadro 1-2: Pueblos de Mayor Radiación Solar de Puerto Rico

Pueblos
Cabo Rojo
Guánica
Guayama
Guayanilla
Juana Díaz
Lajas
Peñuelas
Ponce
Salinas
Santa Isabel
Yauco

Para efectos del análisis económico, no existe variación en cuánto al precio de la energía eléctrica por área geográfica ni por la hora de consumo. En Puerto Rico la AEE distribuye las tarifas según aplique el caso individual del cliente y no por zonas geográficas ni por hora pico. Sin embargo, estos pueblos fueron escogidos debido a su adecuada exposición a la radiación solar. En la figura 1-5 se presenta un mapa de Puerto Rico mostrando el área geográfica de estudio.



Figura 1-5: Mapa de Puerto Rico Mostrando el Área Geográfica de Estudio

Capítulo 2

Revisión de Literatura

A través del tiempo, el proceso fotovoltaico de conversión de la radiación solar en energía eléctrica ha pasado por transformaciones que son dadas por la investigación. Hoy día, científicos de la Universidad de Rice han descubierto un método para producir motas moleculares para semiconductores llamadas puntos cuánticos o *quantum dots* [25]. El propósito principal de este nuevo procedimiento es abaratar el costo de las placas fotovoltaicas.

Quantum dots son unas megamoléculas de material semiconductor de tamaño muy pequeño y que los científicos consideran que reemplazará el método actual aplicado para producir energía fotovoltaica [25], esto contrasta con la tendencia de buscar la independencia de combustibles fósiles para producir energía eléctrica y de fuentes no-renovables y aumentar la eficiencia de los productos que se ofrecen en la actualidad.

Para aumentar la eficiencia de las placas fotovoltaicas, es necesario disminuir el costo de producir las placas y la aplicación de tecnologías que utilicen poco o ningún silicio, producto muy costoso y de principal uso en la actualidad para producir placas fotovoltaicas.

Oliver Morton [26] alude el hecho de que el Sol provee a la Tierra tanta energía cada hora como la civilización humana utiliza cada año. Si una pequeña fracción de la luz solar fuera capturada por celdas fotovoltaicas que la transformaran en electricidad, no habría necesidad de emitir ningún gas de las plantas de energía. En el artículo se recalca la importancia de los subsidios provistos por los gobiernos han

ayudado a incrementar el mercado de celdas solares en un 31 %. El autor pone en perspectiva el caso de Silicon Valley en California donde se están produciendo celdas fotovoltaicas hechas de silicio. Las celdas tradicionales de silicio están hechas de trozos de silicio de 200 micrómetros de espesor ó más.

Se están fabricando celdas de capa fina CIGS, las cuales están hechas de cobre y selenio, entre otras, lo cuál representa un alto costo de producción [26]. Luego de años de investigaciones se desarrolló un nuevo proceso para crear celdas solares de capa fina utilizando una nueva tecnología llamada “roll to roll”, la cuál permite producir una gran cantidad con una pequeña inversión de una forma poco costosa. El artículo concluye que son necesarias más investigaciones con el fin de medir la eficiencia de este tipo de celdas solares.

Por otra parte, John Merrill y Donna Cowell en su trabajo presentan una sinopsis de las áreas de investigación en las celdas fotovoltaicas de alto rendimiento [27]. Se menciona en su trabajo que en la actualidad se están desarrollando celdas fotovoltaicas solares más eficientes y de mayor rendimiento para proporcionar energía a las naves espaciales y también se están comenzando a desarrollar placas terrestres de concentración solar. Existe una gran necesidad de producir celdas solares de alto rendimiento y bajo costo y es esta razón la que promueve la investigación en nuevos materiales y aplicaciones.

En los últimos años los investigadores han demostrado que es posible utilizar celdas solares de múltiple unión que demuestran ser altamente eficientes en sistemas de concentración terrestres de bajo costo [27]. Estos sistemas utilizan espejos o lentes que incrementan la intensidad de la luz incidental de 300 a 500 veces más que la luz solar, y como la intensidad lumínica aumenta, la eficiencia de conversión de la celda solar también aumentará [27]. Las celdas solares de múltiple unión se encuentran disponibles comercialmente y constan de materiales del grupo III-V conglomerados para formar tres uniones fotovoltaicas.

Se ha estado trabajando con una nueva generación de celdas solares de capa fina que resultan ser muy interesantes para el mercado terrestre, debido a su incremento en la energía, gran eficiencia y bajo costo de producción. Las celdas solares de capa fina están basadas en Cu(In,Ga)Se_2 también conocido como CIGS. Las celdas solares hechas de este tipo de material han sido investigadas de manera exhaustiva arrojando resultados que demuestran un incremento en la eficiencia de hasta 25 %.

La búsqueda en la aplicación de la nanotecnología en nuevos conceptos ha permitido poder producir celdas solares de alto rendimiento. Conceptualmente, la aproximación más simple es la combinación de nanopartículas de diferentes tamaños en un dispositivo que absorba el espectro solar completamente [27]. Hasta el momento, este tipo de celdas ha demostrado tener una baja eficiencia. El mayor reto de los investigadores ha sido poder integrar nanopartículas en celdas solares para que su uso pueda ser viable.

Los autores concluyen que la búsqueda por producir celdas solares de alto rendimiento continúa. Se explica que estas celdas son sumamente necesarias para reducir el tamaño y la masa de los sistemas de satélite de energía y a la misma vez proveer una energía terrestre que sea económicamente competitiva para su utilización en sistemas de concentración.

Por otro lado, Bader et. al. en su estudio sobre energía renovable determinó que la mayoría de la energía eléctrica producida hoy día es con medios no renovables. La cifra de energía producida con combustibles fósiles tales como el carbón, gas y petróleo asciende a $320 * 10^{18} \text{ J}^1$ ó un 86 % del total de energía producida en el mundo [28].

Otra técnica utilizada en la actualidad para aumentar la eficiencia en las placas fotovoltaicas es la tecnología fotovoltaica de unión múltiple ó “multijunction” [29].

¹ 1 J (Joule) equivale a 3,600,000 kWh

R. McConnell and M. Symko-Davies presentaron ante la 4^{ta} Conferencia Mundial del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés) sobre la conversión de energía fotovoltaica. El propósito fue de buscar comprobar que las celdas solares de unión múltiple proveen una tecnología de alto rendimiento lo que da paso a electricidad generada de luz solar concentrada potencialmente a bajo costo. El estudio presentado ante la IEEE se enfoca en la investigación y desarrollo de celdas solares III-V de múltiple unión que puedan ser incorporadas en estructuras que cuentan y concentran la luz solar utilizando tanto espejos como lentes.

El Proyecto Fotovoltaico de Alto Rendimiento promovido por el Departamento de Energía de Estados Unidos de América realizó y subcontrató investigadores en universidades y compañías especializadas en áreas como celdas fotovoltaicas de alto rendimiento y equipos de concentrar de unión múltiple. Los datos recopilados de las diferentes investigaciones indican que existen ya celdas solares con una eficiencia de 41 %, aunque las investigaciones aproximan celdas solares con una eficiencia mayor del 50 %. El estudio concluyó que el impacto del alto rendimiento en el costo de la electricidad generada por concentradores solares es bastante significativa. Estas mejoras tecnológicas son oportunas para mercados de gran escala de multi megawatt de producción.

Por otra parte, Karsten Neuhoff realiza un análisis económico para identificar barreras en la adopción de fuentes de energía renovable que resultan de: la estructura del mercado, la competencia en un campo de juego desigual y varias barreras no del mercado. El artículo discute el potencial para nuevos recursos renovables y trata los asuntos económicos asociados con su desarrollo [30]. Se encontró que entre las barreras, las tecnologías de energía tradicional no están expuestas a una seguridad completa y a costos ambientales, además de que ofrecen energía por debajo del nivel del costo social total.

Se recalca además que los subsidios para las tecnologías renovables pueden ser requeridas para asegurar que las decisiones de inversión sean eficientes. Entre las barreras de mercado establece que los mercados y las estructuras de tarifa son diseñadas y optimizadas para las tecnologías de generación fósiles. Ellos no tratan los requerimientos específicos, y se mencionan los siguientes puntos: operación flexible, arreglos contractuales para reducir los costos de financiamiento, particularmente en un ambiente de alto riesgo regulatorio y simples procesos con costos de baja transacción debido a su naturaleza de pequeña escala. El artículo concluye que los recursos renovables se encuentran a diferentes etapas de desarrollo por lo que se ajustan a diferentes mercados. Sin embargo, se recalca que el apoyo político debe presentar la etapa específica y el mercado de cada recurso renovable.

Se concluye además que para poder emerger tecnologías novedosas se necesita una inversión colectiva en investigación y desarrollo. Finalmente establece que muchas tecnologías de energía renovable están cerradas fuera de la gran escala de mercado por que el campo de juego es desigual y varias barreras previenen a las industrias de financiar una inversión de aprendizaje.

2.1. Estudio de Caso de Canadá

Ali Muslim Syed en su estudio sobre la viabilidad económica de invertir en sistemas de energías renovables en el sector residencial en Canadá, se enfoca en el análisis de utilizar placas fotovoltaicas y turbinas ó molinos de viento montados en el techo de las residencias. Según los datos, el sector residencial canadiense consume un 16% de la energía secundaria total [31]. Esto representa aproximadamente 70 Mega toneladas de gases de invernadero emitidos al ambiente cada año. Aunque en los últimos años ese porcentaje ha ido incrementándose hasta un 24%.

Con la ratificación del Protocolo de Kyoto en el año 2002, se estableció un compromiso para poder reducir las emisiones de gases de invernadero en al menos un 5% entre los años 2008 y 2012. Para poder cumplir con ese objetivo, Canadá debe evaluar la manera de poder reducir el consumo de energía fósil y la emisión de gases de invernadero conservando su crecimiento en la economía y su estándar de vida.

Como parte de su investigación, el autor utilizó un caso de prueba de los hogares canadienses desarrollado en el ESP-r (Environmental System Performance research). Se utilizó data recopilada de tres de los más detalladas bases de datos de energía provenientes de complejos de vivienda residenciales. Se realizaron varias simulaciones anuales para estimar el espacio de calentamiento, la calefacción de agua caliente doméstica y la demanda de electricidad en estas casas utilizadas como casos de prueba. El total de emisiones de gases de invernadero debidas al uso de energía eléctrica y termal fueron estimadas por el costo de la electricidad y su tiempo de uso.

Las casas fueron actualizadas instalando placas fotovoltaicas y molinos de viento. Las simulaciones anuales fueron corridas nuevamente para estimar la energía renovable producida por los sistemas de energía instalados en las casas. Entre las conclusiones del autor se encuentra que la utilización de estas tecnologías puede resultar en una reducción de los gases de invernadero de entre 4.1 a 4.4 Mega toneladas

en emisiones de intensidad promedio y entre 11.9 y 12.7 Mega toneladas en emisiones de intensidad alta. También concluye que la energía adicional producida por estos sistemas pueden contribuir a satisfacer la demanda de energía eléctrica y de esta manera reducir la emisión de gases de invernadero.

2.2. Estudio de Caso de Europa

Peter Gwynne [32] recalca la importancia que han tenido pequeñas villas de escasa población en la generación de energía en países europeos. Se utiliza como ejemplo la comunidad de Freiamt, localizada en Alemania, donde los incentivos y los pagos proveídos por generar la suficiente electricidad para poder alimentar la red eléctrica han fomentado que los habitantes adquieran todo tipo de fuentes de energía renovable. De esta manera, hacen que la pequeña región donde viven sea autosuficiente y cuando generen más electricidad de la que necesiten puedan alimentar la red eléctrica a un precio garantizado.

Freiamt produce aproximadamente 13 millones de kilowatt por hora de electricidad cada año, de los cuáles utilizan 10 millones de kWh de electricidad. Las leyes le permiten exportar los 3 millones de kWh adicionales que producen a otras regiones de Alemania por medio de la red eléctrica [32].

Según el artículo, la legislación es pieza clave en este proceso. La transmisión inversa de energía eléctrica utilizando placas fotovoltaicas a la red eléctrica, desde las villas a los hogares individuales, es facilitada por leyes federales. Estas leyes estipulan dar a las personas un precio justo por la electricidad que generan, así como otros pagos e incentivos.

La legislación ha fomentado la implantación exitosa en otros países europeos como Suiza y Dinamarca. Por ejemplo, en Suiza se estableció el programa de la sociedad 2,000 watt, la cuál busca que cada ciudadano suizo consuma esa cantidad de energía anualmente. Además de un ambicioso plan llamado el Programa de Energía Suizo el cual se vislumbra como una plataforma para una política de energía inteligente [32].

Por otro lado, Onno Kuik en su artículo sobre la política europea respecto a energías renovables, hace referencia sobre la política de energía en la Unión Europea la cuál enfrenta dos grandes retos. El primer reto representado por el compromiso de

los Estados Unidos de reducir las emisiones de gases de invernadero a la atmósfera en el contexto de un acuerdo internacional para un cambio climático [33]. El segundo reto expuesto en el artículo es continuar asegurando la seguridad europea en el suministro de energía, mientras se proyecta un aumento en su dependencia de fuentes de energía externa.

Onno Kuik estudia dos escenarios alternos de larga duración en la política de cambio climático. En el primer escenario que se expone en el artículo es que Estados Unidos reduce las emisiones de bióxido de carbono por medidas domésticas. En el segundo escenario Estados Unidos maximiza la cooperación de la antigua Unión Soviética. El impacto del flujo de carbono entre Estados Unidos y la Unión Soviética y la dependencia de Estados Unidos a la energía externa fueron evaluadas por un modelo de equilibrio aplicado, GTAP-E en el cuál los productos básicos de energía es expandido con combustible de biomasa para producir productos de energía renovable.

2.3. Iniciativa Tecnológica en Países en Desarrollo

Prakash Khanal escribió sobre los esfuerzos realizados para llevar luz a numerosas villas que están localizadas en lugares remotos y distantes, específicamente en los Himalayas, Nepal. El incremento en producir electricidad por medio de paneles solares fotovoltaicos, aunque muy costoso, es debido a la necesidad de buscar otras alternativas en la producción de energía eléctrica. Además de la durabilidad del equipo y su fácil mantenimiento, los subsidios ofrecidos por el gobierno han sido otra razón de gran peso en la implantación de energía solar.

El autor expone que los subsidios son proporcionados a las familias dependiendo de su localización, sería entre un tercio y la mitad del costo de la instalación, el cuál puede exceder los Rs. 25,000 (\$325) para sistemas de 30 a 40 vatios [34]. Para un sistema de comunidad solar en un área remota que sea instalado por escuelas, instituciones hospitalarias, templos, entre otros, el gobierno provee un subsidio de sobre el 75 % del costo total de la instalación [34]. Según el autor, con esta iniciativa de utilizar placas fotovoltaicas para producir energía solar alrededor de 27,000 hogares nepaleses en áreas rurales remotas están disfrutando de la electricidad.

2.4. Iniciativa Tecnológica en Puerto Rico

En Puerto Rico se han realizado estudios sobre viabilidad económica de invertir en sistemas solares. Moraima De Hoyos-Ruperto llevó a cabo un estudio sobre la viabilidad del SAACS (Sistema Solar de Acondicionamiento de Aire por Absorción) en Puerto Rico. El SAACS, desarrollado en Puerto Rico es una tecnología utilizada para compensar el consumo de energía. Entre los objetivos estudiados se encuentran: proveer un buen estimado del mercado potencial y los posibles ingresos para esta tecnología; hacer un análisis de costo para esta tecnología innovadora y desarrollar un marco de costo para agregar valor al producto [35]. El estudio realizado en la tesis puede ser utilizado como marco de referencia para futuras investigaciones sobre la viabilidad económica del sistema SAACS en el Caribe.

Entre las conclusiones más sobresalientes en términos del mercado, la autora afirma que existen clientes potenciales disponibles para comprar el SAACS. También establece que el servicio y el mantenimiento y el precio competitivo son criterios claves en la decisión de comprar el SAACS. La autora hace referencia a dos factores que deben ser considerados en cuanto al desarrollo de un nuevo negocio para manufacturar y distribuir la tecnología.

El primer factor recalca que una colaboración en conjunto entre el sector privado y el gobierno es esencial, para poder facilitar una buena posición en el mercado en una industria que resulta ser bastante competitiva. El segundo factor establece un precio de venta competitivo. La autora sugiere que el SAACS necesita de un manejo de costo estratégico continuo. Es esta estrategia la que debe permitir que una nueva compañía pueda cumplir con las expectativas del cliente y de esta forma obtener una buena ventaja competitiva.

Por otra parte, Irizarry et. al. en su estudio sobre los recursos solares en Puerto Rico, determinaron que el sur y suroeste de la Isla es más propenso para la inversión en sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, debido a su mayor exposición a la radiación solar y menor precipitación que en otras partes de la Isla.

Puerto Rico ha sufrido un alza en el costo de energía eléctrica debido a la alta exposición del precio de combustibles fósiles por parte de la AEE. Por esta razón, y efecto adverso que causa la quema de combustible para generar energía eléctrica en Puerto Rico, el gobierno ha reconocido la importancia de adoptar formas alternas de generación de energía eléctrica menos dañinos al ambiente y sin relación directa con el precio del petróleo.

El 16 de agosto de 2007 se aprobó en Puerto Rico la Ley Nmero 114, “para ordena y autorizar a la AEE a establecer un programa de medicion neta (net metering)” [36]. La ley define para efectos legales el concepto de medición neta, y expone los motivos por los cuáles se considera su aplicación en Puerto Rico, además de que hace referencia a países que ofrecen este beneficio, y a los estados de los Estados Unidos que también ofrecen este incentivo. Las disposiciones de la Ley 114 del 16 de agosto de 2007 establecen los parámetros que limitan el alcance de la Ley, y claramente definen el alcance del beneficio económico y las obligaciones de la AEE y las del consumidor.

Para efectos económicos, la Ley 114 del 16 de agosto de 2007 estipula lo siguiente:

- El sistema de generación de energía renovable residencial no debe exceder los 25 kw de capacidad instalada
- Se acumularán los créditos por concepto de medición neta durante un periodo de un año y éstos serán pagados en un 75 %, el restante será distribuido “para créditos o rebajas en las facturas de electricidad de las escuelas públicas” [36]

- En el caso que el cliente genere más energía que la que consume, la AEE brindaría un crédito a ese cliente como se menciona anteriormente en un 75 %, a 10 centavos el kwh

Un sistema fotovoltaico convierte la radiación solar en energía eléctrica directa [37].

Una vez esta energía se acondiciona y se introduce a la red eléctrica, el cliente de la AEE recibe automáticamente un ahorro en su factura de energía eléctrica ya que la porción que se introduce a la red eléctrica respresenta un ahorro para ese cliente.

El ahorro se da mediante la reducción de la factura de energía eléctrica ya que el contador gira en dirección contraria una vez se introduce energía a la red eléctrica.

2.5. Costo de Energía en Puerto Rico

El costo de energía eléctrica en Puerto Rico ha sufrido un alza considerable debido a la gran dependencia del petróleo y otras fuentes de combustibles fósiles combustibles fósiles. La siguiente gráfica presenta la tendencia en el precio del petróleo desde el año 1999 hasta el año 2008 [38].



Figura 2-1: Precios Históricos del Petróleo

Se puede apreciar en la figura 2.5 que el costo del petróleo ha alcanzado un costo de hasta \$95 el barril a principios del año 2008. Como consecuencia del alza en el precio del petróleo, el servicio de energía eléctrica en Puerto Rico ha sufrido un alza sin precedentes, esto se debe en parte a la exposición directa de la AEE al precio del combustible.

Capítulo 3

Justificación y Objetivos de la Investigación

3.1. Justificación

El monopolio es una realidad en la mayoría de los sistemas económicos y Puerto Rico no es la excepción. El monopolio puro o natural está protegido por leyes orgánicas y está fuertemente reglamentado por el gobierno. Las compañías en Puerto Rico que se clasifican como tales son corporaciones públicas como la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA) y la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). Esta última ha levantado varias controversias debido a que ha incurrido en cobros injustificados a sus abonados. Queda de parte del abonado el interés en reclamar por ese cobro en exceso. Ciertamente son de discusión pública los inconvenientes que enfrentan los consumidores de la AEE, entre éstos:

- el alto costo del combustible
- constantes interrupciones en el servicio eléctrico
- el precio de la energía eléctrica en Puerto Rico es uno de los más altos en todos los Estados Unidos y sus territorios.

Actualmente, se ha registrado un gran aumento en el precio que la AEE factura por el servicio de energía eléctrica ya que ésta utiliza como combustible recursos no-renovables, principalmente el petróleo. Suele ser muy costoso y aparentemente demasiado complicado para que la AEE cambie su sistema de producción de energía, a uno más eficiente, más limpio para el ambiente y más barato para el consumidor.

¿Pero qué otra opción existe en estos momentos además de la AEE, para suplir el servicio de energía eléctrica a Puerto Rico? Debido a que Puerto Rico es un archipiélago, se hace imposible que la AEE compre energía eléctrica a grandes escalas a otros productores como sucede en los Estados Unidos, donde además de la electricidad que producen, estas compañías de energía eléctrica suplen sus necesidades de energía mediante la compra de la misma a compañías en otros estados ya sea por alguna situación imprevista o por que sea una práctica regular.

Otro factor negativo es que debido a la extensión territorial de la Isla, no hay otra compañía de energía eléctrica en la Isla con un mercado de la magnitud que el mercado de la AEE. Sin embargo, en Puerto Rico hay una amplia gama de recursos que pueden ser utilizados para producir energía eléctrica y mejorar la calidad de vida de todos los ciudadanos. Puerto Rico tiene un clima agradable y uniforme: mucho sol por el día y noches frescas. Por ejemplo, el centro de la Isla se caracteriza por tener una temperatura agradable al mismo tiempo que no es extremadamente fría o caliente, así como una exposición constante a la radiación solar en toda la Isla. La radiación solar a la cual se expone Puerto Rico es adecuada como para generar energía eléctrica mediante el uso de placas fotovoltaicas instaladas al sistema eléctrico del hogar.

Es importante llevar a cabo este estudio para medir el posible beneficio económico de la implantación de fuentes eléctricas alternas para Puerto Rico y en específico, la tecnología fotovoltaica ya que con el aumento en el precio del combustible, el calentamiento global y la incertidumbre con los abastos del petróleo, se pone en perspectiva la importancia de la aplicación de alguna tecnología no-convencional y en alternativas que no dependan de fuentes no renovables para producir la energía eléctrica.

3.1.1. Beneficio Económico del Sistema Fotovoltaico

El hecho de tener un sistema fotovoltaico instalado en una residencia o en una edificación le brinda un valor adicional a la propiedad, ya que en el largo plazo, constituye una inversión. Además de este beneficio implícito, se puede obtener una reducción en los gastos mensuales por concepto de pago de energía eléctrica y posiblemente reducirlo al mínimo. Un hecho muy importante es que la AEE ha utilizado siempre el petróleo para producir electricidad. Este combustible ha sufrido alzas históricas durante los últimos años y sin tendencias ni expectativas a bajar de precio a los niveles anteriores a los años 70.

Desde el primer momento que se instale el sistema fotovoltaico, éste convierte la radiación solar en energía eléctrica para el uso doméstico, lo cual representaría un ahorro sustancial en los gastos mensuales por concepto de pagos de energía eléctrica que brinda la AEE. Además del beneficio económico, se pondrá en contraste el beneficio ambiental ya que en Puerto Rico se utilizan pocas formas de producción de energía eléctrica con fuentes renovables. Esto representa un problema ya reconocido mundialmente y otros países, incluso algunos en vías de desarrollo, han implantado sistemas modernos de producción de energía eléctrica que no dependan en gran medida de fuentes no renovables, como lo son los combustibles fósiles.

3.2. Objetivos

Esta tesis tiene el objetivo de buscar el posible beneficio económico que se deriva al aplicar un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaico y conectarlo a la red de la AEE. Después de los análisis pertinentes, ésta tesis contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Es la tecnología fotovoltaica una opción realista para Puerto Rico según los recursos y condiciones naturales de la Isla?
2. ¿Existe algún beneficio económico para el consumidor por la aplicación de la tecnología fotovoltaica a su residencia en Puerto Rico?
3. ¿Qué leyes existen en Puerto Rico para propiciar el desarrollo de la tecnología fotovoltaica en Puerto Rico?

Los factores que influyen sobre el análisis económico en la actualidad y que actúan como agentes que favorecen o impiden la eficiencia económica de este tipo de inversión son de vital importancia a la hora de llevar a cabo el análisis. Dentro de los factores que influyen en el mencionado análisis se encuentran los siguientes:

- Recursos solares disponibles
- Costos
- Eficiencia de los equipos disponibles en la actualidad
- Incentivos económicos gubernamentales

Capítulo 4

Metodología de la Investigación

4.1. Metodología

El propósito principal de ésta investigación es aplicar las técnicas de estudio de viabilidad económica para encontrar el posible beneficio de implementar la tecnología fotovoltaica a residencias en Puerto Rico. Estas Las técnicas son utilizadas por muchas industrias para llevar a cabo estudios de viabilidad económica y son dictadas en universidades a través de todo el mundo. La Tasa de Rendimiento Interna o IRR por sus siglas en inglés, será la herramienta principal para calcular el beneficio económico de implantar un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica. El IRR es una medida porcentual que determina el rendimiento de una inversión en particular tomando en cuenta los flujos de efectivo que deriva esa inversión. El IRR determina cual opción de inversión es más rentable ya que permite al analista escoger entre varias opciones de inversión. ¹

¹ Existen otros métodos de evaluación de proyectos, pero el IRR y Net Present Value (NPV) son los más rigurosos ya que toman en consideración el valor del dinero en el tiempo o “Time Value of Money” (TVM por sus siglas en inglés), que explica que el dinero hoy vale más que en el futuro y por eso hay que descontar su valor.

4.2. Métodos Principales para Llevar a Cabo Análisis Económicos

Para realizar el análisis económico correspondiente, es necesario identificar todas las variables relevantes. Estas variables se mencionan a continuación y se discuten más adelante en este capítulo. Esto se hace para cuantificar el beneficio económico obtenido, según factores tales como:

- Costo de instalación de las placas fotovoltaicas
- Cantidad de placas adquiridas por el consumidor
- Eficiencia de las placas
- Eficiencia general del inversor
- Vida útil de las placas fotovoltaicas y/o baterías según aplique el caso

Estos elementos sólo comprenden parte del análisis necesario para determinar algún beneficio económico. Otros factores que influyen sobre el análisis económico son los beneficios contributivos y cualquier otro beneficio económico en forma de reembolsos y/o crédito por parte del gobierno.

4.3. Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto (NPV, por sus siglas en inglés), se define como el valor presente de los flujos netos de efectivo de llevar a cabo un proyecto menos la inversión inicial en ese proyecto. Una de las formas de obtener el NPV es aplicando la siguiente ecuación [39]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4.1)$$

donde CF_t es el flujo de efectivo en el año t , n es la vida esperada del proyecto ó inversión y r es el costo de capital.

Esta herramienta es muy útil a la hora de evaluar proyectos a largo plazo, ya que permite precisar el valor presente (o valor descontado) de una serie de flujos de efectivo. Se le llama Valor Prsente Neto, debido a que luego de identificar una serie de flujos de efectivo, estos flujos son divididos por la tasa de descuento, obteniéndose un valor del flujo de efectivo futuro descontado al valor de hoy.

4.4. Tasa de Rendimiento Interna

La Tasa de Rendimiento Interna (IRR, por sus siglas en inglés), se define como la tasa de descuento que iguala a cero el valor presente de los flujos de efectivo de un proyecto, sumados al valor presente de la inversión inicial. Ésto se obtiene resolviendo la siguiente ecuación [39]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (4.2)$$

donde CF_t es el flujo de efectivo en el año t , n es la vida esperada del proyecto ó inversión y r es la tasa de descuento desconocida (o el IRR), que no es la tasa de interés del mercado. Esta variable representa el costo de capital de una empresa o negocio, la tasa de descuento social en un proyecto público, o la tasa de descuento que representa el costo de oportunidad de las familias invertir el dinero en otras alternativas como puede ser invertir en otros proyectos, hacer inversiones a largo plazo o depositar el dinero en un banco.

El IRR es útil para determinar la viabilidad económica de un proyecto ya que indica el rendimiento que se obtiene llevando a cabo una inversión en particular. En caso de que rendimiento que se obtiene se compara con el costo de capital ó el costo de oportunidad. Para determinar si una inversión es económicamente viable, el IRR debe al menos igualar o exceder el costo de oportunidad. Cuando se invierte en un proyecto el inversionista puede evaluar el costo de oportunidad y compararlo con el IRR de la inversión que se elige, por lo general, el IRR es siempre mayor que el costo de oportunidad ²

² Existe una variación del IRR que se conoce como *Modified Internal Rate of Return* (MIRR) que presume que todos los flujos de efectivo de un proyecto se reinvierten en la compañía para aumentar su valor. Este concepto no aplica a las familias, por esa razón se utilizó el IRR y no el MIRR para calcular el beneficio económico.

4.5. Período de restitución

El periodo de restitución (PBP, por sus siglas en inglés) es el término de tiempo que se requiere para igualar el flujo de efectivo acumulado de una inversión con la inversión inicial y se obtiene aplicando la siguiente ecuación [40]:

$$PBP = \frac{NINV}{NCF} \quad (4.3)$$

donde NINV es la inversión neta inicial y NCF es el flujo de efectivo de la inversión. El PBP es una medida de evaluación financiera utilizada por pequeñas empresas debido a su facilidad para aplicar e interpretar, sin embargo no es muy utilizada por las grandes corporaciones debido a serias limitaciones que presenta.

De las limitaciones que presenta el PBP la mas notable es que al ser calculado, este no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Esta medida no es preferida para utilizarse como método unico de evaluación económica y es adecuado utilizar otros métodos de para medir el rendimiento de proyectos e inversiones.

Capítulo 5

Conocimiento y Aceptación de los Abonados de la AEE de la Tecnología Fotovoltaica

Para determinar el grado de conocimiento de los abonados de la AEE sobre energía fotovoltaica y el grado de aceptación de éstos para invertir en este tipo de tecnología, se diseñó un cuestionario para determinar el conocimiento del abonado de la AEE sobre energías renovables y su disposición a invertir en tecnología fotovoltaica. El cuestionario recogió datos de cuatro categorías distintas, las cuales se enumeran a continuación:

1. Perfil del Abonado
2. Nivel de Satisfacción Actual con la AEE
3. Fuentes Alternativas de Energía
4. Incentivos Actuales

Cada categoría de la encuesta fue diseñada para recoger ciertos datos en particular, para luego analizar sus variables. Estas variables fueron utilizadas para determinar la correlación existente entre éstas, para determinar la relación lineal de una variable con otra.

Para determinar la fuerza de la relación lineal existente entre dos variables x y y se realiza una prueba de coeficiente de correlación r que mide esa fuerza sin depender necesariamente de la escala de medición de las variables en cuestión.

La relación lineal r es explicada según aplique el caso una vez se obtengan resultados tales como:

- $r < 0$: obtener un coeficiente de correlación r menor que cero implica una correlación lineal negativa y es representada por una pendiente declinante hacia la derecha. La figura 5-1 ilustra un ejemplo de una correlación lineal negativa.

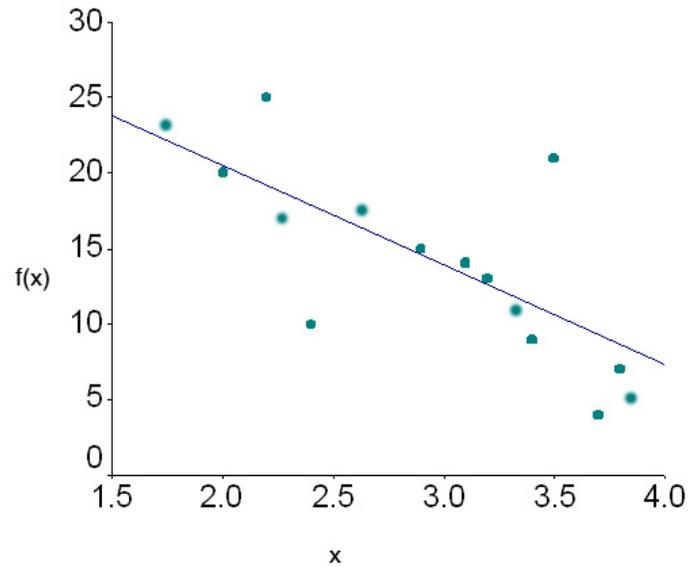


Figura 5-1: Correlación Lineal Negativa

- $r > 0$: obtener un coeficiente de correlación r mayor de cero es representativo de una correlación lineal positiva, se puede apreciar la pendiente de esa gráfica en la figura 5-2:

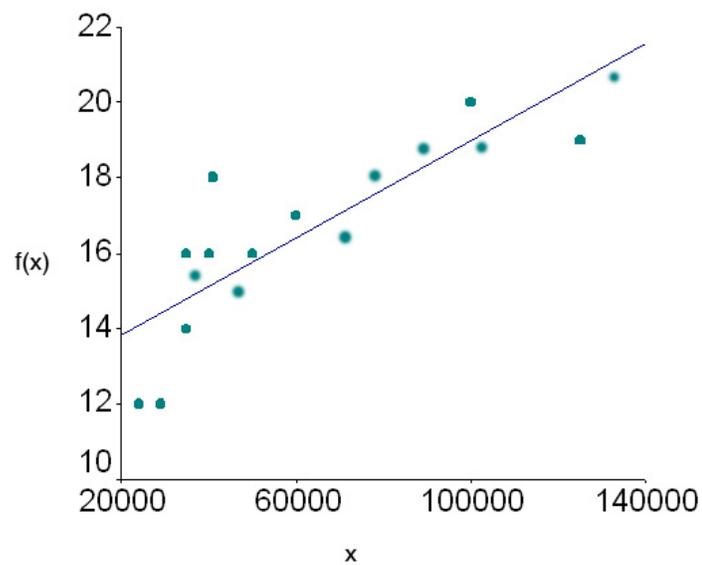


Figura 5-2: Correlación Lineal Positiva

- $r = 0$: obtener un coeficiente de correlación r igual a cero es indicativo de falta de relación lineal entre las variables x y y , esto se ilustra en la figura 5-3:

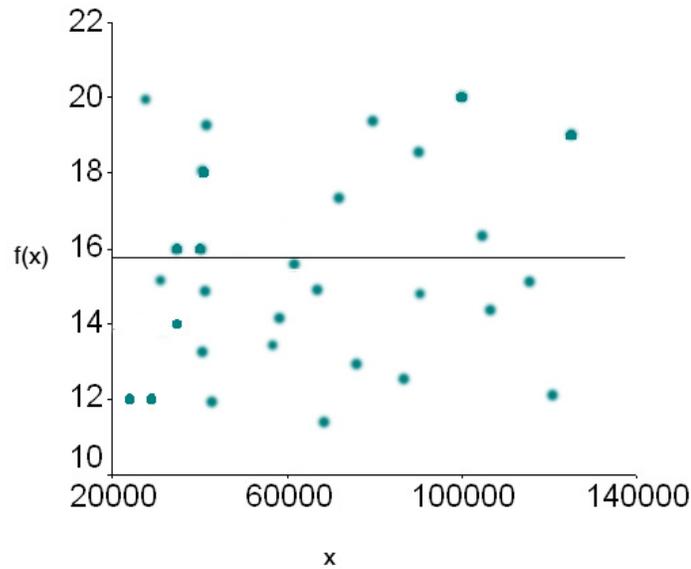


Figura 5-3: Falta de Correlación Lineal

Para efectos de esta tesis, se realizó un cuestionario que fué dirigido hacia los clientes residenciales de la AEE. Un criterio de importancia es que la persona encuestada debía cumplir con dos requisitos:

1. que vivía en su residencia propia (no alquilada)
2. la persona encuestada debía ser el cliente de la AEE, o sea, la persona que paga la factura de energía eléctrica

El primer requisito aplica ya que supone que una persona no va a invertir en un equipo fotovoltaico si no vive en su residencia propia. El segundo aplica ya que la persona que paga la factura de energía eléctrica en la residencia es el mercado al cuál va dirigido el cuestionario.

El tamaño de la muestra fué determinado mediante el uso de un programa escrito en el lenguaje Javascript desarrollado por el Dr. Hossein Arsham de la Universidad de Baltimore [41]. La exactitud fue corroborada utilizando la fórmula estadística para determinar tamaño de muestras que se presenta a continuación:

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2} \quad (5.1)$$

donde Z es el valor estándar de nivel de confianza de 95 %, p , es la proporción de los encuestados en la muestra piloto que contestaron no, q es la diferencia porcentual $(1 - p)$ ¹ y e^2 es el error permitido al cuadrado.

Esta ecuación se utiliza una vez se halla seleccionado una muestra piloto para el estudio, para esta investigación, se seleccionó un grupo de 50 clientes de la AEE. Ese número fue restado del tamaño de muestra obtenido.

De los cuestionarios distribuidos a la muestra piloto, se tomó la pregunta 14 de que si el abonado de la AEE ha sufrido pérdidas de electrodomésticos debido fallas o bajones de voltaje. Se encontró que para ello, un 80 % no ha sufrido ese tipo de pérdida, y un 20 % respondió sí a esa pregunta.

Sustituyendo en la ecuación 5.1 los datos obtenidos se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \left(\frac{3.8416(0.8)(0.2)}{0.001797} \right) = 342 \quad (5.2)$$

342 es el tamaño de muestra que se determinó anteriormente, y aquí está corroborado.

¹ Se enfatizó para este cuestionario que todas las preguntas debían ser contestadas. Es por ello que $(1-p)$ es aceptable en este caso, ya que en una pregunta de sí o no, con todos los cuestionarios contestados, es posible obtener el valor de q restando 1 menos el valor porcentual de p . En la ecuación 5.1 la variable p no representa la P en la tabla de análisis de varianza del próximo capítulo.

5.1. El instrumento

El cuestionario fue distribuido personalmente en los pueblos mencionados en la cuadro 1–2. El cuestionario fue tratado de forma anónima y confidencial para proteger la privacidad de los encuestados. Se visitaron plazas públicas y urbanizaciones donde se le pedía a la persona llenar el cuestionario luego de explicarle el propósito del mismo y la manera en que serían tratados los datos. Para determinar el tamaño de la muestra se escogió una muestra piloto de 50 personas, todas del Pueblo de Ponce. No hubo ninguna razón en particular para tomar la muestra piloto de ese Pueblo.

Del tamaño total de la muestra, se hizo una distribución por pueblo, desde Guayama hasta Cabo Rojo. El propósito de esta distribución es para determinar la proporción de encuestados por pueblo del tamaño total de la muestra, y se obtiene así:

$$E_p \approx \left(\frac{UVD_p}{UVDT} \right) 342 \quad (5.3)$$

donde UVD_p es el total de viviendas ocupadas por dueño por pueblo, y $UVDT$ es el total de viviendas ocupadas por dueños en todos los pueblos en cuestión. Esta fracción indica la proporción de cada pueblo con respecto al total. El resultado de la fracción se multiplica por 342 para indicar la cantidad de personas a ser encuestadas por cada pueblo.

Cuadro 5-1: Total de personas encuestadas según datos del Censo de la Población del año 2000

Pueblo	Total de viviendas ocupadas por dueño	Total de clientes de AEE encuestados
Cabo Rojo	13,574	37
Guánica	5,518	15
Guayama	10,356	28
Guayanilla	5,825	16
Juana Diaz	12,015	32
Lajas	7,092	19
Peñuelas	6,250	17
Ponce	41,561	112
Salinas	7,954	21
Santa Isabel	5,189	14
Yauco	11,552	31

El cuadro 5-1 presenta la distribución de personas ² encuestadas por pueblo con relación al total de la muestra. Esta distribución refleja una variación en la cantidad de personas encuestadas por pueblo debido a que se tomó en consideración el total de personas que viven en residencias propias por cada pueblo. Al dividir la cantidad de personas que viven en residencia propia por pueblo, del total de personas de todos los pueblos en cuestión, se obtiene la proporción de personas a ser encuestadas por cada pueblo.

² Todos los encuestados fueron clientes residenciales de la AEE con tarifa residencial usual y no subsidiada.

Capítulo 6

Hallazgos de los Análisis

En este capítulo se presentan los análisis realizados y sus hallazgos correspondientes. Es en este capítulo donde se corroboran los objetivos de esta tesis, para llegar a las conclusiones propuestas y hacer recomendaciones basadas en los hallazgos.

6.1. Análisis Económico

Para determinar la viabilidad económica de invertir en tecnología fotovoltaica en Puerto Rico según los parámetros actuales que se prestan para este análisis, que son en parte los recursos solares y los incentivos económicos, se considerarán dos casos de estudio: un caso de 2kW de capacidad instalada, y otro caso de 5kW de capacidad instalada. Los siguientes supuestos se consideran a la hora de llevar a cabo los análisis de estas ecuaciones para poder calcular el ahorro mensual obtenido por el sistema fotovoltaico armonizando al pago por la electricidad ahorrada:

- Al final de cada período de facturación, el cliente no produce *más* energía eléctrica con el sistema fotovoltaico que la que consume de la AEE. Es decir, el cliente tiene producción menor o igual que la energía que recibe de la AEE. Esto se debe a que la Ley actual en Puerto Rico ofrece un incentivo menor en caso de que el cliente genere más energía que la que consume, en cuyo caso, el pago por el exceso de energía generado se hace al 75%, ya que el porcentaje restante es donado a las escuelas públicas de Puerto Rico. Este pago por el exceso de energía se hace a \$0.10/kWh no a \$0.22/kWh
- Se presume que las placas fotovoltaicas no serán reemplazadas hasta un período de 25 años después de ser instaladas. Por lo general, este término en años es el

mismo que ofrecen la mayoría de los fabricantes de placas fotovoltaicas como garantía de que no disminuirá su eficiencia

Actualmente, el costo por vatio de placas fotovoltaicas en Estados Unidos ronda en los \$4.75 sin incluir costos relacionados con la instalación, del inversor ni baterías de resguardo de aplicar ese caso. En Puerto Rico, el costo de las placas incluye un costo de manejo y envío ya que las mismas se fabrican en el exterior. El precio del sistema fotovoltaico es además influenciado por la capacidad generatriz que el cliente desea adquirir. Por ejemplo, para un sistema fotovoltaico conectado a la red y sin resguardo de baterías instalado en la residencia, ronda cerca de los \$9 por vatio instalado para un sistema de 2 kW.

Para el caso de un sistema fotovoltaico con mayor capacidad generatriz, por ejemplo, para un sistema de 5kW, el precio por vatio instalado disminuye considerablemente hasta los \$7. Para un sistema fotovoltaico de 2,000 vatios de capacidad, el precio es de: $\$9 \times 2,000 \text{ vatios} = \$18,000$, y para un sistema de 5 kw, el costo es de $\$7 \times 5,000 \text{ vatios} = \$35,000$.

Existe un crédito contributivo que extiende el Departamento de Hacienda de Puerto Rico a las personas que adquieren un sistema fotovoltaico, que consiste en lo siguiente:

1. Crédito contributivo de hasta \$1,500, o el 30% del costo total del equipo fotovoltaico (se aplica la partida menor), deducible de la Planilla Estatal de contribución sobre ingresos
2. En caso de los cliente residenciales, el crédito se puede reclamar una sola vez en la vida
3. Si el cliente residencial adquiere capacidad generatriz adicional para aumentar la capacidad de su sistema, la ley no permite deducir el costo de las placas nuevas una vez se haya hecho una deducción anterior

4. En caso de los clientes comerciales, la ley permite deducir completamente el costo del equipo, a través de depreciación rápida en 3 años

El cuestionario administrado estima que el consumo promedio de energía eléctrica en el sur y suroeste de Puerto Rico, es una fracción sobre el rango de \$100 y \$199, con desviación estándar de 0.8357, para una estadística categórica entre 0 y 5. Esta información será utilizada para determinar el consumo promedio de energía eléctrica en kWh, de la siguiente manera:

$$kWh/mes = \frac{\$200}{\$0.22} = 909.1kWh \quad (6.1)$$

donde \$200 equivale a la media aritmética, del consumo mensual y \$0.22 equivale al costo por kW de energía en Puerto Rico.

Cuando se calcula el consumo mensual aplicando los datos observados en la ecuación 6.1 se determina que el consumo mensual promedio es de 909.10 kWh/mes. Para determinar el consumo promedio diario, se divide el resultado de la ecuación 6.1 entre 25 días ¹, y se obtiene un consumo promedio de 36.36 kWh/día. El último resultado es dividido entre la cantidad aproximada de horas de exposición solar

¹ El cálculo de días soleados se realizó utilizando datos recopilados por la *National Aeronautics and Space Administration*, (NASA por sus siglas en inglés), ver apéndice B. Los datos reflejan aproximadamente 48 días sin sol anual ó 4 días mensuales. Sin embargo, considerando un posible traslapo en la zona de estudio y eventos extraordinarios como tormentas y huracanes, se consideraron 300 días soleados por año, esto además ayuda a que el análisis económico sea más conservador.

diaria, que es de aproximadamente 6 horas² y se determina la capacidad requeridas mediante:

$$Capacidad = \left(\frac{36.36kWh}{d} \right) \left(\frac{d}{6h} \right) \quad (6.2)$$

Cancelando los términos semejantes, y resolviendo la división, resalta la capacidad instalada requerida para llevar a cabo el análisis:

$$Capacidad = \frac{36.36kW}{6} = 6.06kW \quad (6.3)$$

El resultado que proporciona la ecuación 6.3 indica la capacidad generatriz óptima de las placas. Es a base de ese resultado que se realizarán los subsiguientes análisis.

Para efectos de la AEE, el precio por kW que cobra a sus clientes es de \$0.22. Por lo tanto un kW que el cliente devuelva a la red, representa un ahorro de \$0.22 por cada kW, es el mismo caso de una persona que disminuye su consumo de electricidad mensual, tiene un ahorro por la cantidad que deja de consumir. La Ley de Puerto Rico indica que la AEE debe establecer un método para aplicar *net-metering*, y devolver al cliente en forma de crédito a su factura o de forma monetaria el exceso de energía producida por el consumidor.

El exceso de producción en un período de 30 días pasa como ahorro para el próximo periodo de facturación. Este proceso se repite durante un año, y de haber más producción de energía que la energía consumida, la AEE registraría una deuda

² La cantidad de horas de radiación solar útil diaria en el sur y suroeste de Puerto Rico es de aproximadamente 7 horas. La capacidad de las placas se calcula a base de radiación nominal de 1000 vatios/ m^2 , sin embargo, en Puerto Rico la radiación es de aproximadamente 800 vatios/ m^2 , debido a lo cual el cómputo de salida de las placas se hace a base de radiación nominal de 1000 vatios/ m^2 y se disminuyen las horas útiles de sol de 7 a 6 horas.

a pagar al cliente, que debe acreditar y/o pagar en efectivo a razón de \$0.10 el kWh menos el 25 % del exceso que será donado al sistema público de enseñanza, resultando así un pago neto de exceso de energía producida a razón de \$.075 el kWh.

En las subsecciones 6.1.2 y 6.1.4 se analiza el costo-beneficio para determinar el ahorro derivado de la inversión en un sistema fotovoltaico de 2 kW de capacidad y de 5 kW respectivamente. El análisis se realiza utilizando variables como la capacidad instalada, el precio del equipo fotovoltaico, el consumo promedio diario, entre otras.

Para determinar la economía obtenida por la utilización de un sistema fotovoltaico, se aplicó la siguiente ecuación:

$$Ahorro(\$ / yr.) = \left(\frac{\$0.22}{kWh} \right) \left(\frac{6h}{d} \right) \left(\frac{300d}{yr.} \right) x(kW) \quad (6.4)$$

dónde \$0.22 es el costo aproximado por kW, $x(kW)$ es la capacidad x instalada del sistema fotovoltaico, 6 hrs representa la exposición a la radiación promedio por día en el sur y suroeste de Puerto Rico, y 300d representa 300 días del año con radiación solar.

El resultado de la ecuación 6.4 indica el ahorro anual derivado de la devolución de energía eléctrica a la red, que será descontada de la lectura mensual del contador eléctrico a razón de \$0.22 el kW, siempre y cuando el *net metering* sea igual o menor a la energía consumida a fin de año.

6.1.1. Determinación del beneficio económico y el IRR deseado utilizando Microsoft Excel

Se utilizó una herramienta del programa Microsoft Excel para determinar el IRR actual y el IRR deseado. El IRR actual fue calculado utilizando la función = $IRR()$ introduciendo entre los paréntesis el valor de las celdas que contienen el detalle de los flujos de efectivo que genera el invertir en un sistema fotovoltaico de 2kW y de 5kW de capacidad instalada respectivamente.

Para determinar el IRR deseado, se empleó la herramienta conocida como *Goal Seek* de Microsoft Excel. Esta herramienta permite alcanzar un valor predeterminado en una celda, cambiando otros valores en otras celdas. Para lograr el IRR deseado, se le indicó a Excel que se “fije” el valor de IRR cambiando la aportación gubernamental. El proceso para utilizar la función de “Goal Seek” comienza por identificar la celda que se desea cambiar, esa celda siempre debe contener una fórmula o función, en este caso, es el IRR que se desea manipular. El segundo paso es indicar el valor que se desea modificar, y el tercer paso es identificar la celda a cambiar para alcanzar ese valor, esta celda debe contener un valor numérico, y no puede contener ni fórmulas ni funciones. Los datos utilizados para calcular el IRR actual y el IRR deseado se detallan en los cuadros 6-2 al 6-8.

El detalle e itinerario de los flujos de efectivo utilizados en Microsoft Excel para cada caso de estudio se encuentra en el apéndice D en los cuadros D-2 y D-3.

6.1.2. Estimado de Costo y Ahorro para un Sistema Fotovoltaico de 2kW de capacidad instalada y pagos de interés no deducibles

Para un sistema fotovoltaico con capacidad instalada de 2kW, la producción de energía eléctrica traducida a términos económicos se determina aplicando la ecuación 6.4 y sustituyendo 2 por x :

$$Ahorro(\$/yr.) = \left(\frac{\$0.22}{kW} \right) (2(kW))(6h)(300d) = \$792/yr. \quad (6.5)$$

El resultado de la ecuación 6.5 representa el ahorro anual en dólares que se obtiene con un sistema fotovoltaico de 2kW de capacidad instalada. Esta cifra representa el ahorro que obtiene una persona por evitar consumir por una partida igual en energía eléctrica de la AEE.

Por otra parte, el costo del equipo conlleva un pago de interés sobre el principal, se fijará la tasa de interés a 8 % sobre el principal, el término del préstamo a 10 años, que los pagos se hacen mensualmente, y que se financiará la suma total del costo del equipo, pero en caso de que la persona desee refinanciar su hipoteca e incluir el equipo fotovoltaico como mejoras a su residencia, no aplicarían pagos por intereses ya que los intereses de una primera o segunda hipoteca en una primera o segunda residencia son deducibles de las planillas de contribución sobre ingresos. el cuadro 6–1 muestra detalles del préstamo calculados utilizando el programa *Numbers* de Apple:

Cuadro 6–1: Detalles del Pago de Préstamo para un Sistema Fotovoltaico de 2kW

Partida	Cantidad
Principal	\$18,000
Tasa anual de interés	8.00 %
Término (meses)	120
Pago mensual	\$218
Interés total incurrido	\$8,207
Total pagado	\$26,207

6.1.3. Flujos de Efectivo con un Sistema Fotovoltaico de 2kW

El cuadro 6-2 muestra el caso actual de invertir en un sistema fotovoltaico de 2kW de capacidad instalada. Este flujo de efectivo refleja el reemplazo en el inversor de corriente en el año 10 y en el año 20.³ Se aplica además la contribución gubernamental vigente para determinar la Tasa de Rendimiento Requerida (IRR, por sus siglas en inglés).

Cuadro 6-2: Flujo de Efectivo Actual de un Sistema de 2kW

Partida	Cantidad
Consumo Promedio	6.06 kWh
Producción	2 kW
Energía Comprada a la AEE	4.06 kWh
Precio (\$/kWh)	0.22
Factura Promedio Anual	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días por Año	300
Ahorro Anual	\$792
Balance Final a Pagar	\$24,707
Pago Anual por Préstamo	\$2,470.7
Pago Anual con un Sistema 2kW	\$4,078.70
Dif Mensual con un Sistema 2kW	\$139.89
Aportación Gubernamental	\$1,500
Porcentaje de Aportación Gubernamental	5.72 %
Tasa de Rendimiento Interna	-2.38 %

El cuadro 6-2 resume los parámetros que influyen sobre el ingreso que se obtiene invirtiendo en un sistema fotovoltaico de 2kW, además muestra el IRR de la inversión según las condiciones actuales. Con una aportación gubernamental de \$1,500, y el monto restante del préstamo financiado, el IRR es de -2.38%, lo cual significa que esa inversión no es viable.

³ Refiérase al apéndice D para el detalle de los flujos de efectivo.

El cuadro 6-3 muestra el caso de un sistema fotovoltaico de 2 kW de capacidad instalada y la aportación requerida del gobierno para aumentar la tasa de rendimiento interna. Este caso toma en consideración el reemplazo del inversor de corriente cada 10 años. y un término de vida de las placas de 25 años.

Cuadro 6-3: Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 2kW

Partida	Cantidad
Consumo Promedio	6.06 kWh
Producción	2 kW
Energía Comprada a la AEE	4.06 kWh
Precio (\$/kWh)	0.22
Factura Promedio Anual	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días por Año	300
Ahorro Anual	\$792
Balance Final a Pagar	\$10,111.07
Pago Anual por Préstamo	\$1,011.11
Pago Anual con un Sistema 2kW	\$2,619.11
Dif Mensual con un Sistema 2kW	\$18.26
Aportación Gubernamental Requerida	\$16,095.93
Porciénto de Aportación Gubernamental	61.42 %
Tasa de Rendimiento Interna	4.46 %

El cuadro 6-3 identifica los factores que influyen sobre el IRR. Existe un factor de suma importancia para alcanzar la viabilidad económica utilizando como base el IRR, y es la aportación gubernamental aplicada a la hora de invertir en un sistema fotovoltaico. Se determina que para alcanzar un IRR de 4.46 % que es comparable con el rendimiento de inversiones a largo plazo, se necesita una aportación gubernamental de un 61.42 %, o un total por 2kW de \$16,095.93 ó aproximadamente \$8.05 dólares por cada vatio instalado. La sección 1.2.1 de esta tesis muestra que en el Estado de California el gobierno estatal aporta \$2.75 por vatio instalado a los residentes de California que inviertan en sistemas fotovoltaicos, y aporta desde \$4.75 hasta \$7.00

por vatio instalado a familias de escasos recursos que decidan invertir en un sistema fotovoltaico.

El IRR es una medida útil a la hora de tomar una decisión con respecto a una inversión en particular ya que indica porcentualmente el rendimiento de esa inversión. Una vez se tenga el rendimiento que se deriva de una inversión, se puede comparar con otras posibles inversiones, ya que llevar a cabo esa inversión puede representar un costo de oportunidad al comprometer el dinero y perder una oportunidad de llevar a cabo otra inversión más rentable.

El cuadro 6-3 muestra además la diferencia entre el promedio pagado por energía de los clientes de la AEE que contestaron el cuestionario, el pago del préstamo, y los ahorros obtenidos por generar energía renovable que se vende a la AEE. Se determina que la suma del promedio pagado anualmente por energía eléctrica de \$2,400, más el pago de préstamo de \$1,011.11, menos la energía producida y vendida a la AEE mediante el *net-metering* en \$792, la diferencia que el cliente pagaría mensualmente sería de \$18.26 más que lo que paga actualmente en promedio.

El cuadro 6-4 Presenta el flujo de efectivo para un sistema de 2kW de capacidad instalada y que no paga intereses por que se deducen de la hipoteca de la residencia.

El cuadro 6-4 identifica los factores que influyen sobre el IRR en caso de que una persona adquiera un sistema fotovoltaico de 2kW de capacidad instalada y lo haga mediante una segunda hipoteca. En este caso, el pago de intereses no se calcula ya que es inherente al pago por la hipoteca y no por el sistema fotovoltaico ⁴. En este caso, se alcanza un IRR de 4.99 % con aportación gubernamental de un 46.61 %, o un total por 2kW de \$8,389.45 ó aproximadamente \$4.19 dólares por cada vatio

⁴ La ley permite deducir de la planilla sobre ingresos la totalidad de intereses pagados por primera y segunda hipoteca. Sin embargo, la responsabilidad contributiva no disminuye en igual cantidad.

Cuadro 6-4: Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 2kW Sin Pagos de Interests

Partida	Cantidad
Consumo Promedio	6.06 kWh
Producción	2 kW
Energía Comprada a la AEE	4.06 kWh
Precio (\$/kWh)	0.22
Factura Promedio Anual	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días por Año	300
Ahorro Anual	\$792
Balance Final a Pagar	\$9,610.55
Pago Anual por el Sistema Fotovoltaico	\$640.70
Pago Anual con un Sistema 2kW	\$2,248.70
Dif Mensual con un Sistema 2kW	\$12.61
Aportación Gubernamental Requerida	\$8,389.45
Porciénto de Aportación Gubernamental	46.61 %
Tasa de Rendimiento Interna	4.99 %

instalado. La sección 1.2.1 de esta tesis muestra que en el Estado de California el gobierno estatal aporta hasta \$7.00 por vatio.

En este caso, se obtiene un IRR similar al obtenido en el cuadro 6-3 con la diferencia de que la aportación gubernamental dedicada a sistemas de energía renovable es mucho menor, de \$8.05 a \$4.19 por cada vatio instalado.

El cuadro 6-4 muestra además la diferencia entre el promedio pagado por energía de los clientes de la AEE que contestaron el cuestionario, el pago por el sistema fotovoltaico, y los ahorros obtenidos por generar energía renovable que se vende a la AEE. Se determina que la suma del promedio pagado anualmente por energía eléctrica de \$2,400, más el pago por el sistema fotovoltaico de \$640.70, (calculado a 15 años) menos la energía producida y vendida a la AEE mediante el *net-metering* en \$792, la diferencia que el cliente pagaría mensualmente sería de \$12.61 más que lo que paga actualmente en promedio.

6.1.4. Estimado de Costo y Ahorro para un Sistema Fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada

Para un sistema fotovoltaico con capacidad instalada de 5kW, la producción de energía eléctrica traducida a términos económicos se determina aplicando la ecuación 6.4 y sustituyendo 5 en x :

$$Ahorro(\$/yr.) = \left(\frac{\$0.22}{kW} \right) (5(kW))(6h)(300d) = \$1,890/yr. \quad (6.6)$$

El resultado de la ecuación 6.6 representa el ahorro anual en dólares que se obtiene con un sistema fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada. Esta cifra representa el ahorro que obtiene una persona por evitar consumir por una partida igual en energía eléctrica de la AEE.

Por otra parte, el costo del equipo conlleva un pago de interés sobre el principal, se fijará la tasa de interés a 8 % sobre el principal, el término del préstamo a 10 años, que los pagos se hacen mensualmente, y que se financiará la suma total del costo del equipo. El cuadro 6-5 demuestra detalles del préstamo calculados utilizando el programa *Numbers* de Apple:

Cuadro 6-5: Detalles del Pago de Préstamo para un Sistema Fotovoltaico de 5kW

Partida	Cantidad
Principal	\$35,000
Tasa anual de interés	8.00 %
Término (meses)	120
Pago mensual	\$425
Interés total incurrido	\$15,958
Total pagado	\$50,958

6.1.5. Flujos de Efectivo con un Sistema Fotovoltaico de 5kW

El cuadro 6-6 muestra el caso de invertir en un sistema fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada. Este flujo de efectivo refleja el reemplazo en el inversor de corriente en el año 10 y en el año 20.⁵ Se aplica además la contribución gubernamental vigente para determinar la Tasa de Rendimiento Requerida (IRR por sus siglas en inglés).

Cuadro 6-6: Flujo de Efectivo Actual de un Sistema de 5kWh

Partida	Cantidad
Consumo Promedio	6.06 kWh
Producción	5 kW
Energía Comprada a la AEE	1.06 kWh
Precio (\$/kWh)	0.22
Factura Promedio Anual	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días por Año	300
Ahorro Anual	\$1,980
Balance Final a Pagar	\$49,458
Pago Anual por Préstamo	\$4,945.80
Pago Anual con un Sistema 5kW	\$5365.80
Dif Mensual con un Sistema 5kW	\$247.15
Aportación Gubernamental	\$1,500
Porciénto de Aportación Gubernamental	2.94 %
Tasa de Rendimiento Interna	-0.52 %

El cuadro 6-6 resume los parámetros que influyen sobre el ingreso que se obtiene al optar por invertir en un sistema fotovoltaico de 5 kW de capacidad instalada. El IRR es influenciado altamente por el la inversión inicial o el desembolso de dinero, y la aportación gubernamental. Según los parámetros presentes en el cuadro 6-6, se obtiene un IRR de -0.52%, por lo que no es económicamente viable invertir en un sistema de 5kWh de capacidad instalada teniendo en cuenta la inversión inicial (que

⁵ Refiérase al apéndice D para el detalle de los flujos de efectivo.

es el monto total del préstamo más los intereses) y el flujo de efectivo derivado de esa inversión.

El cuadro 6–7 muestra el caso de un sistema fotovoltaico de 5 kW de capacidad instalada y la aportación requerida del gobierno para optimizar la tasa de rendimiento interna.

Cuadro 6–7: Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 5kW

Partida	Cantidad
Consumo Promedio	6.06 kWh
Producción	5 kW
Energía Comprada a la AEE	1.06 kWh
Precio (\$/kWh)	0.22
Factura Promedio Anual	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días por Año	300
Producción Anual	\$1,980
Balance Final a Pagar	\$27,765.18
Pago Anual por Préstamo	\$2,776.52
Pago Anual con un Sistema 5kWh	\$3,196.52
Dif Mensual con un Sistema 5kWh	\$66.38
Aportación Gubernamental Requerida	\$23,192.82
Porciénto de Aportación Gubernamental	45.51 %
Tasa de Rendimiento Interna	4.47 %

En el cuadro 6–7 se identifican los factores que influyen sobre el IRR para un sistema fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada. Se determina que para alcanzar un rendimiento de 4.47% que es comparable con el rendimiento de inversiones a largo plazo, se necesita una aportación gubernamental de 45.51%, una cifra mucho menor que la aportación requerida para el caso de 2kW. La cantidad requerida es de \$23,192.82, o \$4.64 por cada vatio instalado. El Estado de Florida provee un incentivo económico de \$4.00 por vatio instalado, hasta un máximo de \$20,000.

El cuadro 6–7 muestra además el desembolso neto anual incurrido al instalar un sistema fotovoltaico de 5kW, y se obtiene de la diferencia entre el promedio pagado

por energía de los clientes de la AEE que contestaron el cuestionario, el pago del préstamo, y los ahorros obtenidos por generar energía renovable que se vende a la AEE. La suma del promedio pagado anualmente por energía eléctrica de \$2,400, más el pago de préstamo de \$2,776.52, menos la energía producida y vendida a la AEE mediante el *net-metering* en \$1,980, la diferencia que el cliente de la AEE estaría obligado a pagar es de \$66.38.

El cuadro 6–8 Presenta el flujo de efectivo para un sistema de 5kW de capacidad instalada y que no paga intereses por que se deducen de la hipoteca de la residencia.

Cuadro 6–8: Flujo de Efectivo Óptimo de un Sistema de 2kW Sin Pagos de Intereses

Partida	Cantidad
Consumo Promedio	6.06 kWh
Producción	5 kW
Energía Comprada a la AEE	4.06 kWh
Precio (\$/kWh)	0.22
Factura Promedio Anual	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días por Año	300
Ahorro Anual	\$1,980
Balance Final a Pagar	\$27,719.65
Pago Anual por el Sistema Fotovoltaico	\$1,847.98
Pago Anual con un Sistema 5kW	\$2,267.98
Dif Mensual con un Sistema 5kW	\$-11.00
Aportación Gubernamental Requerida	\$7,280.35
Porciénto de Aportación Gubernamental	20.80 %
Tasa de Rendimiento Interna	5.01 %

El cuadro 6–8 identifica los factores que influyen sobre el IRR en caso de que una persona adquiera un sistema fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada y lo haga mediante una segunda hipoteca ⁶. En este caso, el pago de intereses no

⁶ La ley permite deducir de la planilla sobre ingresos la totalidad de intereses pagados por primera y segunda hipoteca. Sin embargo, la responsabilidad contributiva no disminuye en igual cantidad.

se calcula ya que los intereses son inherentes al pago por la hipoteca y no por el sistema fotovoltaico. Para alcanzar un IRR de 5.01 %, se necesita una aportación gubernamental de un 20.80 %, o un total por 5kW de \$7,280.35 ó aproximadamente \$1.46 dólares por cada vatio instalado.

Para un sistema de 5kW de capacidad instalada y financiado con una hipoteca, se obtiene un IRR un poco mayor al obtenido en el cuadro 6–7 con una aportación gubernamental mucho menor. Se necesitan \$4.64 de aportación gubernamental para el caso de 5kW financiado con un préstamo y calculando el interés a 8 % para alcanzar un IRR de 4.47 %, contra una aportación de solo \$1.46 por cada vatio instalado en caso de que esa inversión sea financiada en una segunda hipoteca, o un 20.80 % del costo del equipo.

El cuadro 6–8 muestra además la diferencia entre el promedio pagado por energía de los clientes de la AEE que contestaron el cuestionario, el pago por el sistema fotovoltaico, y los ahorros obtenidos por generar energía renovable que se vende a la AEE. Se determina que la suma del promedio pagado anualmente por energía eléctrica de \$2,400, más el pago por el sistema fotovoltaico de \$1,847.98, (calculado a 15 años) menos la energía producida y vendida a la AEE mediante el *net-metering* en \$1,980, el cliente obtendría un ingreso adicional anual de \$132 pagado por la AEE al 75 %, ó \$99 netos anuales.

6.2. Análisis del Cuestionario

Esta sección muestra y analiza las respuestas obtenidas del cuestionario. Entre los análisis que se presentan, se encuentra un análisis de tabulación cruzada entre la variable respuesta y las variables de ingreso, pago por energía eléctrica, nivel de satisfacción con la AEE y el grado de confianza en la AEE. También se muestran histogramas para mostrar visualmente la distribución de las respuestas.

6.2.1. Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y la Variable de Ingreso

Cuadro 6-9: Variable Respuesta versus Ingreso

		p18 vs. p7					
		1	2	3	4	5	All
Sí		0	0	39	119	6	164
		0	0	23.78	72.56	3.66	10
		0	0	66.1	90.84	85.71	47.95
		0	0	11.4	34.8	1.75	47.95
No		61	84	20	3	1	169
		36.09	49.7	11.83	1.78	0.59	100
		100	100	33.9	2.29	14.29	49.24
		17.84	24.56	5.85	0.88	0.29	49.24
No Sé		0	0	0	9	0	9
		0	0	0	100	0	100
		0	0	0	6.87	0	2.63
		0	0	0	2.63	0	2.63

El cuadro 6-9 muestra que de las personas que contestaron el cuestionario y están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 39 personas u 11.4% de todos los encuestados tienen ingresos entre \$40,000 y \$54,999. 119 personas o 34.8% de todos los encuestados contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico tienen ingresos entre \$55,000 y \$69,999. Estas dos opciones representaron

la mayoría de los casos de las personas que contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 61 personas ó 17.84 % de la muestra total tienen ingresos entre \$10,000 y \$24,999. 84 personas o 24.56 % de todos los encuestados contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico tienen ingresos entre \$25,000 y \$39,999. 20 personas o 5.85 % de todos los encuestados contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico tienen ingresos entre \$40,000 y \$54,999. Estas tres opciones representaron la mayoría de los casos de las personas que contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no saben si están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 9 personas ó 2.63 % de la muestra total tienen ingresos entre \$55,000 y \$69,999.

6.2.2. Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y la Variable de Pago Mensual Promedio por Energía Eléctrica

Cuadro 6-10: Variable Respuesta versus Pago por Energía

		p18 vs. p9				
		0	1	2	3	All
Sí		0	42	98	24	164
		0	25.61	59.76	14.63	100
		0	28	91.59	100	47.95
		0	12.28	28.65	7.02	47.95
No		61	108	0	0	169
		36.09	63.91	0	0	100
		100	72	0	0	49.42
		17.84	31.58	0	0	49.42
No Sé		0	0	9	0	9
		0	0	100	0	100
		0	0	8.41	0	2.63
		0	0	2.63	0	2.63

El cuadro 6-10 muestra que de las personas que contestaron el cuestionario y están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 42 personas ó 12.28 % de estos pagan entre \$100 y \$199 por su factura mensual de energía eléctrica. 98 personas ó 28.65 % de todos los encuestados y contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico pagan entre \$200 y \$299 por su factura mensual de energía eléctrica. 24 personas ó 7.02 % de todos los encuestados y contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico pagan entre \$300 y \$399 por su factura mensual de energía eléctrica.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 61 personas ó 17.84 % de la muestra total pagan

entre \$3⁷ y \$99. 108 personas ó 31.58% de todos los encuestados contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico pagan entre \$100 y \$199 por su factura mensual de energía eléctrica.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no saben si están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 9 personas ó 2.63% pagan entre \$200 y \$299 por su factura mensual de energía eléctrica.

⁷ El cargo de \$3 corresponde al pago mínimo mensual para la tarifa del “Servicio Residencial General (GRS)” [42].

6.2.3. Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y el Nivel de Satisfacción con la AEE

Cuadro 6–11: Variable Respuesta versus Satisfacción con la AEE

		p18 vs. p10			
		1	2	3	All
Sí		24	140	0	164
		14.63	85.37	0	100
		28.24	56.45	0	47.95
		7.02	40.94	0	47.95
No		61	108	0	169
		36.09	63.91	0	100
		71.76	43.55	0	49.42
		17.84	31.58	0	49.42
No Sé		0	0	9	9
		0	0	100	100
		0	0	8.41	2.63
		0	0	2.63	2.63

El cuadro 6–11 muestra que de las personas que contestaron el cuestionario y están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 24 personas ó 7.02% de estos están insatisfechos con el servicio que ofrece la AEE. 98 personas ó 40.94% de todos los encuestados y contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico están parcialmente satisfechos con el servicio que ofrece la AEE.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 61 personas ó 36.09% de la muestra total están insatisfechos con el servicio que ofrece la AEE. Mientras que 108 personas ó 31.58% de todos los encuestados contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico están parcialmente satisfechos con el servicio que ofrece la AEE.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no saben si están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 9 personas ó 2.63 % están satisfechos con el servicio que ofrece la AEE.

6.2.4. Análisis de Tabulación Cruzada para la Variable Respuesta y Confianza en Mejoras en la AEE

Cuadro 6–12: Variable Respuesta versus Confianza en la AEE

		p18 vs. p11			
		0	1	2	All
Sí		1	141	22	164
		0.61	85.98	13.41	100
		0.85	98.6	27.16	47.95
		0.29	41.23	6.43	47.95
No		108	2	59	169
		63.91	1.18	34.91	100
		91.53	1.4	72.84	49.42
		31.58	0.58	17.25	49.42
No Sé		9	0	0	9
		100	0	0	100
		7.63	0	0	2.63
		2.63	0	0	2.63

El cuadro 6–12 muestra que de las personas que contestaron el cuestionario y están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 1 persona ó 0.29 % de estos creen que la AEE mejorará el servicio. 141 personas ó 41.23 % de todos los encuestados y contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico creen que permanecerá igual el servicio de la AEE. Mientras que 22 personas ó 6.43 % de todos los encuestados y contestaron estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico creen que empeorará el servicio de la AEE.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 108 personas ó 31.58 % de la muestra total creen que la AEE mejorará el servicio. 2 personas ó 0.58 % de todos los encuestados contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico creen que

permanecerá igual el servicio de la AEE. Mientras que 59 personas ó 17.25 % de todos los encuestados y contestaron no estar dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico creen que empeorará el servicio de la AEE.

Del total de personas que contestaron el cuestionario y no saben si están dispuestos a invertir en un sistema fotovoltaico, 9 personas ó 2.63 % creen que empeorará el servicio de la AEE.

6.2.5. Correlación Entre Variables

En esta sección se realiza un estudio para determinar la correlación de las variables independientes mas relevantes, con la variable de interés: Si está dispuesto a invertir en un sistema fotovoltaico.

La correlación correspondiente entre la variable respuesta “si está dispuesto a invertir en un sistema fotovoltaico” (P_{18}) y la variable Ingreso Bruto Anual (P_7) es de -0.677. Esto explica que a medida que una persona está dispuesta a invertir en un sistema fotovoltaico, dentro de las categorías de esa variable el ingreso bruto anual aumenta en 0.677 de 1.

La correlación correspondiente entre la variable respuesta “si está dispuesto a invertir en un sistema fotovoltaico” (P_{18}) y la variable “cantidad mensual promedio que paga por energía eléctrica” (P_9) es de -0.603. Esto explica que a medida que una persona está dispuesta a invertir en un sistema fotovoltaico, dentro de las categorías de esa variable el pago promedio mensual por energía eléctrica aumenta en 0.603 de 1.

La correlación correspondiente entre la variable respuesta “si está dispuesto a invertir en un sistema fotovoltaico” (P_{18}) y la variable “nivel de satisfacción con el servicio que ofrece la AEE” (P_{10}) es de -0.016 lo cual es próximo 0. Esto explica que la correlación es casi inexistente entre estas variables.

La correlación correspondiente entre la variable respuesta “si está dispuesto a invertir en un sistema fotovoltaico” (P_{18}) y la variable “creer en la AEE” (P_{11}) es de -0.33. Esto explica que a medida que una persona está dispuesta a invertir en un sistema fotovoltaico, dentro de las categorías de esa variable creer en la mejora del servicio en general que ofrece la AEE empeorará en 0.33 de 1.

6.2.6. Análisis de Histogramas

En la figura 6-1 se puede observar que una muestra tomada 342 personas encuestados, se tienen 140 personas del sexo masculino, lo que equivale decir que el

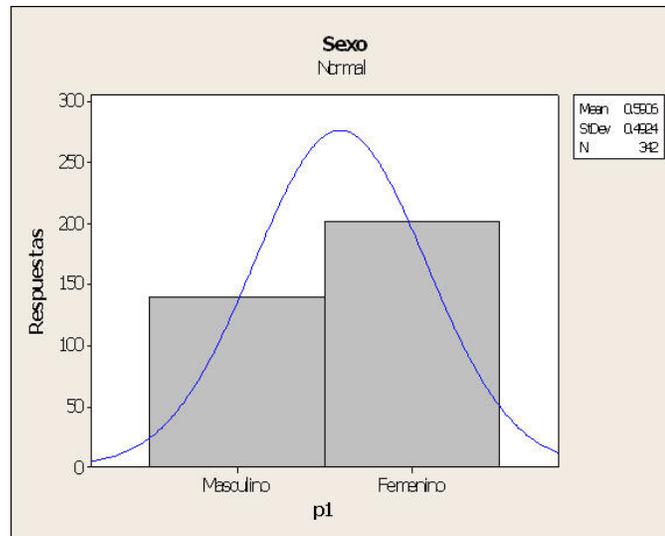


Figura 6-1: Sexo

40.9% de las personas encuestadas fueron hombres y un total de 202 del sexo femenino, lo que equivale a decir que un 59.1% de las personas encuestadas fueron mujeres.

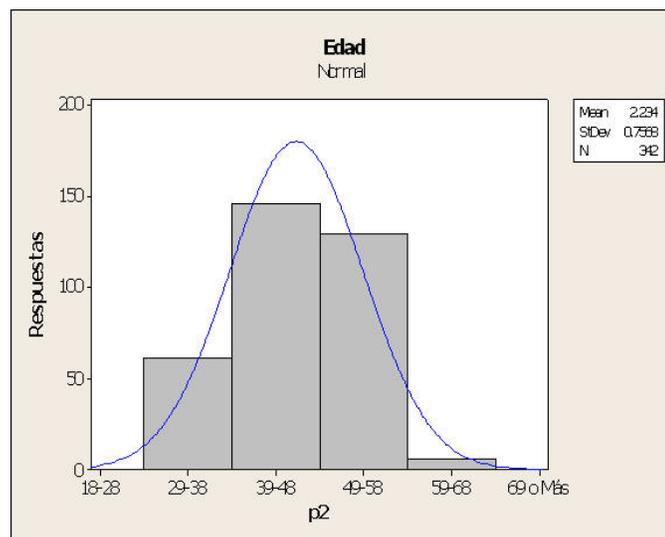


Figura 6-2: Edad

En la figura 6-2 se ve claramente que en la muestra total de 342 personas encuestadas para la variable de interés Si estará dispuesto en invertir en un sistema fotovoltaico, que las personas que están en una edad de 39 a 48 años de edad son las personas que más representaron en el estudio con un 42.7% de participación total,

mientras que las personas que menos participaron en el estudio, fueron las personas que se encuentran entre 18 y 28 años representando un 0% de su participación.

También se observa que las personas que tienen una edad entre 29 y 38 años representan un 17.8% de las personas encuestadas, un 37.7% representan a las personas encuestadas entre una edad de 49 y 58 años, y un 1.8% de las personas encuestadas representan a las personas que están en la tercera edad, es decir; personas que están en los 69 años o más de edad.

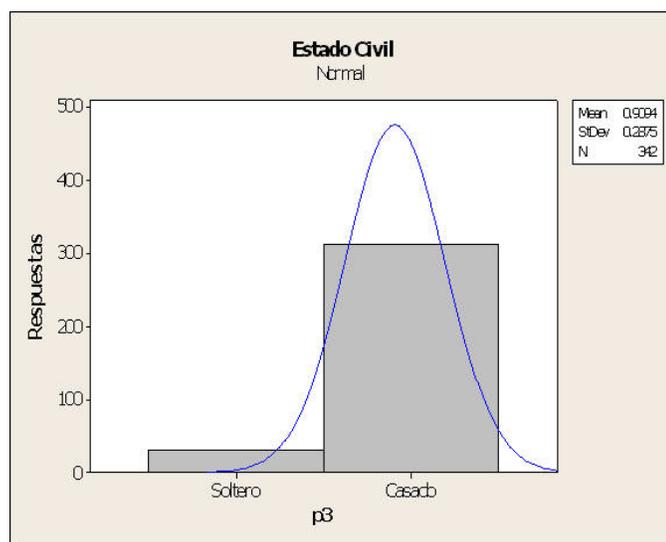


Figura 6-3: Estado Civil

En la figura 6-3, se puede observar claramente que la mayor participación de las personas encuestadas en la muestra para el estudio es el 90.9% son personas casadas, esto es, que de las 342 personas encuestadas 311 contestaron que son casadas, es decir; que las personas que tuvieron una mayor representación en el estudio sobre las personas que desean invertir en un sistema fotovoltaico son casadas, mientras que las personas solteras solamente representan un 9.1% de la muestra total, contestando solamente 31 personas.

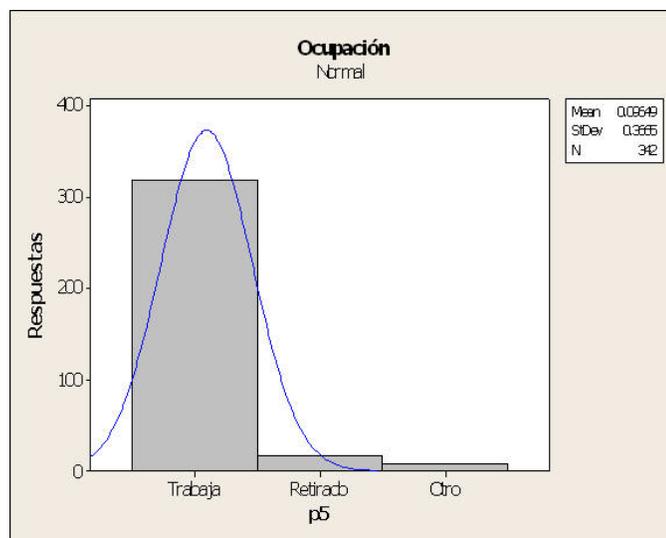


Figura 6-4: Ocupación

En la figura 6-4, se observa que para la variable sobre la ocupación de las personas encuestadas en el estudio en una muestra de 342 personas, se encontró que 317 de estas personas trabaja, representando un 92.7% del total de las personas, también se encontró que 17 personas son retiradas representando un 5% de las personas encuestadas, y con un porcentaje mínimo de 2.3% las personas respondieron otro tipo de ocupación, dentro de estas ser: ama de casa, estudiante, que fueron 8 personas las encuestadas.

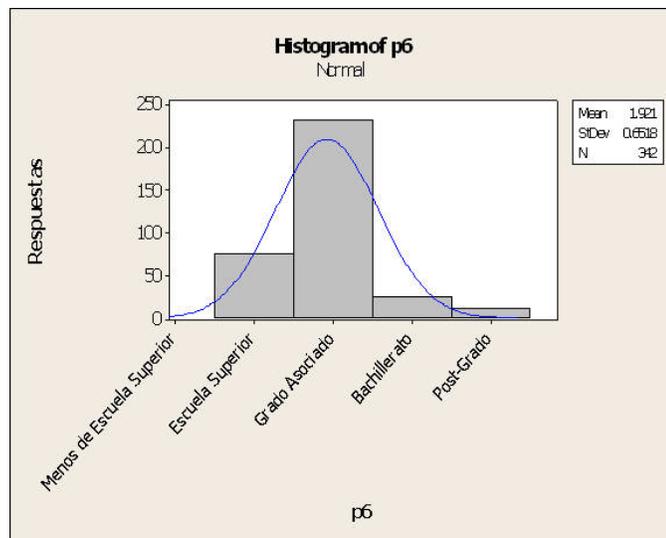


Figura 6-5: Nivel de Educación

La figura 6-5, muestra a través del histograma de distribución de frecuencias que las personas encuestadas según de nivel de educación tienen un mayor porcentaje con 67.5% cuyo nivel de educación es de grado asociado, es decir se encontró que 231 personas respondieron que tienen ese nivel de educación. También se encontró que 75 de las personas tienen un nivel de educación de escuela superior representando un 21.9%, y con una representación mínima de 3.5% para las personas que tienen un post-grado siendo 12 de estas personas las que respondieron.

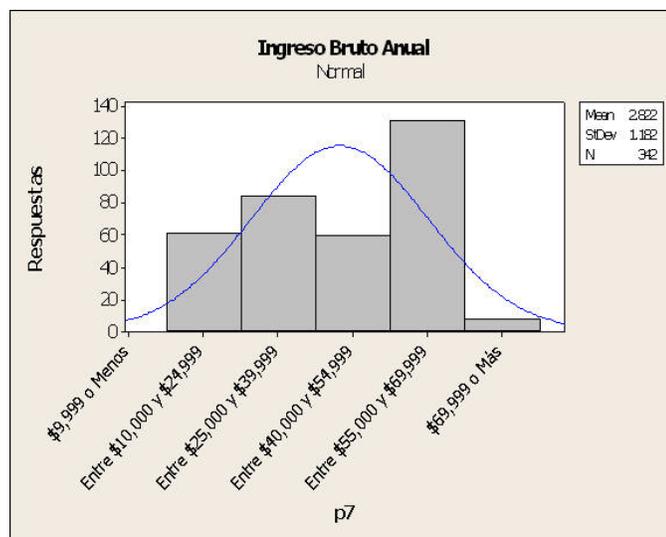


Figura 6-6: Ingreso Bruto Anual

A través de la figura 6-6, se aprecia que las personas encuestadas tienen una mayor representación en la variable sobre su ingreso bruto anual \$55.000 y \$69.000, en la que contestaron 131 de las personas con este ingreso, es decir, representan un 38.3% de la muestra, y se encontró también que el porcentaje mínimo de 2.0% son para las personas que contestaron que tienen un ingreso \$69.000 o más anual siendo este porcentaje de solamente 7 personas encuestadas.

También vale mencionar que las personas que tienen un ingreso anual de \$29.000 y \$39.000 representan un 25.6% de las personas encuestadas, y un 17.3% y 17.8% de las personas con un ingreso anual de \$40.000 a \$54.000 y \$10.000 a \$24.000 respectivamente. Y se nota claramente que no hay ninguna representación de la muestra para las personas que tienen un ingreso anual bruto de \$9.999 o menos.

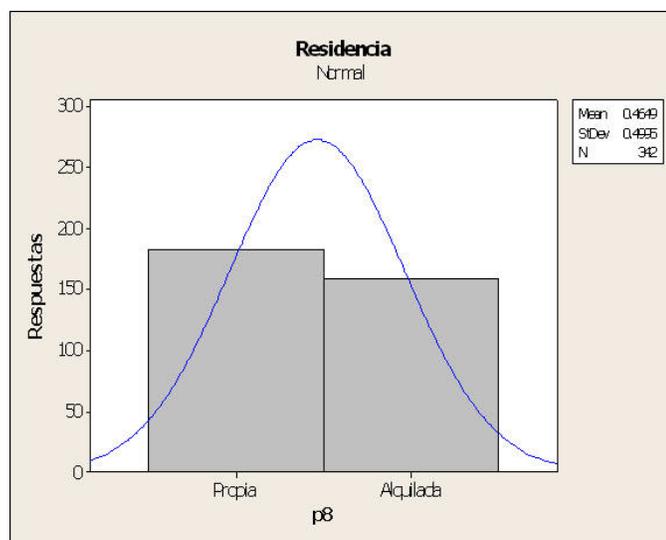


Figura 6-7: Residencia

La figura 6-7 muestra que las personas encuestadas, respondieron 183 personas cuentan con residencia propia, es decir el 53.5% de la muestra encuestada, mientras que el 46.5% de las personas encuestadas representa a las personas que tienen residencia alquilada.

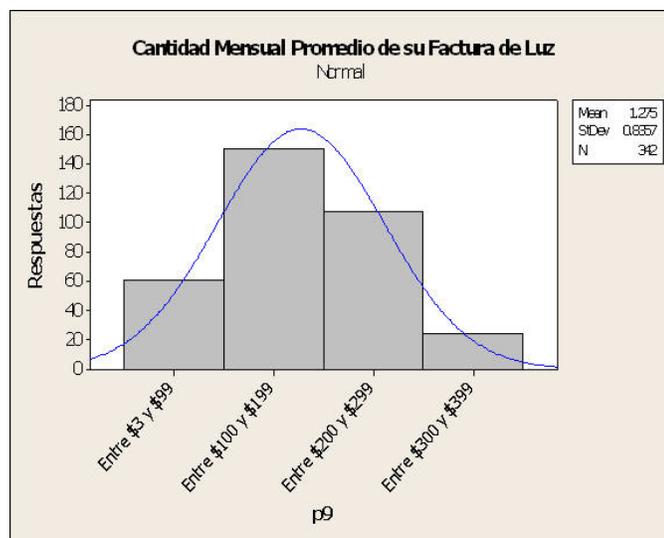


Figura 6-8: Cantidad Mensual Promedio de su Factura de Luz

En la figura 6-8 se observa que el mayor porcentaje de las personas encuestadas que respondieron a la pregunta sobre la cantidad mensual promedio que pagan energía eléctrica son aquellas personas que tienen su ingreso entre \$100 y \$199 mensual promedio, se encontró que 150 de las personas encuestadas respondieron con dicho ingreso, y representan el ingreso mensual mínimo aquellas personas cuyo ingreso promedio mensual está entre \$300 y \$399 que fueron 24 las personas que respondieron a este ingreso mensual promedio. Y 61 y 107 personas respondieron que su ingreso promedio mensual está entre \$3 y \$99 y entre \$200 y \$299 respectivamente, representando el 17.8% y 31.3% respectivamente.

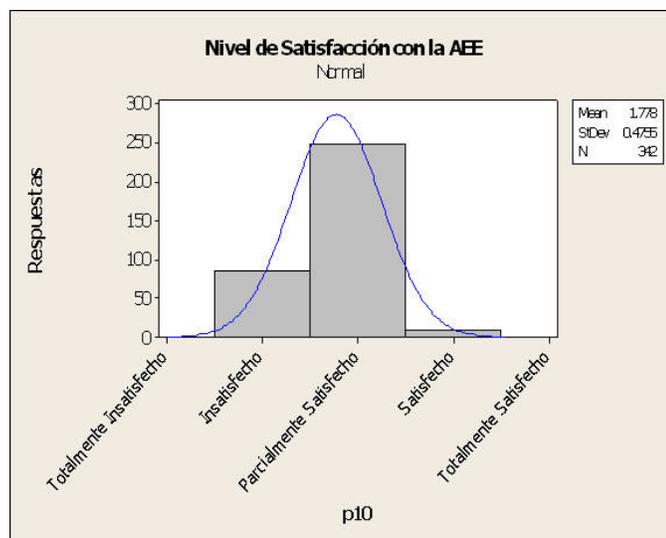


Figura 6-9: Nivel de Satisfacción con la AEE

En la variable: nivel de satisfacción con el servicio que ofrece la AEE según la figura 6-9 se observa que el mayor porcentaje de las personas encuestadas quedan parcialmente satisfechos con dicho servicio, es decir, representan un 72.5% de la muestra, habiendo contestado 248 personas, mientras que 9 de estas personas solamente contestaron que quedan satisfechos con este servicio siendo un 2.6%. También hay un 0% de las personas en la que no quedan totalmente satisfechos y totalmente insatisfechos con este servicio, y un 24.6% de las personas encuestadas respondieron que quedan insatisfechas con dicho servicio.

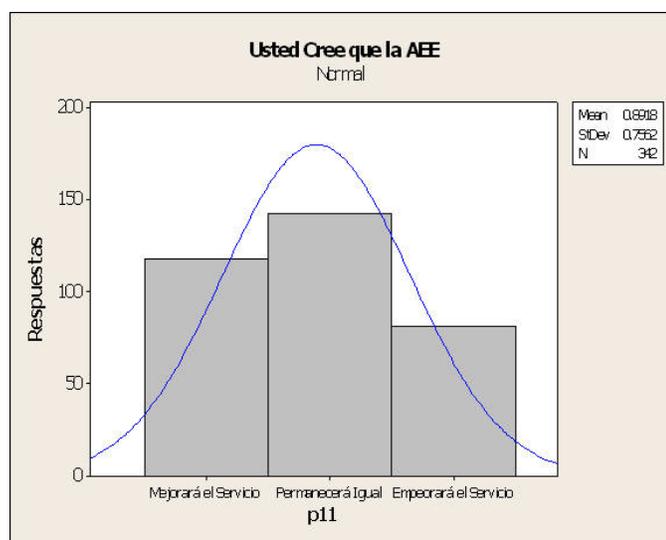


Figura 6-10: Usted Cree que la AEE

Con respecto a la variable en que la persona encuestada cree en el mejor servicio en la AEE segun la figura 6-10, se encuentra que el 41.8% de las personas cree que el servicio de la AEE permanecerá igual, mientras que en un 34.5% contestó que mejorará su servicio y un 23.7% de estas personas creen que el servicio empeorará. La

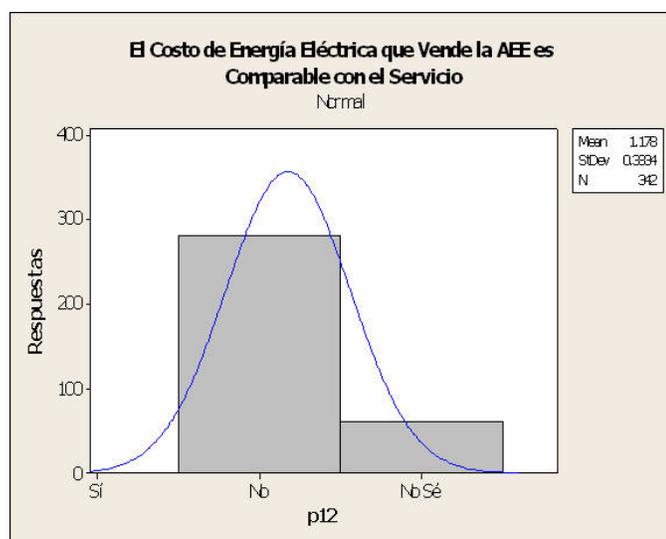


Figura 6-11: Comparación del Costo de Energía Eléctrica con el Servicio de la AEE figura 6-11 indica que las personas encuestadas contestaron que el costo de energía eléctrica que le vende la AEE no es comparable con la calidad del mismo, es decir, se encontró que un 82.2% de estas personas encontraron la negativa, correspondiendo

a este porcentaje 281 personas, mientras que el 17.8% respondieron que no saben, y ninguna de las personas encuestadas respondieron que si son comparables.

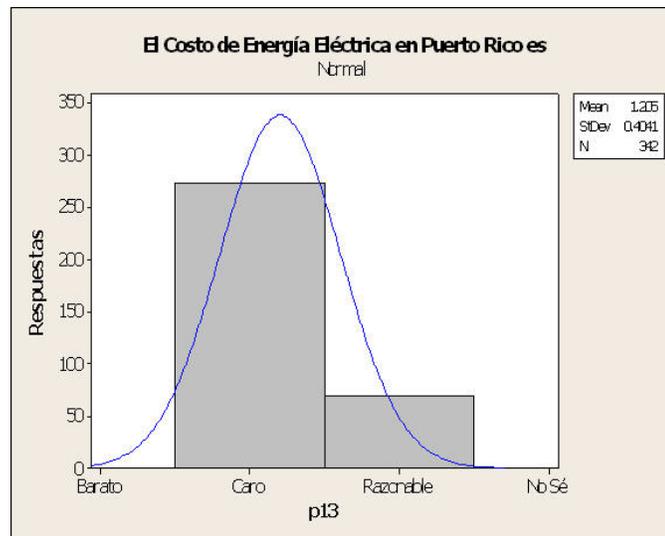


Figura 6-12: El Costo de Energía Eléctrica en Puerto Rico es:

Segn las personas encuestadas que respondieron sobre el costo de energía eléctrica en Puerto Rico según la figura 6-12, se encontró que el 79.5% representan a las personas que respondieron que el costo es caro, mientras que un 20.5% de ellas respondieron que el costo es razonable, y además se ve claramente que no hay un porcentaje representativo en las personas que crean que el costo sea barato, inclusive que no sepan con respecto al costo de energía eléctrica en Puerto Rico.

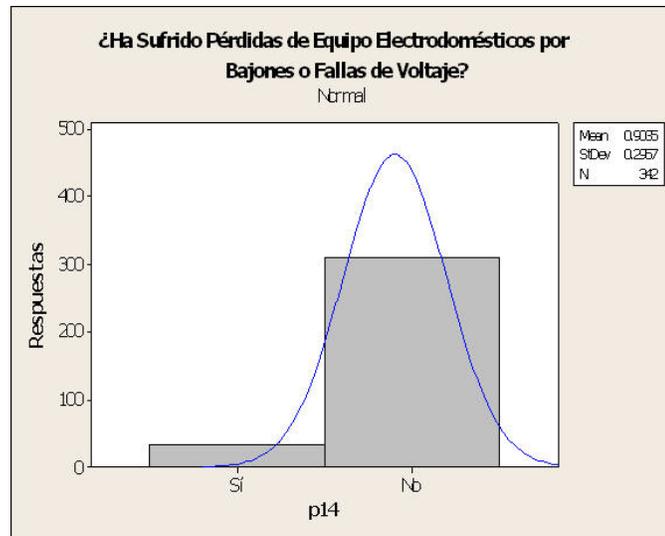


Figura 6-13: Pérdidas de Electrodomésticos por Fallas de Voltaje

En la figura 6-13, se muestra que el 90.4% de las personas encuestadas respondieron que no han sufrido pérdidas electrodomésticas debido a fallas o bajones de voltaje, es decir, respondieron 309 personas encuestadas, mientras que solamente un 9.6% aceptaron haber sufrido alguna pérdida de artefactos electrodomésticos.

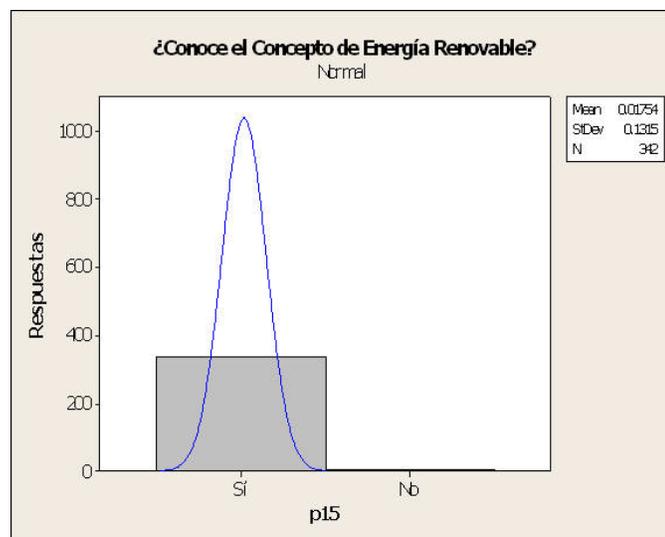


Figura 6-14: Conoce el Concepto de Energía Renovable

La figura 6-14 muestra que el 98.2% de las personas encuestadas tienen conocimiento de lo que es la energía renovable, mientras que el 1.8% no saben sobre el conocimiento de la energía renovable.

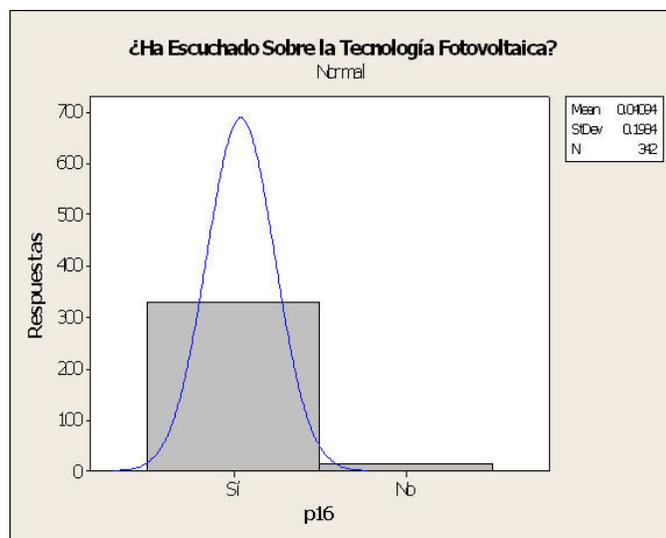


Figura 6-15: Conocimiento Sobre la Tecnología Fotovoltaica

Las personas encuestadas a responder sobre el conocimiento de la tecnología de la energía fotovoltaica según la figura 6-15, se observa que el 95.9% respondieron que si tienen conocimiento, mientras que solamente un 4.1% respondieron que no sabían o no habían escuchado sobre esta variable.

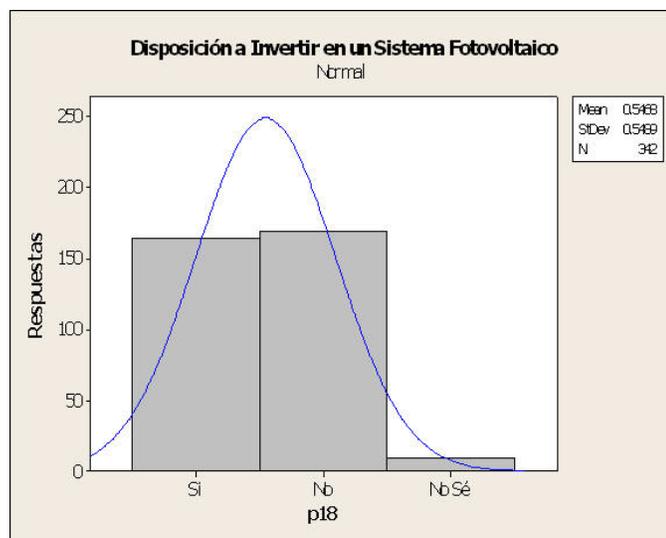


Figura 6-16: Disposición a Invertir en un Sistema Fotovoltaico

En la figura 6-16, se observa el porcentaje de las personas encuestadas que contestaron a que si les gustaría invertir en un sistema fotovoltaico es mayor cuando rechazaron a esta pregunta, es decir un 49.4% no les gustaría tener dicho sistema habiendo contestado 169 personas de la muestra total, y un 48% de las personas si les gustaría tener este sistema fotovoltaico, mientras que un 2.6% de estas personas aún no se han decidido si quisieran tenerlo o no.

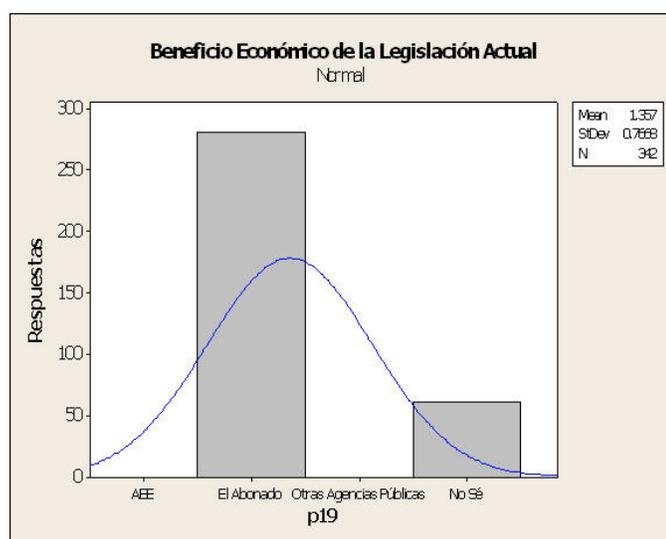


Figura 6-17: Beneficio Económico de la Legislación Actual

En la figura 6-17 se observa que las personas encuestadas creen que el abonado económicamente se beneficiaran más de la legislación actual con respecto al sistema

fotovoltaico obteniéndose un mayor porcentaje de 82.2% del total de la muestra. Y personas que tienen dudas, que aún no saben tienen un 17.2% de haber dado su respuesta, mientras que ninguna de estas personas respondieron que el beneficiado económicamente sería la AEE u otra agencia pública.

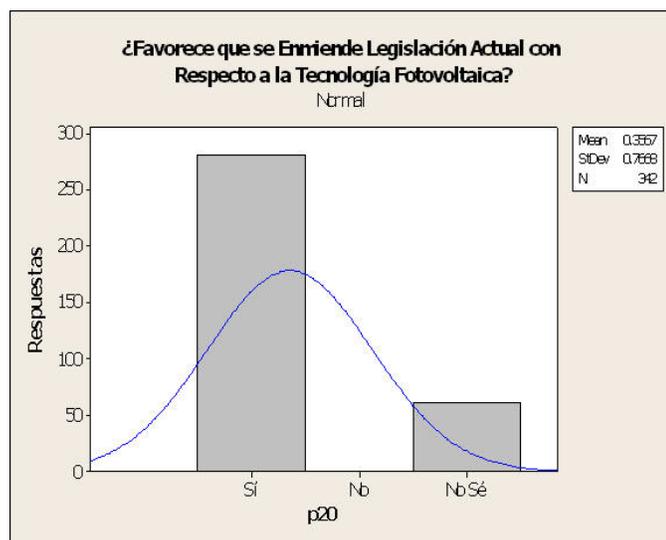


Figura 6–18: ¿Favorece que se Enmiende la Ley Actual con Respecto a la Tecnología Fotovoltaica?

La figura 6–18 muestra claramente el mayor porcentaje para las personas encuestadas relacionadas con la pregunta a responder sobre el favorecimiento que se enmienda la legislación para que se implanten beneficios contributivos para las personas que poseen un sistema fotovoltaico de 82.2%, es decir este porcentaje corresponde a 281 personas del total de la muestra encuestada, mientras que el 17.8% no saben si tendrá algún beneficio o no este sistema correspondiendo a 62 de las personas encuestadas. Y personas que dieron su negativa a este beneficio representan un 0%, es decir, de las personas encuestadas ninguna respondió que serían beneficiadas.

Capítulo 7

Hallazgos, Conclusiones y Recomendaciones

El objetivo principal de esta investigación era determinar la viabilidad económica a invertir en sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en residencias en el sur y suroeste de Puerto Rico.

Viabilidad económica se definió como la capacidad de que el sistema fotovoltaico genere suficiente flujo de efectivo igual o mayor a invertir en instrumentos de capital, depositar el dinero en una cuenta bancaria o llevar a cabo otro tipo de inversión. Entre los elementos fundamentales que se utilizaron para el análisis económico se encuentra el costo del equipo, el costo de capital y la aportación gubernamental requerida para alcanzar un IRR similar o mayor a los instrumentos de inversión.

A continuación se presentan los hallazgos, conclusiones y recomendaciones de la investigación divididas en tres subsecciones: Hallazgos, Recomendaciones para Política Pública y Limitaciones y Recomendaciones para Estudios Futuros.

7.1. Hallazgos

En caso de que una persona decida invertir en un sistema fotovoltaico con 2kW de capacidad instalada, es posible alcanzar un IRR de 4.46 % con una aportación gubernamental del 61.42 % del costo total incluyendo intereses sobre el principal ó de \$8.05 por vatio instalado, desglosados como sigue: \$16,095.93/2000 vatios instalados. En caso de que la persona opte por refinanciar su residencia y acogerse a una segunda hipoteca e incluir el costo del equipo en la hipoteca, los intereses serán deducibles de la planilla sobre ingresos, en cuyo caso se alcanza un IRR de 4.99 % con una aportación gubernamental del 46.61 % del costo total desglosados como sigue: \$8,389.45/2000 vatios, que equivale a \$4.19 por cada vatio instalado.

Para el caso de un sistema fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada, la aportación gubernamental debe ser de 45.51 % ó \$4.64 por vatio instalado. En caso de que la persona pague por el equipo fotovoltaico refinanciando su residencia y no por medio de otro tipo de préstamos, se puede alcanzar un IRR de 5.01 % con aportación gubernamental de \$1.46 por cada vatio instalado ó 20.80 % del costo del equipo. Cabe señalar que en el Estado de Florida la aportación gubernamental asciende a \$4.00 por vatio instalado que se desembolsan en forma de reembolso en efectivo ó “Cash-Back”.

7.2. Conclusiones

Al realizar los análisis correspondientes, se concluye que, en este momento, no es económicamente viable invertir en sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica en Puerto Rico. La no-viabilidad se debe al alto costo del equipo fotovoltaico y la poca aportación gubernamental en la actualidad. Para alcanzar un rendimiento de 4.5 % comparable con instrumentos de inversión, certificados de depósito u otros instrumentos de inversión de largo plazo, es imprescindible aumentar la aportación gubernamental. Esta aportación, en términos porcentuales del costo total del equipo, disminuye a medida que aumente la capacidad instalada del equipo fotovoltaico.

La aportación gubernamental puede ser mediante un reembolso en efectivo como se hace en el Estado de Florida, o mediante un crédito contributivo. Más importante que la manera en que se lleva a cabo la aportación del gobierno, es bajar el costo total del equipo y hacerlo más rentable a través de los años. Dentro del análisis se toman en cuenta elementos cuantificables como el costo inicial del equipo, los intereses sobre el principal en caso de que una persona tome prestado el dinero para financiar el equipo, el ahorro económico en energía eléctrica y mantenimiento y reemplazo del equipo. Los paneles fotovoltaicos son garantizados por el fabricante por un término de 25 años por lo que el análisis para determinar el rendimiento se traza a base de ese término. El inversor de corriente tiene una vida útil menor, lo cual incluye posibles cambios por mejora en la tecnología, por lo que se presume su reemplazo cada 10 años.

El gobierno y la AEE se beneficiarían además de la implantación en masa de la tecnología fotovoltaica ya que la cantidad de energía que producen los ciudadanos en su residencia y que se deposita a la red eléctrica, es energía que la AEE no tiene que producir. Esto lleva a menor exposición de la AEE a fluctuaciones del precio del combustible, además de que adoptaría una cultura de innovación tecnológica. El sistema fotovoltaico aliviaría la demanda por energía en horas pico, cargando menos las plantas generatrices al alimentar la red eléctrica con energía producida con los sistemas fotovoltaicos de los individuos. La AEE, además, incurriría en menos inversión en plantas nuevas de generación eléctrica y podría redirigir los recursos económicos de esa compañía pública para otros fines.

Otro de los beneficios de aplicar la tecnología fotovoltaica es disminuir la quema de combustibles y la emisión de gases y partículas relacionados a la producción de energía eléctrica. Esto se traduce en un mejor ambiente, disminución en los efectos de invernadero y aire más puro aumentando así la calidad de vida de la ciudadanía.

Se encontró que el gobierno de Puerto Rico juega un papel de suma importancia ya que al proveer parte de los fondos a las personas que invierten en sistemas fotovoltaicos, disminuyen la inversión inicial total y esto aumenta el IRR. En la actualidad, el IRR que se obtiene al aplicar los parámetros existentes es negativo, por lo que no representa una ganancia económica cuantificable para el inversionista.

7.3. Recomendaciones para Política Pública

Se recomienda al Gobierno de Puerto Rico adoptar medidas para fomentar la inversión en la tecnología fotovoltaica. Estas medidas ayudarán a disminuir el costo total del equipo fotovoltaico y estimularían la inversión en esta tecnología lo cual resulta beneficioso para el abonado, para la AEE, para el ambiente y para estimular la economía. El abonado se beneficiaría reduciendo su consumo por energía eléctrica a la AEE resultando en un ahorro en el pago de su factura mensual, las aportaciones del gobierno ayudan a que la inversión en el equipo fotovoltaico sea similar a invertir en un Certificado de Depósito, u otras inversiones a largo plazo.

Se recomienda establecer un sistema de incentivos industriales para que compañías dedicadas a la producción de placas fotovoltaicas inicien operaciones en Puerto Rico y garanticen precios bajos en la venta de sus productos en el mercado local. Esto garantizaría una disminución en los costos de las placas fotovoltaicas para el consumidor, además de disminuir la aportación gubernamental requerida para las personas que inviertan en sistemas fotovoltaicos.

La AEE se beneficia directamente por la energía producida con los sistemas fotovoltaicos instalados y conectados a la red eléctrica, ya que suplen energía eléctrica que la AEE no tiene que producir. Esto alivia el sistema eléctrico de la AEE en horas pico y disminuye la necesidad del petróleo y otras fuentes no-renovables para producir energía eléctrica, y reduce la necesidad de construir nuevas plantas generatrices. El ambiente se beneficia por la disminución de emisiones de gases y partículas que dañan la capa de ozono y la calidad del aire.

La economía se beneficia una vez se estimule la inversión en sistemas fotovoltaicos de energía eléctrica ya que surgen oportunidades de nuevos comercios y la posibilidad de instalación de fábricas de placas y equipo fotovoltaico, estimulando aún más la economía con la creación de nuevos empleos.

Es evidente el hecho de que a medida que aumenta la capacidad instalada de placas fotovoltaicas, la aportación gubernamental, disminuye porcentualmente del costo total. Esto tiene un efecto positivo ya que las personas pueden optar por instalar un sistema de 2kW inicialmente y luego aumentar la capacidad haciendo inversiones posteriores. Se recomienda que el gobierno establezca una forma para deducir de la planilla sobre ingresos la proporción de costo del equipo necesaria para que el inversionista alcance un IRR de al menos 4.5 % y que incentive a las personas a invertir en mayor capacidad generatriz a medida que pase el tiempo.

Recientemente en Puerto Rico se reconoció que es importante buscar formas alternas de producción de energía y se aprobó una ley que obliga a la AEE a establecer un sistema de medición neta. En Puerto Rico los incentivos económicos ofrecidos por el gobierno no son suficientes para que las personas interesadas en invertir en este tipo de tecnología puedan obtener un beneficio económico comparable con otras formas de inversión.

Sin embargo, en los Estados Unidos de América y en otros países se han adoptado medidas no solamente para incentivar económicamente a las personas al invertir en sistemas alternos de generación de energía eléctrica con fuentes renovables, sino para disminuir la dependencia del petróleo y otras fuentes no-renovables para producir energía eléctrica para el bien de la economía, la sociedad y el ambiente.

Producir energía eléctrica con fuentes renovables ayuda a disminuir la dependencia del petróleo por parte de la AEE y de otras fuentes no-renovables para producir energía eléctrica en la misma cantidad a la que se produce con fuentes renovables. En el presente, el costo de energía eléctrica en Puerto Rico es muy costoso en comparación con muchos Estados de los Estados Unidos de América y se debe en gran medida al alto costo del petróleo y a las fluctuaciones en el precio de este y de otros combustibles fósiles.

7.4. Limitaciones y Recomendaciones para Estudios Futuros

Se recomienda un estudio futuro dónde se tome en cuenta el costo de un equipo fotovoltaico incluyendo baterías de resguardo ó planta eléctrica de 3kW-6kW. Este sistema ayuda a suplir energía eléctrica temporera en caso de que falle la energía eléctrica de la AEE. El sistema fotovoltaico sin resguardo de baterías es menos costoso y disminuye la compra total de energía eléctrica a la compañía de energía eléctrica, pero no supe energía en caso de interrupciones en el servicio eléctrico ó en casos de emergencia.

Es importante mencionar que el análisis que se llevó a cabo en esta investigación toma en cuenta elementos de la actualidad, tales como precio por vatio, incentivos gubernamentales, eficiencia del equipo fotovoltaico y el costo de capital. Se recomienda llevar a cabo un estudio futuro tomando en cuenta la nueva tecnología que está en investigación como los puntos cuánticos, placas de unión múltiple y otras que estan mencionadas en el capítulo 2. Se recomienda analizar además el beneficio económico derivado de aplicar la tecnología fotovoltaica de esta ser producida en Puerto Rico. Se recomienda llevar a cabo un análisis económico utilizando como base radiación nominal de 1000 vatios/ m^2 y 7 horas de radiación solar útil diaria para la zona sur y suroeste.

Se recomienda analizar el beneficio en la economía de Puerto Rico de establecerse una meta del gobierno de Puerto Rico o de la AEE en disminuir el consumo de petróleo para producir energía eléctrica a largo plazo. ¿Cuánto disminuirá el costo de energía eléctrica y cuánto beneficio derivan las corporaciones operando en la Isla si la AEE adopta una medida acelerada para reemplazar en gran parte el petróleo por fuentes renovables? ¿Cuál es el ambiente político necesario para incentivar a fabricantes de placas fotovoltaicas a invertir y comenzar operaciones en la Isla y el efecto de esto sobre el costo de las placas fotovoltaicas que se vendan en Puerto

Rico? ¿Cuánto disminuyen en general los precios de los bienes y servicios si se adoptan medidas dirigidas a disminuir la dependencia del petróleo para producir energía eléctrica en Puerto Rico? Estas son parte de las interrogantes que surgen y que se recomienda su estudio en el futuro para brindar un campo propicio para mejorar la economía de la Isla.

APÉNDICES

Apéndice A

Encuesta Utilizada

Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez
Colegio de Administración de Empresas
Carta de Consentimiento Informado para Participar en una Investigación de
Tesis

Cuestionario de Tesis: Análisis Económico para la Implantación de la
Tecnología Fotovoltaica a Residencias en el Sur y Suroeste de Puerto Rico

Cordial saludo,

En un esfuerzo por fortalecer la investigación académica y como parte del requisito de graduación de Maestro en Administración de Empresas, estoy llevando a cabo un estudio sobre la viabilidad económica en la inversión de formas alternativas de generación de energía eléctrica, específicamente, con energía solar en Puerto Rico. Este estudio va dirigido al abonado residencial de la AEE.

Este cuestionario ayudará a determinar el grado de aceptación y conocimiento de los abonados de la AEE sobre esta tecnología, disposición a invertir en la misma, y cuán receptivo está el abonado respecto a fuentes de energía renovable.

Es por esto que lo estoy invitando a participar en el siguiente cuestionario. Su participación en este estudio es libre y voluntaria. La información provista es anónima y completamente confidencial y no será divulgada a persona alguna o institución. Sus respuestas no se divulgarán individualmente sino en el conjunto con todos los cuestionarios contestados. Las respuestas serán utilizadas únicamente para propósitos del estudio.

Una vez finalice el mismo, los cuestionarios serán destruidos, garantizando de esta manera, la confidencialidad de sus respuestas. Nuevamente, le agradecemos su valiosa cooperación en este proyecto.

Eyad Ali Fares
Estudiante Graduado, Colegio de Administración de Empresas
Universidad de Puerto Rico
Recinto Universitario de Mayagüez

He leído esta Carta de Consentimiento y se me dio la oportunidad de hacer preguntas. Doy mi consentimiento para participar en este estudio.

Instrucciones: Por favor complete el cuestionario respondiendo a todas las preguntas.

Importante: Marque con una cruz o una marca de cotejo (✓) "check mark" los cuadros que correspondan a sus respuestas a cada pregunta. El tiempo de respuesta del cuestionario es de aproximadamente 5 minutos.

Perfil del Abonado

1. Sexo:

Masculino Femenino

2. Edad:

18-28 29-38 39-48 49-58 59-68 69 o más

3. Estado Civil:

Soltero Casado

4. Número de Dependientes:

Ninguno de 1-3 4 o más

5. Ocupación:

Trabaja Retirado Otro (estudiante, ama de casa, etc.)

6. Nivel de Educación:

Menos de Escuela Superior Escuela Superior Grado Asociado
 Bachillerato Post-Grado

7. Ingreso Bruto Anual:

\$9,999 o menos Entre \$10,000 y \$24,999 Entre \$25,000 y \$39,999
 Entre \$40,000 y \$54,999 Entre \$55,000 y \$69,999 \$69,000 o más

8. Residencia:

Propia Alquilada Otro (Vive con Padres, Familiares, etc.)

9. Cantidad Mensual Promedio que paga por energía eléctrica:

Entre \$3 y \$99 Entre \$100 y \$199 Entre \$200 y \$299 Entre \$300 y \$399
 \$400 o más

Nivel de Satisfacción Actual con la AEE

10. Mida el nivel de satisfacción con el servicio que ofrece la AEE

- Totalmente Insatisfecho Insatisfecho Parcialmente Satisfecho
 Satisfecho Totalmente Satisfecho

11. Usted cree que la AEE:

- Mejorará el Servicio Permanecerá Igual Empeorará el Servicio

12. ¿Cree usted que el costo de energía eléctrica que le vende la AEE es comparable con la calidad del mismo?

- Sí No No Sé

13. Cree usted que el costo de energía eléctrica en Puerto Rico es:

- Barato Caro Razonable No Sé

14. ¿Ha sufrido pérdidas electrodomésticos debido a fallas o bajones de voltaje?

- Sí No

Fuentes Alternativas de Energía

15. ¿Conoce el concepto de energía renovable?

- Sí No No Estoy Seguro

16. ¿Ha escuchado sobre la tecnología fotovoltaica (generación de energía eléctrica mediante energía solar)?

- Sí No

17. ¿Posee un sistema fotovoltaico?

- Sí No

18. Si contestó no a la pregunta anterior, ¿estaría dispuesto a invertir en un sistema fotovoltaico?

- Sí No No Sé

La Ley Núm. 114 de 16 de agosto de 2007 provee un beneficio económico para los clientes residenciales y/o comerciales que posean un equipo de generación de energía renovable. El beneficio económico es como sigue:

1. aplicación de medición neta: Esto ocurre cuando la cantidad de energía eléctrica producida por el cliente con su equipo de energía renovable es equivalente a la cantidad consumida, y así dejando un balance neto de consumo en 0 kW. En este caso, la AEE está obligada a cobrar al cliente una cantidad mínima que no exceda la cantidad mínima que cobra a residentes ordinarios que no consumen electricidad durante un periodo de facturación. Esta cantidad es de \$3.00 en la actualidad
2. La AEE está obligada a acreditar al cliente retroalimentante el exceso de horas-kilovatios generadas durante el periodo de facturación hasta un máximo diario de trescientos kilovatios hora (300 kW/hora) para clientes residenciales. El crédito por el exceso de energía será pagado al cliente al final de cada año en un 75% a 10¢ el kW. El 25% restante será concedido a la Autoridad de Energía Eléctrica para distribuirlos en créditos o rebajas en las facturas de electricidad de las escuelas públicas.

La ley no contempla alivio contributivo alguno similar a los calentadores solares.

19. ¿Quién usted cree que económicamente se beneficiaría más de la legislación actual con respecto al sistema fotovoltaico?

AEE El Abonado Otras Agencias Públicas No Sé

20. ¿Favorece que se enmiende la legislación para que se implanten beneficios contributivos para las personas que poseen equipos fotovoltaicos?

Sí No No Sé

*Universidad de Puerto Rico en Mayagüez
Decanato de Asuntos Académicos
Comité para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación
(CPSHI/IRB)*

07-08 EF 02

25 de febrero de 2008

Sr. Eyad Ali Fares
Villa del Carmen
Ave. Constancia
Ponce, P. R., 00716-2143

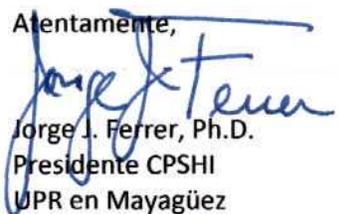
Estimado Sr. Fares:

Después de examinar su propuesta de investigación titulada *Análisis económico para la implantación de la tecnología fotovoltaica en el sur y suroeste de Puerto Rico*, el CPSHI concede gustosamente la aprobación. Tratándose de una encuesta anónima, no es necesario documentar por escrito el consentimiento informado de los participantes conforme a lo estipulado en 45 CFR 46.117 (c).

La aprobación de su propuesta de investigación se extiende desde el 26 de febrero de 2008 hasta el 26 de febrero de 2009. Le recuerdo que cualquier modificación de su proyecto necesitaría pasar por una nueva revisión por parte de este Comité.

Le deseo mucho éxito en su trabajo de investigación y quedo a sus órdenes para cualquier pregunta o clarificación ulterior que estimase necesaria.

Atentamente,

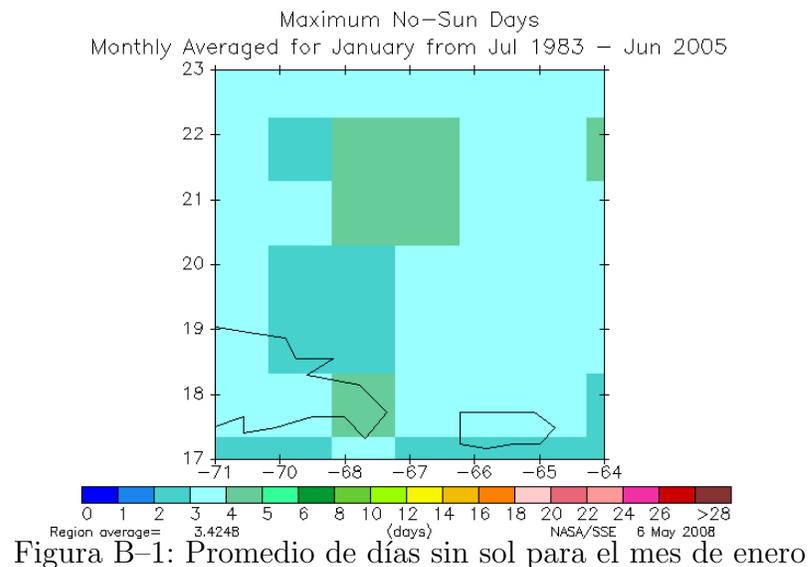

Jorge J. Ferrer, Ph.D.
Presidente CPSHI
UPR en Mayagüez

C/c: Dra. Yolanda Ruiz
Dra. Loida Rivera

Apéndice B

Gráficas del Promedio de Días Sin Sol

En esta sección se presentan las gráficas de días no soleados por año [43]. Estos datos fueron utilizados para calcular el tiempo de exposición solar diaria útil para generar energía eléctrica. El período de observación fue de 22 años, desde julio de 1983 hasta junio 2005.



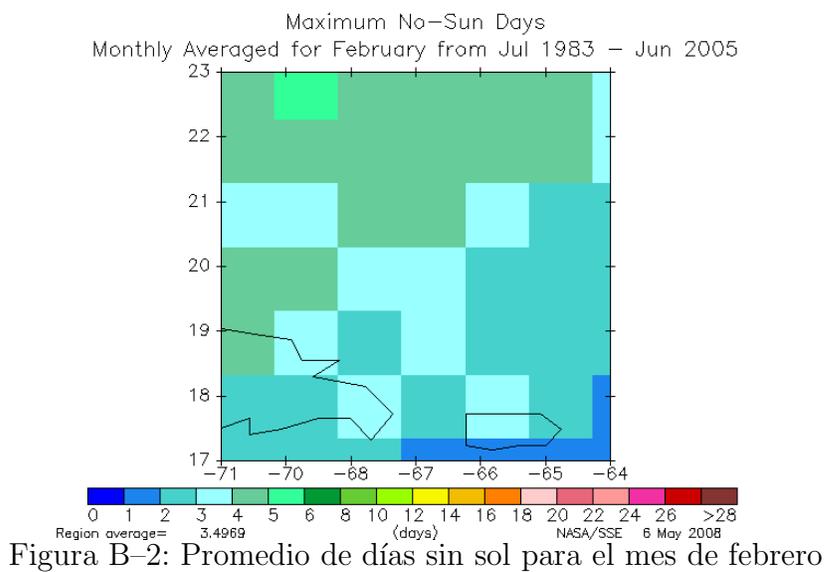


Figura B-2: Promedio de días sin sol para el mes de febrero

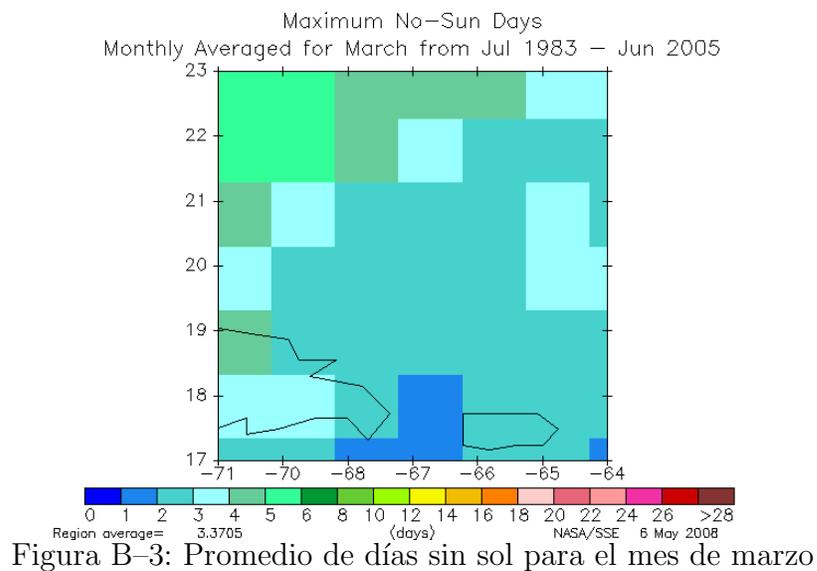


Figura B-3: Promedio de días sin sol para el mes de marzo

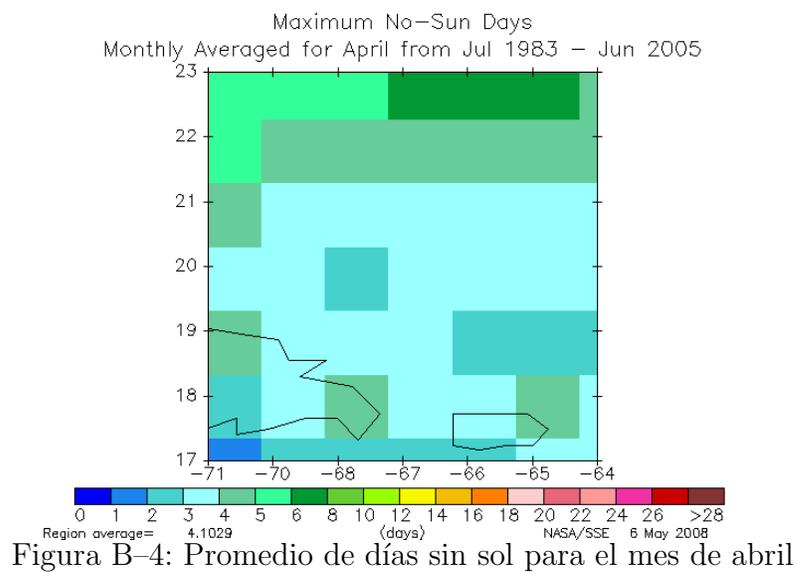


Figura B-4: Promedio de días sin sol para el mes de abril

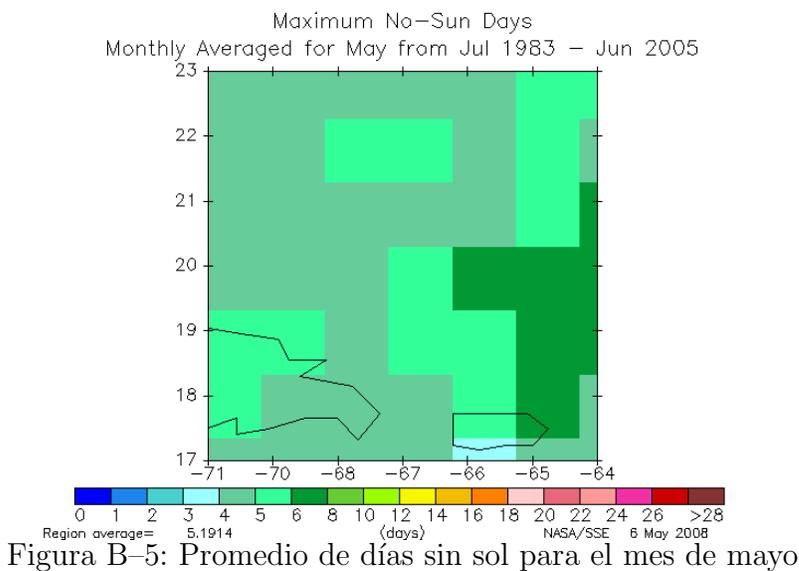
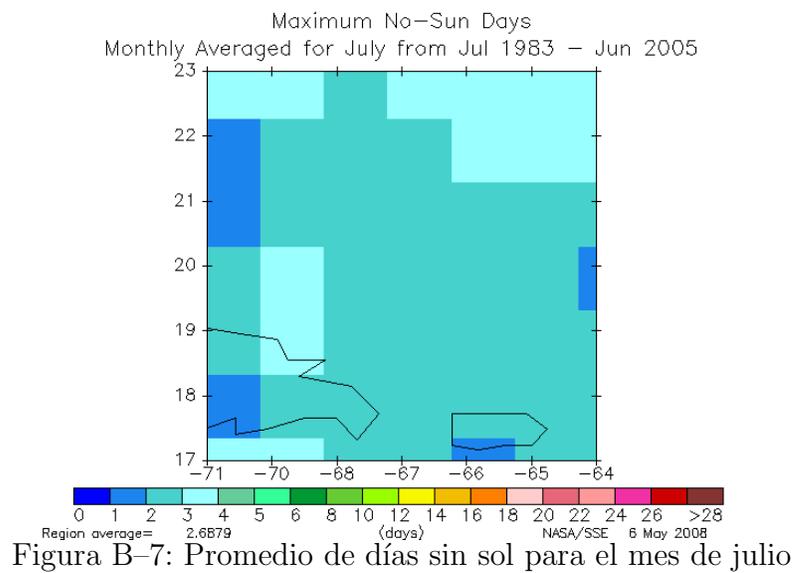
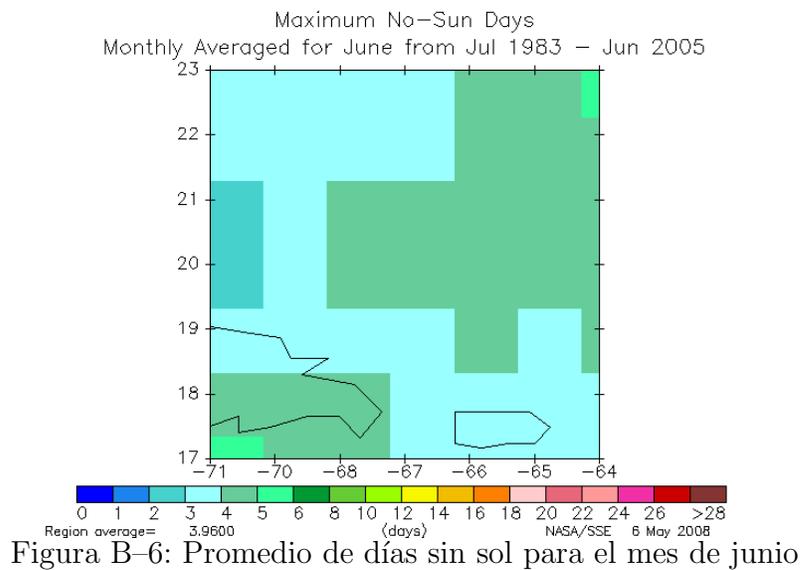


Figura B-5: Promedio de días sin sol para el mes de mayo



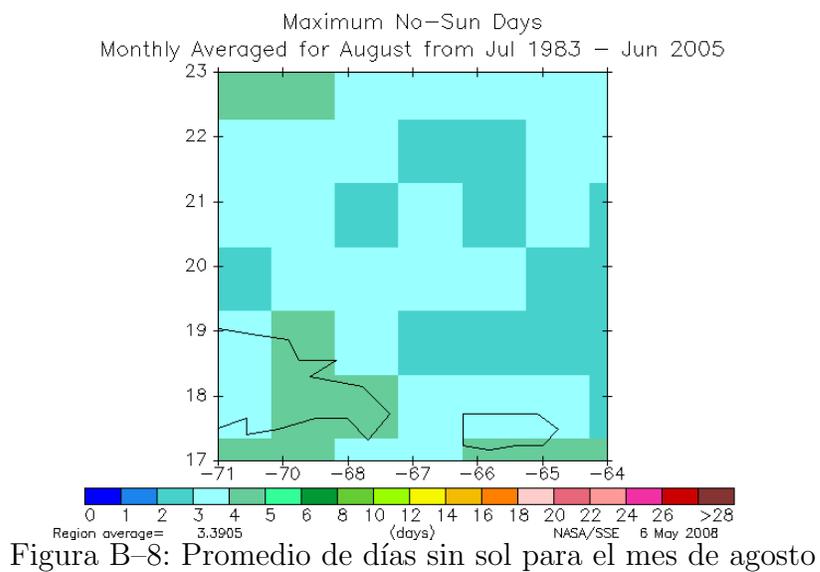


Figura B-8: Promedio de días sin sol para el mes de agosto

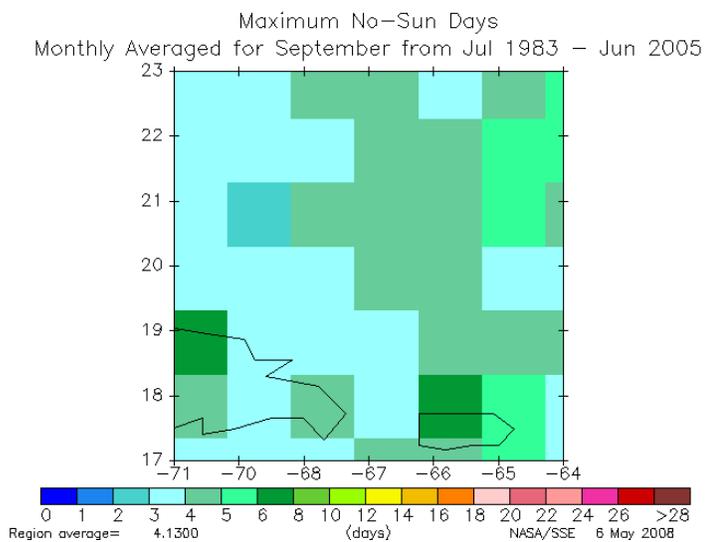


Figura B-9: Promedio de días sin sol para el mes de septiembre

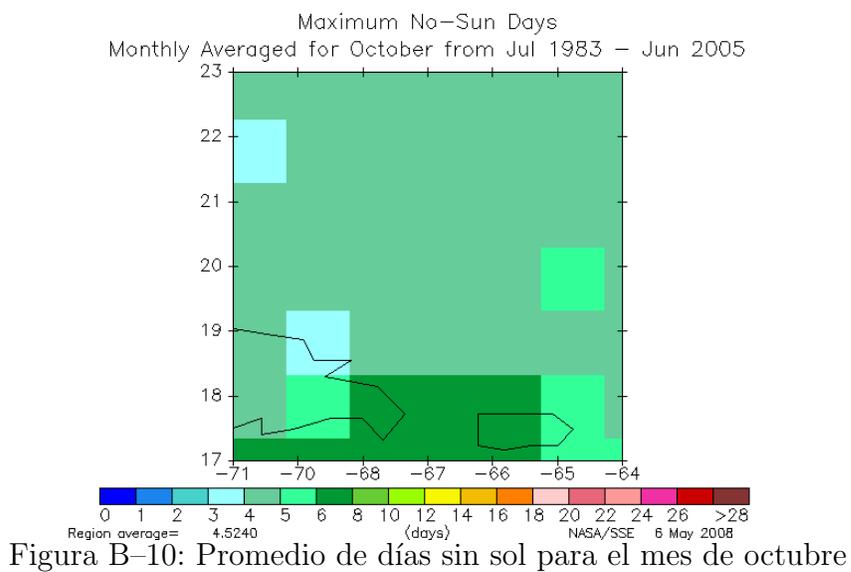


Figura B-10: Promedio de días sin sol para el mes de octubre

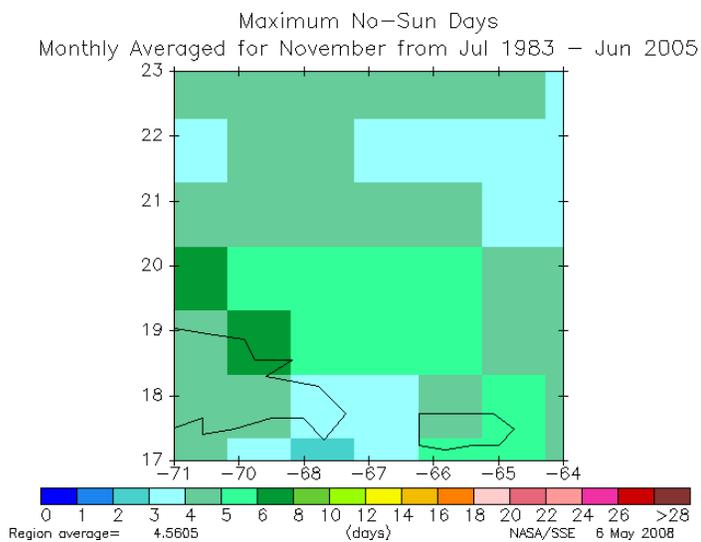


Figura B-11: Promedio de días sin sol para el mes de noviembre

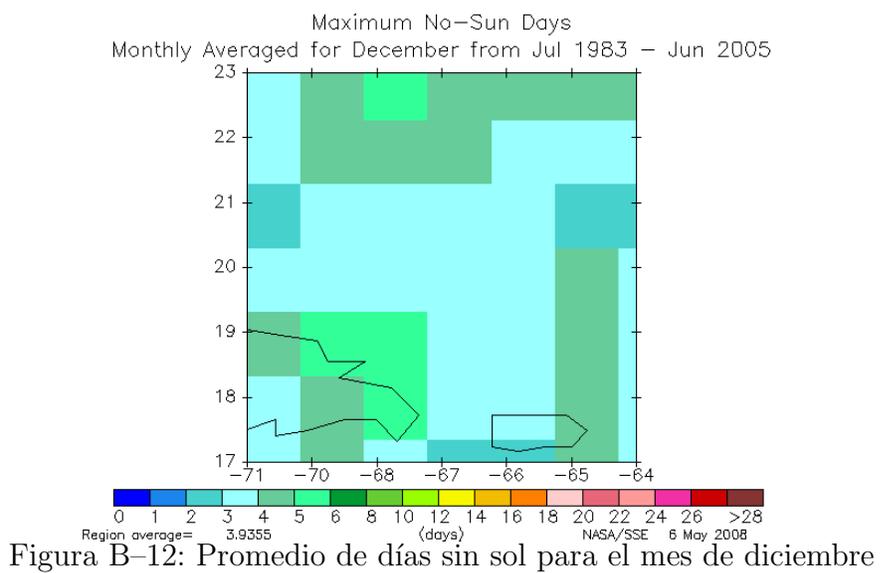


Figura B-12: Promedio de días sin sol para el mes de diciembre

Apéndice C

Programa Javascript Utilizado Para Determinar el Tamaño de la Muestra

C.1. Declaración de Variables

```
var Pi=Math.PI; var PiD2=Pi/2; var PiD4=Pi/4; var Pi2=2*Pi
var e=2.718281828459045235; var e10 = 1.105170918075647625
var Deg=180/Pi
function Norm(z) {
    z=Math.abs(z)
    var p=1+ z*(0.04986735+ z*(0.02114101+ z*(0.00327763+
z*(0.0000380036+ z*(0.0000488906+ z*0.000005383))))))
    p=p*p; p=p*p; p=p*p
    return 1/(p*p)
}
function ANorm(p) { var v=0.5; var dv=0.5; var z=0
    while(dv>1e-6) { z=1/v-1; dv=dv/2; if(Norm(z)>p) { v=v-dv } else { v=v+dv } }
    return z
}
}
```

C.2. Programa Javascript

```

//Sample Size for Proportion with Acceptable Absolute Precision
and Significant Level
function compute7(form) {
var nsize4 = parseFloat(form.n7.value);
    var p7 = parseFloat(form.psize7.value);
var alpha7 = parseFloat(form.alpha7.value);
var aerror7 = parseFloat(form.AER7.value);
//conditions*****
var ns1 = nsize4 + "";    //forcing it to be a string
if(ns1.indexOf(".") != -1) {
alert("n-must be positive integer."); }
else {
if((p7 < 0)|| (p7 > 1)) {
alert("P must be between 0 and 1"); }
else {
if(alpha7 >= 0.5 ) {
alert("Alpha is too large.") }
else {
if(aerror7 <= 0) {
alert("Error must be positive."); }
else {
var z1 = ANorm(alpha7);
    var A = (z1/aerror7)*(z1/aerror7);
    var B = p7*(1-p7)*A;

```

```
var ssize = B;  
var nsize = Math.ceil(ssize);  
form.sample.value=nsize;  
}  
}  
}  
}  
}
```

Apéndice D

Itinirarios de Flujo de Efectivo

En este apéndice se detallan los flujos de efectivo calculados para obtener los IRRs actuales y deseados. Para calcular cualquier IRR deseado, es necesario cambiar la aportación gubernamental requerida con la herramienta de Microsoft Excel *Goal Seek*. El cuadro D-1 muestra datos meteorológicos y económicos actuales en Puerto Rico.

Cuadro D-1: Datos Meteorológicos y Económicos Actuales en Puerto Rico

Detalle	Cantidad
Precio (\$/kWh)	\$0.22
Factura Promedio (\$/yr)	\$2,400
Horas de Sol Diario	6
Días Soleados por Año	300

Cuadro D-2: Itinerario de Flujo de Efectivo para un Sistema Fotovoltaico de 2kW de Capacidad Instalada

Detalle	Cantidad
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
Cambio Inversor $((2\text{kWh} * \\$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) - \\$1,750) =$	-\$958.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
Cambio Inversor $((2\text{kWh} * \\$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) - \\$1,500) =$	-\$708.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00
$(2\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$792.00

Cuadro D-3: Itinerario de Flujo de Efectivo para un Sistema Fotovoltaico de 5kW de capacidad instalada.

Detalle	Cantidad
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
Cambio Inversor $((5\text{kWh} * \\$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) - \\$1,750) =$	\$230.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
Cambio Inversor $((5\text{kWh} * \\$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) - \\$1,500) =$	\$480.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00
$(5\text{kWh} * \$0.22 * 6\text{hrs.} * 300\text{días}) =$	\$1,980.00

Bibliografía

- [1] National Solar Radiation Data Base (NSRDB).
http://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb.
- [2] Florida Solar Energy Center. *http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/index.html*
- [3] Green Power Network: Net Metering Policies.
<http://www.eere.energy.gov/greenpower/markets/netmetering.shtml>.
- [4] The California Solar Initiative CSI. *<http://www.gosolarcalifornia.ca.gov/csi/index.html>*.
- [5] The California Solar Initiative CSI (Solar for Low-Income Households).
http://www.cpuc.ca.gov/PUC/energy/Solar/070424_csilowincome.html.
- [6] The California Solar Initiative CSI (Cash Back for Solar on Your Home).
http://www.gosolarcalifornia.ca.gov/csi/cash_back.html.
- [7] *Residential Energy Conservation Subsidy Exclusion*.
- [8] Florida Solar Energy System Incentives Program.
<http://www.dep.state.fl.us/energy/energyact/solar.html>.
- [9] Database of State Incentives for Renewable Energy (DSIRE).
<http://dsireusa.org>.
- [10] S. Baldwin. Renewable energy: Progress and prospects. *Physics Today*, 55:62–67, April, 2002.
- [11] Environmental Protection Agency (EPA). Air Trends, Sulfur Dioxide.
<http://www.epa.gov/air/airtrends/sulfur.html>.

- [12] Environmental Protection Agency (EPA). Six common air pollutants, what is it? Where does it come from? <http://www.epa.gov/air/urbanair/nox/what.html>.
- [13] Environmental Protection Agency (EPA). Six common air pollutants, health and environmental impacts of NOx. <http://www.epa.gov/air/urbanair/nox/hlth.html>.
- [14] Environmental Protection Agency (EPA). National ambient air quality standards (naaqs). http://www.epa.gov/ttn/naaqs/pm/pm10_index.html.
- [15] Fichas internacionales de seguridad química. <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0021.htm>.
- [16] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Recent global monthly mean CO₂. <http://www.cmdl.noaa.gov/ccgg/trends/>.
- [17] Climate changes 2001: The scientific basics. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/041.htm121.
- [18] Construction of a composite total solar irradiance (tsi) time series from 1978 to present. <http://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>.
- [19] Manohar Kulkarni; Xiangyang Gong. Techno-economic analysis of a large-scale rooftop photovoltaic system. *ASHRAE Transactions*, 111:434–443, 2005.
- [20] W.A. Beckman Duffie, J.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley-Inter-Science, second edition, 1991.
- [21] D.G. ; S.A. Klein ; J.A. Duffie Erbs. Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy*, page 293, 1982.
- [22] Liu B.Y.H.; R.C. Jordan. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation. *Solar Energy*.
- [23] RETScreen International Clean Energy Project Analysis Software. <http://www.etscreen.net>.

- [24] A.A. Irizarry-Rivera; J. Colucci; E. O'Neill. *First Progress Report: Achievable Renewable Energy Targets For Puerto Ricos Renewable Energy Portfolio Standard*. Available from the authors, 2008.
- [25] University of Rice Center for Biological and Environmental Nanotechnology. <http://www.media.rice.edu/media/newsbot.asp?mode=viewid=9542>.
- [26] Oliver Morton. Solar energy: A new day dawning? silicon valley sunrise. *Nature*, 443:19–22, 2008.
- [27] John Merrill; Donna Cowell Senft. Directions and materials challenges in high-performance photovoltaics. *JOM*, 59:26–30, 2007.
- [28] Hans-Peter Bader ; Ruth Scheidegger ; Markus Real. Global renewable energies: a dynamic study of implementation time, greenhouse gas emissions and financial needs. *Academic Research Library Database*, 8:159–173, 2006.
- [29] R. McConnell ; M. Symko-Davies. Multijunction photovoltaic technologies for high performance concentrators. *Appropriate Technology*, (NREL/CP-520-39791), 2006.
- [30] Karsten Neuhoff. Large-scale deployment of renewables for electricity generation. *Oxford Review of Economic Policy*, 21, 2005.
- [31] Ali Muslim Syed. Analysis of renewable energy potential in the residential sector through high resolution building energy stimulation. Master's thesis, Dalhousie University - Canada, 2007.
- [32] Peter Guynne. European villages could offer glimpse of energy future. *Research Technology Management*, 51:2–4, 2008.
- [33] Karsten Neuhoff. Climate change policies, energy security and carbon dependency trade-offs for the european union in the longer term. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 3:221–241, 2003.
- [34] Prakash Khanal. Solar energy lights up nepalese villages. *Appropriate Technology*, 30:36, 2003.

- [35] Moraima De Hoyos-Ruperto. A method to assess the potential market and economic feasibility of a renewable energy product: The solar air conditioning system case. Master's thesis, University of Puerto Rico - Mayagüez, 2000.
- [36] Ley número 114 del 16 de agosto de 2007 para ordenar y autorizar a la AEE a establecer un programa de medición neta *Net Metering*, 2007.
- [37] Tom Starrs; Howard Wenger. *A Consumer's Guide, Get Your Power from the Sun*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Department of Energy, December 2003.
- [38] United States Spot Price FOB Weighted by Estimated Import Volume (Dollars per Barrel). <http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/hist/wtotusaw.htm>.
- [39] Lawrence J. Gitman. *Principles of Managerial Finance*. Addison Wesley, 2002.
- [40] R. Charles Moyer; James R. McGuigan; Ramesh P. Rao. *Contemporary Financial Management Fundamentals*. Thomson South Western, first edition, 2005.
- [41] Sample size determination. <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/Business-stat/otherapplets/SampleSize.htm>.
- [42] AEE Tarifas para el Servicio de Electricidad. <http://www.aeepr.com/DOCS/tarifas05.pdf>.
- [43] NASA Surface meteorology and Solar Energy: Global/Regional Data. <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi>.