

CIUDAD SOLAR: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO

por

Sheila M. Jurado Andino

Reporte sometido en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRÍA EN INGENIERÍA
en
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO DE MAYAGÜEZ
Diciembre 2010

Aprobado por:

Francisco Maldonado Fortunet, PhD
Presidente del Comité Graduado

Fecha

José L. Perdomo Rivera, PhD
Miembro del Comité Graduado

Fecha

José O. Guevara Guillén, PhD
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Michael González Cruz, PhD
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Ismael Pagán Trinidad, MSCE
Director del Departamento

Fecha

Resumen

En este reporte se presenta la metodología para crear un programa de ciudad solar que sea aplicable a los municipios de Puerto Rico. Se realizó una revisión de literatura sobre las legislaciones, incentivos y programas existentes, se evaluó el potencial de desarrollo que tiene la ciudad de Mayagüez y se llevó a cabo un análisis económico para comprobar la viabilidad del programa. Además, se utilizaron dos instalaciones de la ciudad para demostrar la aplicabilidad de la metodología establecida. En general, este trabajo presenta una propuesta amplia de enfoque urbano hacia el desarrollo de la tecnología solar con el fin de facilitar su adopción.

Abstract

In this document the methodology to create a solar city program that is applicable to the municipalities of Puerto Rico is presented. A literature review of the existing laws, incentives and initiatives was conducted, and an analysis of the potential of development and economic feasibility analysis of the city of Mayagüez was performed to demonstrate the viability of the program. In addition, two municipal facilities were used to demonstrate the applicability of the methodology established. In general, this work presents a comprehensive proposal of urban approach toward the development of the solar technology to facilitate its adoption.

Agradecimientos

Durante el desarrollo de este estudio muchas personas y entidades colaboraron de manera directa o indirecta para que la misma pudiera ser concluida. Por tal razón, dedico esta sección para reconocer su apoyo.

Primeramente quisiera agradecer a Dios, por que aún con todas las adversidades siempre ha estado a mi lado y gracias a Él he logrado llegar a cumplir todas mis metas.

A mi mentor, el Dr. Francisco Maldonado, por permitirme realizar este estudio bajo su supervisión y orientación. Gracias por su apoyo y comprensión a lo largo de todo el proceso. Al comité graduado por su disposición a colaborar con el proyecto. Gracias por sus observaciones y comentarios en la parte final de la redacción del documento.

También quisiera agradecer a la Sra. Maribel Pérez del Departamento de Vivienda Municipal de Mayagüez, a la Sra. Damaris González de la Administración de Asuntos Energéticos y al personal de “*Nature’s Power Tech*” por la información suministrada. La información provista fue de suma importancia para el desarrollo de este estudio.

Finalmente, pero no menos importante, quisiera agradecer a mi familia. A mis padres Víctor y Antonia, mi hermana Michelle y mi esposo Ángel; gracias por su apoyo incondicional y el cariño brindado durante todas los momentos más significativos de mi vida, gracias por entender la importancia que tenía para mi la culminación de esta etapa en mi formación educativa. A ellos y en especial a mi hijo Manuel Antonio, dedico este proyecto.

Tabla de Contenido

<i>Título</i>	<i>Página</i>
Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Tabla de Contenido.....	v
Lista de Tablas.....	xii
Lista de Figuras.....	xiv
1 Introducción.....	1
1.1 Propósito y Motivación.....	1
1.2 Metodología.....	3
2 Tecnologías Solares.....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Tipos de Sistemas.....	4
2.2.1 Fotovoltaicos.....	4
2.2.1.1 Conceptos Básicos.....	5
2.2.1.2 Beneficios.....	12
2.2.1.3 Costos.....	13
2.2.2 Calentadores Solares de Agua (Solar Termal).....	14
2.2.2.1 Conceptos Básicos.....	15
2.2.2.2 Beneficios.....	17
2.2.2.3 Costos.....	18
2.2.3 Sistemas Solares Concéntricos.....	20
2.2.3.1 Conceptos Básicos de los Fotovoltaicos Concéntricos.....	21
2.2.3.2 Conceptos Básicos del Sistema Solar Termal Concéntrico.....	21
2.2.3.3 Beneficios.....	23
2.2.3.4 Costos.....	24
3 Ciudades Solares.....	26
3.1 Introducción.....	26

3.2	Iniciativa de un Millón de Techos Solares.....	28
3.3	Iniciativa Americana para la Energía Solar	31
3.3.1	Los Objetivos de SAI.....	32
3.3.2	Beneficios de SAI	34
3.3.3	Programa para las Tecnologías de Energía Solar	37
3.3.4	La Transformación de Mercado.....	38
3.3.5	Ciudades Solares Americanas.....	40
3.4	Ciudades Cool.....	42
3.5	Guías Existentes.....	46
3.5.1	Energizando con Energía Solar su Comunidad:	
	Una Guía para los Gobiernos Locales	46
3.5.1.1	Organización y Elaboración de Estrategia para su Esfuerzo	47
3.5.1.2	Aceleración de la Demanda a Través de Políticas e Incentivos....	49
3.5.1.3	Actualización y Aplicación de Normas y Reglamentos Locales ..	49
3.5.1.4	Participación de las Compañías Eléctricas	49
3.5.1.5	Creación de Empleos y Apoyo al Desarrollo Económico	50
3.5.1.6	La Aceleración de la Demanda a Través de Programas de Divulgación y Educación	50
3.5.1.7	Dando el Ejemplo con Instalaciones en Propiedades del Gobierno.....	51
4	Leyes, Reglamentos e Incentivos.....	52
4.1	Introducción	52
4.2	Políticas, Leyes y Reglamentos Federales	52
4.2.1	Ley de Política Energética 2005 (EPACT 2005).....	53
4.2.2	Ley de Seguridad e Independencia Energética 2007(EISA 2007).....	55
4.2.3	Ley de Extensión y Mejora Energética 2008	56
4.2.4	Ley de Recuperación y Reinversión Americana 2009	57
4.3	Políticas, Leyes y Reglamento de los Estados	58
4.3.1	California	59
4.3.1.1	San Francisco-Compra de Energía Renovable	59
4.3.1.2	Ley de Servidumbre Solar y Control de Sombra Solar.....	59

4.3.1.3 Ley de Acceso Solar	60
4.3.2 Arizona.....	61
4.3.2.1 Normas para los Permisos de Construcción Solar	61
4.3.3 Colorado	61
4.3.3.1 Boulder-Fondo para el Plan de Acción Climático	61
4.4 Políticas, Leyes y Reglamentos Locales	62
4.4.1 Ley Num. 325 del 2004: Ley para el Desarrollo de Energía Renovable	62
4.4.2 Ley Num. 114 del 2007: Para ordenar y autorizar a la AEE a establecer un programa de Medición Neta.....	63
4.4.3 Reglamento para establecer el Programa de Medición Neta	66
4.4.4 Ley 145: Ley para Enmendar la Ley 81 “Ley de Municipios Autónomos del E.L.A. de Puerto Rico de 1991”	67
4.4.5 Reglamento para la Interconexión de Generadores con el Sistema de Distribución Eléctrica	68
4.4.6 Ley 248: Enmiendas a la ley 120 de 1994 “ Código de Rentas Internas de Puerto Rico de 1994”	69
4.4.7 Reglamento para Certificación de Sistemas Fotovoltaicos e Instaladores	70
4.4.8 Ley 241: Para enmendar el Artículo 2 Ley 78 de 1993 “Ley de Desarrollo Turístico de 1993”	72
4.4.9 Ley 211: Para enmendar el Artículo 2, inciso (e) Ley 114.....	72
4.4.10 Ley 73: Ley de Incentivos Económicos para el Desarrollo de Puerto Rico.....	74
4.4.11 Ley 82: Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alternativa en Puerto Rico	78
4.4.12 Ley 83: Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico.....	80
4.5 Otras Leyes Locales Relacionadas a Energía y Eficiencia Energética	83
4.5.1 Ley 229: Ley de Edificios Verdes	83
4.5.2 Ley 30: Ley de Compra de Equipos de Alta Eficiencia Energética	84

4.6 Incentivos Federales.....	86
4.6.1 Sistema Acelerado Modificado de Recuperación de Costos (MACRS) + Bono de Depreciación (2008-2009)	86
4.6.2 Subsidio de Exclusión por la Conservación de Energía Residencial (Corporativo).....	88
4.6.3 Crédito Fiscal por la Inversión en el Negocio de la Energía (ITC)	88
4.6.4 Departamento del Tesoro Federal – Subvenciones de Energía Renovable	89
4.6.5 Bonos Calificados por Conservación de Energía (QECBs)	90
4.6.6 Crédito Fiscal Residencial por Energía Renovable	92
4.6.7 Programa de Subvenciones en Bloque para la Conservación y Eficiencia Energética	93
4.7 Incentivos por Estado y de las Ciudades de SAI	93
4.7.1 California	94
4.7.1.1 Incentivo basado en el Rendimiento Esperado	95
4.7.1.2 Incentivo basado en Rendimiento	95
4.7.1.3 Iniciativa Financiera para las Tecnologías Renovables y Solares (FIRST)	96
4.7.1.4 Programa de Incentivos de Energía Solar	97
4.7.1.5 Pagos por Energía Renovable de California (FIT)	97
4.7.1.6 SMUD – Programa de Préstamo Solar Residencial.....	98
4.7.1.7 “Burbank Water & Power” – Programa de Apoyo Solar al Sector Residencial y Comercial	99
4.7.2 Winsconsin.....	100
4.7.2.1 “Madison Gas & Electric (MGE)”-Programa de Incentivo Solar y Energía Limpia	100
4.7.2.2 We Energies – Incentivo Financiero Directo sin Fines de Lucro.....	101
4.7.2.3 Enfocados en Energía- Recompensas en Efectivo por Energía Renovable	102

4.7.3 New York.....	103
4.7.3.1 NYSERDA- Programa de Incentivos por Fabricación de Productos Renovables, Energía Limpia y Energía Eficiente	104
4.7.3.2 Opción Local – Programas de Energía Sustentable Municipal .	105
4.7.4 Florida.....	107
4.7.4.1 Comisión de Servicio Público de Orlando – Programa Solar Piloto.....	107
4.7.4.2 Comisión de Servicio Público de Orlando – Programa de Prestamos Solares Residenciales.....	108
4.7.5 Tennessee.....	108
4.7.5.1 Subvención para las Tecnologías de Energía Limpia de Tennessee	109
4.7.6 Oregon.....	109
4.7.6.1 Programa de Prestamos Calle Verde.....	109
4.8 Incentivos Locales	110
4.8.1 Crédito Fiscal Solar (Corporativo).....	111
4.8.2 Incentivo del Desarrollo Económico para las Energías Renovables ..	112
4.8.3 Deducción de Impuestos para Sistemas Solares y Eólicos	113
4.8.4 Crédito Fiscal Solar (Personal)	114
4.8.5 Exención sobre el Impuesto a la Propiedad para Equipo Solar	114
4.8.6 Exención del Impuesto sobre Ventas y Uso (IVU) para Equipos Solares Eléctricos.....	115
4.8.7 Programa Estatal de Energía.....	115
4.8.7.1 Programa de Descuentos de Energía Solar	116
4.8.7.2 Programa de Reembolso por Calentadores Solares Eléctricos ..	118
4.8.8 Programa de Prestamos Rotativo	119
4.8.9 Programa de Reembolso por Inversión en Energía Verde.....	120
4.8.10 Otros Incentivos bajo la Ley 83: Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico.....	121
4.8.11 Programa de Asistencia de Climatización	123
5 Metodología para Establecer la Meta de Instalación Solar.....	125

5.1	Introducción	125
5.2	Selección de Tecnologías Apropriadas	125
5.2.1	Descripción de la ciudad de Mayagüez	126
5.2.2	Tecnologías escogidas	128
5.3	Cálculo del Potencial Residencial.....	130
5.4	Cálculo del Potencial Comercial e Industrial.....	137
5.5	Determinando la Meta de Instalación Solar.....	144
5.5.1	Precedentes	145
5.5.2	La meta.....	147
5.6	El Impacto Económico de Ciudad Solar	154
5.6.1	Acelerando la demanda a través de los incentivos.....	154
5.6.2	Creación de empleos y apoyo al desarrollo económico.....	160
6	Análisis de los Beneficios de Convertir a Mayagüez en una Ciudad Solar.....	165
6.1	Introducción	165
6.2	Beneficios Económicos.....	165
6.2.1	Selección de sistemas a utilizar en el sector comercial e industrial....	169
6.2.2	Ejemplo de análisis de alternativa en HOMER [®]	172
6.2.2.1	<i>Grid</i>	174
6.2.2.2	<i>Primary Load</i>	175
6.2.2.3	<i>PV</i>	176
6.2.2.4	<i>Converter</i>	177
6.2.3	Resultados del análisis económico realizado en todos los sectores	186
6.3	Beneficios Ambientales	197
7	Modelo de Aplicación.....	207
7.1	Introducción	207
7.2	Descripción de Proyectos de Demostración	207
7.3	Estimado de Costos.....	209
7.4	Análisis Económico	212
7.4.1	Análisis económico para la Alcaldía de Mayagüez	212
7.4.2	Análisis económico para el Palacio de Recreación y Deportes	216

8 Conclusiones y Recomendaciones	221
8.1 Conclusiones	221
8.2 Recomendaciones	224
Bibliografía.....	226
Apéndice 1.....	230
Apéndice 2.....	232
Apéndice 3.....	239
Apéndice 4.....	250

Lista de Tablas

<i>Tablas</i>	<i>Página</i>
4.1 Crédito por creación de empleos según zona industrial que pertenezca.....	122
5.1 Área promedio de techo de las estructuras residenciales.....	131
5.2 Definición del caso más crítico en la distribución de las viviendas por estructura.....	131
5.3 Área de techo necesaria para una eficiencia y capacidad dada.....	133
5.4 Cálculo del potencial residencial.....	136
5.5 Área promedio por establecimiento.....	139
5.6 Cálculo del potencial comercial e industrial.....	143
5.7 Calculo del potencial comercial e industrial II.....	144
5.8 Por ciento de techos disponibles.....	150
5.9 Distribución proyectada de producción renovable para el 2015 por tipo de energía.....	151
5.10 Por ciento de crecimiento en el mercado necesario para alcanzar la meta propuesta.....	153
5.11 Incentivos para el sector residencial.....	155
5.12 Incentivos para el sector comercial e industrial.....	156
5.13 Comparación de costo total y costo después de incentivo.....	159
5.14 Creación de empleos como resultado de las metas sugeridas.....	163
5.15 Cantidad de posibles empleos generados debido al potencial de la ciudad.....	164
6.1 Calificación de comercio e industria por área que ocupa y consumo promedio.....	168
6.2 Características sistema 200W.....	169
6.3 Sistemas seleccionado por clasificación de comercio.....	171
6.4 Características del inversor.....	172
6.5 Costo de electricidad promedio en P.R.....	173
6.4 Resumen de resultados en HOMER [®]	187
6.6 Potencial de producción anual por sector.....	191
6.7 Potencial de reducción de emisiones CO ₂	199
7.1 Distribución de los por cientos del costo total del sistema.....	210

7.2 Estimado de Costo de la Alcaldía de Mayagüez.....	211
7.3 Estimado de Costo Palacio de Recreación y Deportes Mayagüez.....	211

Lista de Figuras

<i>Figuras</i>	<i>Página</i>
2.1 Estimado de la contribución de energía eléctrica por los sistemas PV en aplicaciones residenciales	5
2.2 Fotovoltaicos, desde celdas hasta arreglos.....	6
2.3 Esquemático de un sistema típico “Stand Alone”.....	9
2.4 Esquemático de sistema PV conectado a la red.....	11
2.5 Esquemático de un calentador solar.....	16
2.6 Características de calentadores solares	20
2.7 Esquemático de los tipos de sistemas solares concéntricos	23
3.1 Diagrama de flujo de las iniciativas y programas involucradas en la creación de Ciudad Solares Americanas.....	28
3.2 Reducción del costo proyectado en los sistemas PV para todos los sectores de mercado de SAI.....	33
3.3 Valores de mercado proyectados para los sistemas PV	34
3.4 Energía solar como parte de las nuevas adiciones de capacidad para el 2030	35
4.1 Cantidades pagadas por PBI y EPBB por paso.....	95
5.1 Definición del área en estudio.....	127
5.2 Población de Mayagüez por barrio	128
5.3 Tabla de amortización préstamo rotativo.....	158
5.4 Trabajos directos por megavatio de capacidad instalada.....	162
6.1 Calculo de irradiación solar con HOMER [®]	170
6.2 Esquemático de HOMER [®] del sistema escogido.....	173
6.3 Resumen de datos de la red de HOMER [®]	174
6.4 Hoja de entrada de datos de la red de HOMER [®]	175
6.5 Hoja de entrada de datos de carga primaria en HOMER [®]	176
6.6 Hoja de entrada de fotovoltaico en HOMER [®]	177
6.7 Hoja de entrada de inversor en HOMER [®]	178
6.8 Hoja de entrada de datos financieros en HOMER [®]	179
6.9 Resultados de optimización en HOMER [®]	180

6.10	Resultados de simulación de HOMER [®]	181
6.11	Diagrama de flujo de efectivo de HOMER [®]	182
6.12	Resultados eléctricos HOMER [®]	183
6.13	Resultados PV en HOMER [®]	183
6.14	Resultados inversor en HOMER [®]	184
6.15	Resultados de la red en HOMER [®]	184
6.16	Emisiones con PV en HOMER [®]	185
6.17	Emisiones sin PV en HOMER [®]	185
6.18	Resultado de análisis de alternativa en HOMER [®]	186
6.19	Flujo de efectivo acumulado en proyecto residencial	188
6.20	Flujo de efectivo acumulado en proyecto comercial 1	188
6.21	Flujo de efectivo acumulado en proyecto comercial 2	189
6.22	Flujo de efectivo acumulado en proyecto comercial 3	189
6.23	Flujo de efectivo acumulado en proyecto comercial 4/industrial	190
6.24	Potencial de producción anual para el sector residencial 1 (100% PV)	192
6.25	Potencial de producción anual para el sector residencial 2 (50% PV)	193
6.26	Potencial de producción anual para el sector residencial 3 (75% PV)	193
6.27	Potencial de producción anual para el sector comercial 1	194
6.28	Potencial de producción anual para el sector comercial 2	194
6.29	Potencial de producción anual para el sector comercial 3, 21.6kW	195
6.30	Potencial de producción anual para el sector comercial 3, 43.2kW	195
6.31	Potencial de producción anual para el sector comercial 4/industrial, 20kW	196
6.32	Potencial de producción anual para el sector comercial 4/industrial, 40kW	196
6.33	Potencial de producción anual para el sector comercial 4/industrial, 100kW	197
6.34	Potencial en reducción de emisiones anual el sector residencial 1	201
6.35	Potencial en reducción de emisiones anual el sector residencial 2	202
6.36	Potencial en reducción de emisiones anual el sector residencial 3	202
6.37	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 1	203
6.38	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 2	203
6.39	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 3 (21.3kW)	204
6.40	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 3 (43.2kW)	204

6.41	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 4/ind (20kW).....	205
6.42	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 4/ind (40kW).....	205
6.39	Potencial en reducción de emisiones anual el sector comercial 4/ind (100kW)....	206
7.1	Vista frontal de la Alcaldía de Mayagüez.....	208
7.2	Distribución de los paneles en el techo de la Alcaldía.....	208
7.3	Vista frontal y aérea del Palacio de Recreación y Deportes	209
7.4	Distribución de paneles en el techo del Palacio de Recreación y Deportes.....	209
7.5	Esquemático para el sistema de la Alcaldía de HOMER [®]	214
7.6	Resultados del análisis económico de la Alcaldía en HOMER [®]	215
7.7	Flujo de efectivo acumulado en el proyecto de la Alcaldía	215
7.8	Esquemático del sistema para el Palacio de Recreación y Deportes en HOMER [®] .	217
7.9	Resultados del análisis económico del Palacio en HOMER [®]	218
7.10	Flujo de efectivo acumulado en el proyecto del Palacio De Recreación y Deportes....	218
7.11	Resultados de la red para el Palacio de Recreación y Deportes	219

1 Introducción

La energía es esencial para nuestra nación y nuestras vidas, convirtiéndose en un componente importante para la economía; por ello, como la fuente principal de la electricidad tradicional es el petróleo, esto genera una dependencia de los países exportadores, lo que hace vulnerable a una política cambiante de precios generando altos costos y causando problemas en nuestra economía. Ya en varias ocasiones ha quedado en evidencia nuestra vulnerabilidad ante las situaciones sociales de los países exportadores de petróleo. La dependencia en los combustibles fósiles (ej. petróleo, gas, carbón) sigue siendo latente alrededor del mundo. Se estima que la demanda de energía aumentará un 50% en las próximas dos décadas, el precio del crudo podría llegar hasta los \$200 el barril, y el carbón seguirá siendo la mayor fuente de energía sin importar su contribución a los gases de invernadero [Hebert, 2008]. Una manera de disminuir nuestra vulnerabilidad es diversificando nuestras fuentes de energía utilizando fuentes de energías renovables.

Existen distintos tipos de energías renovables, entre ellas: biomasa, eólica, oceánica, geotérmica, hidroeléctrica y solar. Por nuestra condición de país tropical la inclinación hacia la energía eólica y solar son las preferibles. Siendo esta última la más adecuada cuando se desean implantar mecanismos de energía renovable en ciudades debido a la limitación de espacio y al aspecto estético. Además, el sol es inagotable, se estima que la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad.

1.1 Propósito y Motivación

El propósito de este proyecto era desarrollar una metodología para crear un programa

de ciudad solar en los municipios que incluya un análisis económico con el fin de demostrar la viabilidad de las medidas aplicadas. Específicamente, se pretende determinar las tecnologías apropiadas para el lugar descrito. También se desea determinar las mejores prácticas de ordenanzas y regulaciones para promover la expansión de la adopción solar, incorporar la energía solar a la energía que utilizan los municipios a través de proyectos de demostración siendo una de las iniciativas, un programa de ciudad solar.

Las motivaciones que llevan a la creación de este proyecto son, primeramente ayudar a las partes interesadas, en particular los municipios, a que tengan una guía base que les sirva para desarrollar un programa de ciudad solar y que obtengan el conocimiento de lo que significa esta iniciativa. El proyecto se enfoca en una ciudad solar ya que como entidad, el municipio debe ser el ejemplo para educar tanto al ciudadano como al gobierno central de los beneficios que conllevaría adoptar la generación de electricidad utilizando el Sol como medio.

Segundo, ayudar al gobierno en su esfuerzo de reducir el costo de la electricidad aportando como ciudad a las metas nacionales de diversificación energética. El costo de la electricidad continúa aumentando debido a nuestra dependencia de fuentes extranjeras, el diversificar la energía causa una reducción en el precio de la electricidad. La tercera motivación es poder demostrar con resultados tangibles el beneficio de la utilización de energía solar al presentar los ahorros que generaría, y la mejoría en la calidad del ambiente.

1.2 Metodología

Este proyecto comprende varias etapas que serán descritas a continuación. Primero, se realizó una revisión literaria para recopilar toda la información existente sobre las tecnologías solares que se utilizaron para el estudio; se buscó información sobre los programas existentes en los Estados Unidos que estuvieran relacionados con las iniciativas que se querían desarrollar en el estudio y se recopiló toda la información existente sobre leyes, reglamentos, políticas e incentivos tanto a nivel local, como estatal y federal.

Una vez terminada la revisión literaria se desarrolló la metodología para crear una ciudad solar, lo cual incluyó la recopilación de leyes e incentivos a nivel local y la selección de las tecnologías apropiadas para el lugar. También, incluyó la creación de un modelo para determinar el potencial que tiene la ciudad para adoptar la energía solar como fuente de generación eléctrica, determinar la meta, establecer los impactos económicos que traería a la ciudad esta iniciativa y demostrar con un análisis los beneficios económicos y ambientales que conllevaría. Para este análisis se utilizó un programa de optimización que es descrito brevemente en el proyecto.

Como última etapa, se diseñó un ejemplo de aplicación donde se escogieron dos facilidades del gobierno municipal para realizar el análisis económico una vez determinado el tamaño de las instalaciones solares propuestas. La ciudad seleccionada para servir como modelo en el estudio fue el municipio de Mayagüez. Por último, se escribieron las conclusiones obtenidas de los resultados del estudio y se hicieron varias recomendaciones para trabajos futuros.

2 Tecnologías Solares

2.1 Introducción

La energía es esencial para nuestra nación y nuestras vidas pues utilizamos electricidad para energizar nuestros hogares, negocios y para transportar las personas y los bienes, etc., convirtiéndola en un componente importante para nuestra economía. Lamentablemente gran parte de la energía proviene de recursos extranjeros o hay que importar, por lo que es necesario reducir nuestra dependencia diversificando la energía utilizando recursos domésticos [DOE. SETP, 2007]. Entre estos recursos se encuentra la energía solar proveniente de una fuente renovable y limpia.

Las tecnologías solares utilizadas hoy día, se pueden agrupar en tres tipos: paneles fotovoltaicos, solar termal y solar concéntrica. Todas recogen la luz directa del sol y la convierten en radiación de calor o en electricidad.

En las siguientes secciones se describirán las tecnologías antes mencionadas incluyendo conceptos básicos, beneficios y costos de cada uno.

2.2 Tipos de Sistemas

2.2.1 Fotovoltaicos

Los fotovoltaicos¹ (PV, por sus siglas en inglés) son una tecnología en la cual la luz solar es convertida en electricidad utilizando lo que se conoce como paneles fotovoltaicos. Estos no tienen partes móviles, operan silenciosamente sin producir emisiones y tienen una vida útil larga con la necesidad de un mínimo mantenimiento.

¹ Photovoltaics - PV

Hoy día, los sistemas PV pueden convertir directamente entre 10%-20% de la energía solar en electricidad [Clean Energy Group, 2008]. Muchas áreas en Puerto Rico tienen el potencial para desarrollar la tecnología PV y así cubrir la mayoría de la necesidad energética del país. Debido a la alta densidad poblacional y la tendencia histórica por las casas unifamiliares el área idónea para estas instalaciones son los techos. Como se puede observar en la Figura 2.1 aproximadamente el 65% de los techos en residencias pueden proveer el total de la energía eléctrica generada en Puerto Rico [J. Colluci et al., 2008].

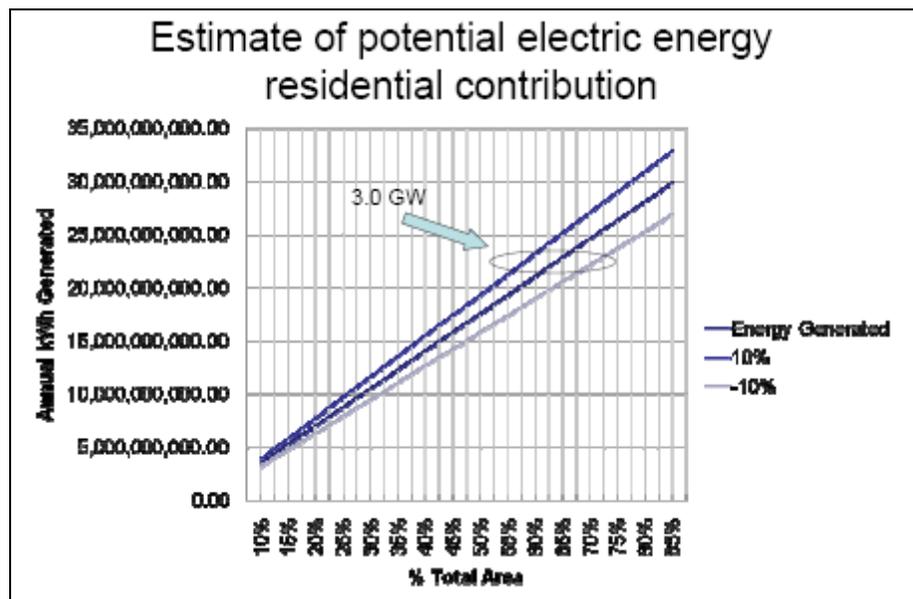


Figura 2.1 Estimado de la contribución de energía eléctrica por los sistemas PV en aplicaciones residenciales. [J. Colluci et al., 2008]

2.2.1.1 Conceptos Básicos

Los paneles fotovoltaicos constan de arreglos de módulos solares que contienen celdas solares. Estas celdas son pequeños paneles semiconductores de forma cuadrada hechos de silicón y otros materiales conductores. Cada celda de silicón produce aproximadamente $\frac{1}{2}$ voltio [DOE. FEMP, 1998]. El silicio cristalino es el material utilizado en el 94% de los módulos fabricados hoy día [Clean Energy Group,

2008]. Pero, también existen otros materiales como el silicio policristalino y las celdas amorfas. La cantidad de corriente producida es directamente proporcional al tamaño de la celda, que tan eficaz es la conversión y la intensidad de la luz. La potencia, voltaje y corriente deseados pueden ser obtenidos al conectar módulos individuales de PV en combinaciones en serie y paralelo, más o menos igual a una batería. Cuando los módulos son unidos en un sólo montaje se conoce como panel y cuando dos o más paneles son utilizados juntos se les conoce como un arreglo, como se muestra en el esquemático de la Figura 2.2.

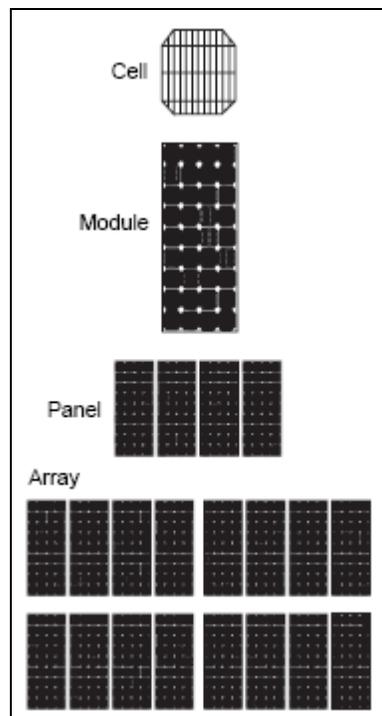


Figura 2.2 Fotovoltaicos, desde celdas hasta arreglos [DOE. FEMP, 1998].

La corriente eléctrica es producida cuando los fotones generados por el sol chocan contra las celdas y provocan una reacción química que libera los electrones. Sólo la luz solar de ciertas longitudes de onda o energía trabajarán eficientemente para generar electricidad, o sea, sólo algunos fotones son absorbidos por las celdas

fotovoltaicas. Es por esta razón que típicamente las celdas solares comerciales dan una eficiencia de cerca del 15%, quiere decir que alrededor de 1/6 parte de la luz solar que choca contra las celdas genera electricidad [Clean Energy Group, 2008].

La electricidad generada por las celdas solares puede ser utilizada en una casa para las lámparas y los enseres, para energizar un negocio, puede ser almacenada en baterías para iluminar un panel en la carretera durante la noche, para ser utilizada por un celular de emergencia en la carretera donde no hay alambrado telefónico cerca, etc.

Existen dos mercados primarios de PV, los sistemas no conectados a la red² que son utilizados en donde el costo del sistema es más económico que extender líneas eléctricas por largas distancias desde la utilidad más cercana. El otro mercado es el de sistemas interconectados, sistema que no puede competir directamente con los costos de las utilidades locales, pero debido a los incentivos existentes más personas están considerando interconectarse y utilizar un sistema solar.

Los sistemas solares pueden ser clasificados en tres tipos principales: sistema independiente³, sistema de reserva⁴ y el sistema conectado a la red eléctrica. Cualquiera de estos sistemas puede ser diseñado para cumplir en parte o en su totalidad la necesidad eléctrica del usuario.

La característica principal del sistema independiente es que no está conectado a la red. Como se mencionó anteriormente, es utilizado en áreas remotas o donde simplemente la conexión eléctrica no es viable. Algunas aplicaciones de este sistema son estaciones de bombas de agua, cabinas, teléfonos de emergencia, botes y vehículos recreacionales.

² Off-grid

³ Stand-alone

⁴ Backup

Estos sistemas tienen componentes individuales que se interconectan para cubrir una carga específica, como se muestra en la Figura 2.3. Dependiendo de la naturaleza de la carga el sistema puede incluir:

- Arreglos PV: convierten la energía solar en electricidad DC.
- Baterías: almacenan la electricidad para ser utilizada cuando no haya sol.
- Regulador de Carga: protege la batería al prevenir sobre cargas o exceso de descargas.
- Transformadores o Inversores: convierten la carga DC en corriente alterna AC.
- Convertidor: convierte el voltaje del sistema PV en un voltaje más alto o bajo.
- Rastreador Solar: optimiza la ganancia solar del sistema al seguir el sol.
- Generador Eléctrico (para sistemas híbridos): provee reservas eléctricas y potencia para cargar las baterías.

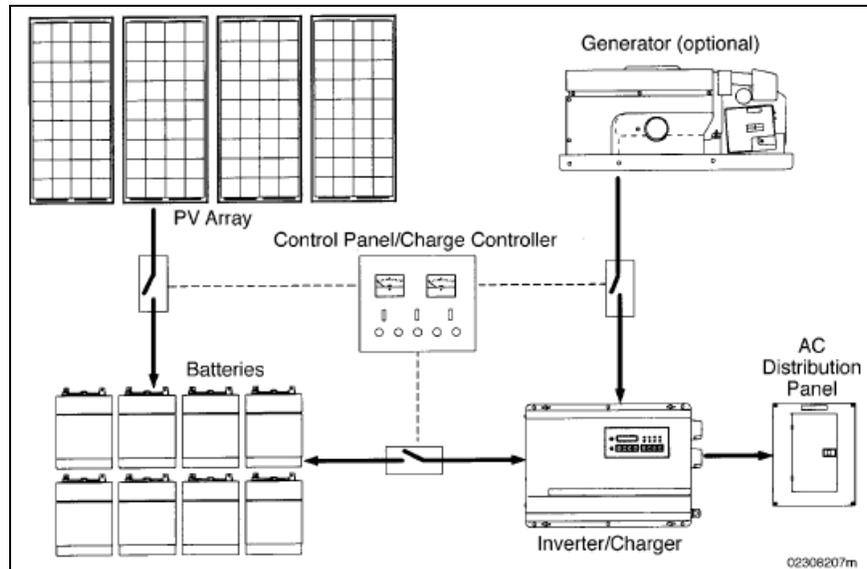


Figura 2.3 Esquemático de un sistema típico “Stand Alone” [DOE. FEMP, 1998].

El sistema independiente se califica a su vez, en sistema independiente DC o sistema independiente AC-DC. El primero es un excelente reemplazo para las lámparas de querosén y los generadores ruidosos en casas remotas, vehículo recreacional o bote. El tamaño del arreglo PV y del banco de baterías va depender de los requisitos individuales de cada proyecto. El tamaño actual depende en el voltaje de las cargas y cuan frecuente van a ser utilizadas. El arreglo PV carga las baterías durante las horas del día y estas suplen potencia a las cargas cuando es necesario. El regulador de carga termina la carga de la batería cuando ésta ha alcanzado su máximo. El centro de carga puede tener contadores para monitorear las operaciones del sistema y los fusibles necesarios para proteger la red cuando ocurra un desperfecto o corto circuito en la facilidad.

El sistema independiente AC-DC opera igual que el sistema anterior, excepto por el uso de inversor DC a AC. Con la inclusión de este inversor, equipos de hogar como las computadoras, herramientas eléctricas, aspiradoras, lavadoras y equipos de cocina pueden ser utilizadas. Los inversores de alta calidad están disponibles con cargas de

salida que varían entre los 100W-10kW o más, y eficiencias de más del 90% [Clean Energy Group, 2008]. Para asegurar las operaciones de un sistema seguro el inversor debe ser igualado cuidadosamente a las cargas que se esperan. Los inversores más grandes tienen la habilidad para servir como baterías de cargas de un generador de reserva cuando se necesita más potencia de la que el módulo solar puede proveer. Casi siempre el generador va estar conectado a una abrazadera automática. Esta redundancia es importante para operar cargas críticas continuas como, sistemas de información, refrigeradores y otros equipos.

Otro tipo de sistema solar es el sistema de reserva AC o sistema independiente AC. Este sistema usualmente consiste de un arreglo PV de diez o más módulos, banco de batería y uno o más inversores. La compañía eléctrica va a almacenar la energía solar y correrá las cargas cuando estén disponibles y sean necesarias. Si la energía de la compañía falla la almacenada por el sistema correrá las cargas de reserva. En muchos negocios y hogares, un sistema AC simplifica la conexión permitiendo utilizar interruptores, tomas de corriente y accesorios eléctricos de bajo costo y que estén disponibles. Se consiguen grandes ahorros en la conexión, porque los cables de mayor calibre necesarios para una transmisión eficiente de bajo voltaje DC en tramos largos no son considerados.

El último tipo de sistema solar es el sistema conectado a la red o interconectado. Este sistema está diseñado para alimentar cargas eléctricas de inmediato en la fuente y alimentar la red o al suministro de la compañía eléctrica si la electricidad no está siendo consumida. Es considerado un sistema simple y no requiere baterías. El sistema se apaga automáticamente si la electricidad provista por la compañía se interrumpe. Esto protege a los empleados de algún accidente en el caso de que entre

electricidad a la red durante un apagón. Una vez retorna la energía eléctrica, el inversor conectado a la red permite al sistema regresar a su operación normal. Los sistemas interconectados son diseñados para reducir la demanda de energía de la compañía a través de la medición neta, o en algunos casos al vender la electricidad no utilizada a la misma. Estos sistemas pueden ayudar realmente a reducir los cargos en las facturas eléctricas a la vez que permite a la compañía eléctrica reducir la demanda en la hora pico.

Como se muestra en la Figura 2.4, un sistema típico puede incluir módulos solares, montaje de la estructura, controlador/inversor AC para la electricidad alimentada al panel de distribución 120/208/240 voltios AC del edificio y dos contadores. Uno de los contadores es para medir la electricidad generada por el sistema que es entregada a la red en kilovatio-hora y el segundo es para medir la electricidad consumida por las cargas del edificio. Además, puede incluir baterías para permitir el almacenamiento de energía o la reserva en caso de que ocurra una interrupción en el servicio eléctrico.

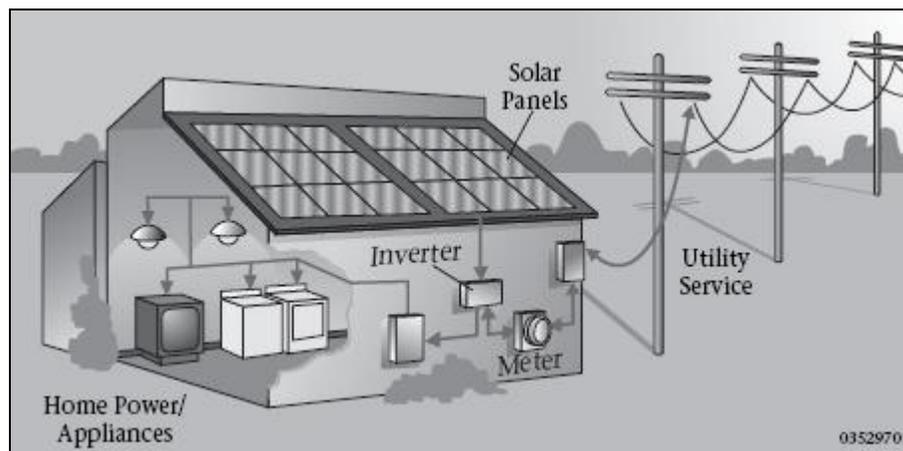


Figura 2.4 Esquemático de sistema PV conectado a la red [DOE. EERE, 2003].

2.2.1.2 Beneficios

Los sistemas fotovoltaicos tienen un sinnúmero de beneficios que los hacen muy atractivos como fuente de generación de electricidad. Primeramente, su fuente de generación, el sol, es totalmente gratis y abundante. Por tal razón, los sistemas solares garantizan el acceso a la energía eléctrica. Otro de sus beneficios es el ambiental, ya que no libera contaminantes al aire ni desperdicios peligrosos debido a que no necesita de combustibles líquidos o gaseosos para su operación.

Al ser un recurso doméstico de electricidad, contribuye a la seguridad energética del país, liberándonos así de la presión de depender de países que son políticamente inestables y de unos precios altamente vulnerables para la adquisición de nuestra fuente principal de generación de electricidad, que en este caso es el petróleo. Además, ayuda a crear empleos y a fortalecer nuestra economía ya que es una tecnología que es relativamente nueva que depende de una industria de alta tecnología. En el presente, esta industria genera alrededor de 3,000 empleos por cada \$100 millones de módulos en venta. Si la industria continúa creciendo a la razón que se ha estado observando en los últimos años, 36% en promedio, se podrían emplear cerca de 150,000 personas en puestos de alto valor y tecnología en los próximos 20 años [DOE. SETP, 2009a citado de “Energy Alternatives and Jobs” 2000].

Por último, la electricidad proveniente del sol es una tecnología versátil que puede ser utilizada desde aplicaciones pequeñas hasta aplicaciones bien grandes, de sistemas conectados a la red a sistemas independientes, desde agua caliente a procesos de calentamiento industriales y de espacio, y como planta generatriz. Cada vez más, dentro de un mercado competitivo, la red eléctrica estadounidense dependerá de

recursos energéticos distribuidos. Además, la naturaleza modular de la tecnología permite construir sistemas distribuidos de generación eléctrica en incrementos según la demanda aumente, y así mejorar la confiabilidad del suministro y, moderar los costos de transmisión y distribución.

2.2.1.3 Costos

Aunque se han hecho grandes avances en los últimos 20 años en reducir los costos de los sistemas fotovoltaicos, la electricidad proveniente de estos sistemas todavía no es costo-competitiva con la electricidad generada de forma tradicional. Esta es una de las razones principales por las cuales se introduce el concepto de Ciudad Solar entre otras iniciativas. Con estos programas se pretende hacer costo-competitiva la tecnología, pero no hay que esperar a ese momento para beneficiarnos, pues a pesar de que su costo inicial es alto, este costo es recompensado durante su vida útil.

Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad cuando y donde la energía es más limitada y costosa, teniendo una contribución estratégica en la diversificación energética⁵ a nivel local. La energía proveniente de estos sistemas no sólo reemplaza una parte de la generación, sino que desplaza la porción adecuada de la carga. Una vez instalado, los sistemas pueden producir energía continuamente con poco mantenimiento y costos operacionales mínimos.

Además, como los sistemas utilizan la energía de la luz solar para producir la electricidad, el combustible es gratis. Los mismos, usualmente se instalan cerca del lugar donde la electricidad será utilizada y necesitan líneas de distribución más cortas de las utilizadas para traer la energía desde la compañía eléctrica. También, elimina la necesidad de un transformador para bajar la carga que proviene de la compañía. Esto

⁵ Energy mix

significa que al tener menos alambrado se reducen los costos, tiempos de construcción y procesos de permisología, particularmente en áreas urbanas. Todos estos factores convierten la tecnología en una costo-competitiva a lo largo de su vida útil.

Ahora, ¿cuál es el costo de instalar un sistema fotovoltaico? El costo dependerá del tamaño del sistema y su calificación; si es un sistema integrado al techo o instalado sobre el mismo; el fabricante; comerciante; e instalador. De estos factores, el tamaño del sistema es el más importante en cualquier medida de costo versus beneficio. Para dar un ejemplo, un sistema pequeño de 75 watts con inversores integrados puede costar alrededor de \$700 por panel instalado, o \$9 por watt. Un sistema de este tamaño sólo cubriría una pequeña parte de la factura de electricidad. Un sistema de 2 kW, el cual cubriría casi toda la necesidad de una casa eficiente energéticamente costaría entre \$16,000 - \$20,000 instalado, o entre \$8-\$10 por watt [DOE. EERE, 2008a]. Y un sistema de 5 kW que cubriría en su totalidad la necesidad energética de una casa convencional, costaría entre \$30,000 a \$40,000, o entre \$6-\$8 por watt [DOE. EERE, 2003a]. Estos precios son sólo un estimado, el costo dependerá de la configuración del sistema y las opciones del equipo, entre otros factores.

2.2.2 Calentadores Solares de Agua “Solar Termal”

Utilizar el sol para calentar el agua es una tecnología simple que ha sido utilizada por varias décadas. Los calentadores solares utilizan paneles que captan la energía solar directa del sol para calentar el agua o el líquido para ser utilizado en calefacción, refrigeración de espacio, o para cubrir las necesidades de agua caliente. Esta tecnología es utilizada mayormente en lugares residenciales o comerciales. La viabilidad y beneficios del costo de los calentadores va a depender de un sinnúmero

de variables, como el clima, la orientación de los techos al sol y la cantidad de personas que van a estar utilizando el sistema. Al utilizar una fuente de energía renovable, no contaminante, tiene beneficios ambientales inmediatos.

El costo inicial de un calentador solar sigue siendo mucho más alto que los calentadores convencionales. Si se puede hacer la inversión inicial, la cuál es mucho más llevadera con los descuentos y exenciones de impuestos del Estado, se puede ahorrar entre un 50%-75% de la energía en calefacción de agua a largo plazo [Clean Energy Group, 2008].

2.2.2.1 Conceptos Básicos

Los calentadores solares están compuestos de colectores, tanques de almacenamiento y algunos operan con bombas eléctricas, como se muestra en la Figura 2.5. Existen tres tipos de colectores: placas planas, colector de almacenamiento integral⁶ (ICS, por sus siglas en inglés) y tubos de escape. Las placas planas son las más comunes y están compuestas de una caja aislada que contiene una placa absorbente oscura debajo de una o más capas de vidrio o plástico (polímero) transparentes. El segundo tipo de colector, ICS o sistema de lote esta compuesto de uno o más tanques o tubos negros en una caja de vidrio con material aislante. El tercer tipo de colector, tubos de escape, están hechos de tubos de cristal colocados en líneas paralelas. Cada tubo consiste de una capa exterior de cristal y un tubo interior cubierto con una capa de material que absorbe la energía solar pero permite la pérdida de calor. Para evitar las pérdidas de calor por conducción se extrae el aire entre los tubos para formar un vacío. La mayoría de los calentadores solares disponibles en el mercado utilizan un tanque aislado para almacenar el agua. [Clean Energy Group, 2008]

⁶ Integral collector-storage, ICS

Los calentadores solares pueden ser sistemas pasivos o activos, la diferencia está en que los sistemas pasivos no necesitan utilizar equipo adicional como los abanicos y las bombas que utilizan los sistemas activos. Existen dos tipos de calentadores solares activos, sistemas de circulación directa e indirecta. Los sistemas de circulación directa bombean el agua a través de los colectores solares y hacia la estructura, y trabajan muy bien en climas templados. Los sistemas de circulación indirecta trasladan fluidos de transferencia térmica no congelantes a través de los colectores y un termo cambiador. Esto calienta el agua que entra a la estructura, haciéndolo un sistema muy útil en regiones que tienden a alcanzar temperaturas bajas.

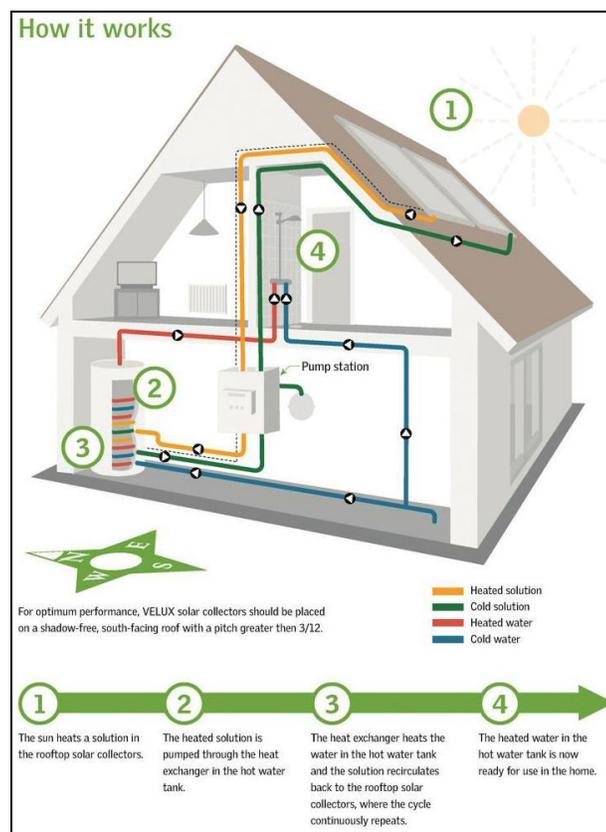


Figura 2.5 Esquemático de un calentador solar.

[<http://www.greenoverdepot.com/solar-hot-water-heating.htm>]

Por otro lado, los sistemas pasivos tienden a ser más económicos que los activos, pero sacrifican eficiencia aunque tienden a ser más duraderos. Existen dos tipos de sistemas pasivos: colector integral y de almacenamiento, y los termosifones. Los primeros son más eficientes en regiones que tienen temperaturas frías raramente, en hogares con necesidades significativas de agua caliente durante el día y la noche. En los termosifones el agua fluye a través del sistema cuando el agua tibia sube y la fría baja. El colector debe ser instalado debajo del tanque de almacenamiento de manera que el agua tibia suba al tanque. Estos últimos tienden a ser más costosos que los sistemas integrales debido a su tamaño y peso.

2.2.2.2 Beneficios

Muchos constructores de residencias escogen calentadores eléctricos porque son fáciles de instalar y relativamente económicos. Aún así, estudios demuestran que una casa promedio con calentador eléctrico gasta alrededor de un 25% del costo de la energía del hogar en calentar el agua. En climas templados, los calentadores solares ofrecen el potencial más alto en ahorros, al ahorrar tanto como un 50%-85% anualmente en sus facturas de luz sobre el costo de calentar el agua por medios eléctricos. [Clean Energy Group, 2008]

Si es cierto que el costo inicial es mucho más alto que comprar un calentador eléctrico, también es cierto que el calentador solar es más económico a lo largo de su vida útil, entre 15-40 años, debido a que su fuente de energía (el sol) es gratis. El periodo de recuperación⁷ varía grandemente, pero se espera entre 4-5 años de recuperación simple en un calentador bien diseñado e instalado [Clean Energy Group, 2008].

⁷ Payback period

El período de recuperación simple de un calentador solar puede ser determinado primero obteniendo el costo neto del equipo. Este costo incluye el costo total de instalación menos los incentivos a impuestos o descuentos de utilidad obtenidos. Luego de calculado el costo neto, se calcula el ahorro anual en combustible y se divide la inversión neta por este número para determinar el período de recuperación.

2.2.2.3 Costos

Como se ha explicado en los párrafos anteriores, los calentadores de agua utilizan el sol para calentar el agua que es utilizada en una residencia, comercio o industria, reduciendo así las facturas de electricidad. El mayor beneficio en las residencias se ve en lugares donde existe un alto consumo de agua caliente, o sea en hogares compuestos por familias grandes o donde se lava mucha ropa. Los sistemas instalados en comercios o industrias son más costo-efectivos en lugares donde operar el calentador de agua es muy costoso, como pueden ser las lavanderías o cocinas comerciales en las que existe un alto consumo de agua caliente.

Cualquiera que sea la situación del individuo, si su consumo de agua caliente es alto o moderado, este se puede ver beneficiado por la utilización de un calentador de agua solar. Para saber el costo del sistema es importante saber el tipo de sistema a instalar, la localización geográfica y como va ha ser utilizado (calentador de agua o de piscina, etc.) En general, el precio aproximado en los Estados Unidos está entre \$2,000 - \$4,500 para 40 a 80 galones de uso diario residencial [DOE. EERE, 2003b]. Para los sistemas comerciales el precio fluctúa entre \$2,000 - \$50,000. Esto para un uso diario entre 40 a 1,700 galones [Solarbuzz, 2010].

Aunque estos costos son mucho más altos que el costo de un calentador eléctrico convencional, estos son costo-competitivos cuando se considera el costo total de

energía del individuo a lo largo de la vida útil del sistema. Por tanto, la factura de electricidad será menor mientras el sistema este en funcionamiento, estará protegido de las fluctuaciones del precio de la electricidad debido a los cambios en el precio del petróleo y además la instalación podría aumentar el valor de la propiedad. Además, se puede estar ganando una tasa de retorno anual de 6%-25% libre de impuesto por la inversión, dependiendo de que tanta agua caliente sea utilizada y cuanta energía es ahorrada [DOE. EERE, 2003b].

En comparación con los calentadores de agua de gas, que se encuentran entre \$1,500-\$3,200 para sistemas de 10 – 40 galones y para calentadores de línea (que no almacenan agua sino que calientan el agua procedente de la línea de agua directamente para ser utilizada al momento) se encuentran entre \$1,600 - \$6,000 [Mejor Precio, 2010]. El costo del sistema solar sigue siendo un poco mayor aunque los beneficios de este último siguen siendo mayores cuando podemos tener ahorros en la factura de luz de hasta 85% y para el calentador de gas el ahorro puede ser de hasta 35%. Además, todavía se incurren gastos en la compra del combustible que es el gas propano.

En las secciones anteriores se describen algunos de los diferentes tipos de sistemas que existen, en la Figura 2.6 se desglosan sus precios y otras características beneficiosas a la hora de seleccionar un sistema.

	Suitable system size	Cost/ft ² for 40 ft ² unless noted	Freeze tolerance	Hard water tolerance	Maintenance need	
Low-Temperature Systems						
Unglazed	for pools	\$10-\$25 (400 ft ²)	none	good	very low	
Passive Mid-Temperature Systems						
Integrated collector	small	\$50-\$75	moderate	minimal	very low	
Thermosiphon	direct	\$40-\$75	none	minimal	low	
	indirect	\$50-\$80	moderate	good	low	
Indirect, Active, Mid-Temperature Systems						
Flat-plate, antifreeze	small	\$50-\$90	excellent	good	high	
	large	\$30-\$50 (30,000 ft ²)				
Flat-plate, drain back	small	\$50-\$90	good	good	high	
Direct, Active, Mid-Temperature Systems						
Drain down	small		corrections being developed	minimal	high	
Recirculating	small			minimal	high	
High-Temperature Systems						
Evacuated tube	direct	small	\$75-\$150	good	minimal	high
	indirect	large	\$75-\$150	excellent	good	high
Parabolic trough	large	\$20-\$40 (30,000 ft ²)	excellent	good	high	

Figura 2.6 Características de calentadores solares: Factores útiles para seleccionar un tipo de sistema para una situación particular [DOE. FEMP, 1996]

2.2.3 Sistemas Solares Concéntricos

La potencia real en las plantas de sistemas solares concéntricos se centra en la luz solar. El concepto general de los sistemas es que utilizan espejos para enfocar la luz solar y concentrar la energía del Sol para convertirla en electricidad ya sea por la generación de calor, el concepto más utilizado, o directamente. Existen dos tipos principales de sistemas concéntricos: Fotovoltaicos Concéntricos⁸ (CPV, por sus siglas en inglés) y Solar Termal Concéntrico⁹ (CST, por sus siglas en inglés). Ambas aplicaciones necesitan de áreas bien soleadas y que dispongan de lugares bastante amplios y llanos, pendientes de hasta 1%. Estos sistemas pueden ser tan pequeños como de 10 kilovatios, aún en desarrollo, para ayudar a energizar una comunidad pequeña, o tan grandes como de 100 megavatios, para ser utilizados en aplicaciones de sistemas conectados a la red del servicio eléctrico [DOE. SETP, 2008b].

⁸ Concentrated Photovoltaic

⁹ Concentrated Solar Thermal

2.2.3.1 Conceptos Básicos de los Fotovoltaicos Concéntricos

Los fotovoltaicos concéntricos utilizan lentes Fresnel [Pepper. T, 2007] para enfocar la luz solar en celdas solares de alta eficiencia. Las mismas están diseñadas para operar con luz solar concentrada y así convertirla en electricidad. Estos lentes de aumento enfocan y concentran la luz solar aproximadamente 500 veces en un área relativamente pequeña de la celda y opera de forma similar a los lentes de aumento de cristal [Clean Energy Group, 2008]. A través de la concentración, el área requerida de celda de silicio necesaria para generar una cantidad de electricidad es reducida por una cantidad que se aproxima a su radio de concentración, o sea, 500 veces.

Las celdas solares de alta eficiencia son mas pequeñas que las utilizadas en los fotovoltaicos convencionales, cuestan más y son más eficientes, con eficiencias que alcanzan el 30% [Clean Energy Group, 2008]. Pero, como los lentes deben estar apuntando hacia el sol, el uso de colectores concentrados se limita a las áreas más soleadas del país. Algunos sistemas son diseñados para ser montados en dispositivos sencillos de seguimiento de luz, otros necesitan sistemas más sofisticados, limitando el uso de los mismos a compañías eléctricas, industrias y edificios de gran tamaño

2.2.3.2 Conceptos Básicos del Sistema Solar Termal Concéntrico

A diferencia de las celdas fotovoltaicas que aprovechan el movimiento de los electrones entre sus capas cuando el sol les da, la energía solar térmica funciona utilizando el calor directo de la luz solar. Las plantas de energía solar térmicas están ganando gran interés mientras los gobiernos buscan energías alternas en vista a las alzas en el precio del petróleo y los cambios climáticos. En la actualidad existen alrededor de 350 MW en capacidad de plantas de sistemas concéntricos en los Estados Unidos y las mismas llevan operando por más de 15 años (DOE. SETP,

2008b). Algunos de estos sistemas son: conductos o canales parabólicos, antena parabólica y torre de energía.

Los canales parabólicos consisten en unos espejos largos rectangulares en forma de U en la cual se concentra la energía del sol. Los espejos están inclinados hacia el sol, enfocando la luz solar hacia un tubo que corre a lo largo del centro del canal. De esta manera se calienta el aceite u otro fluido de transferencia termal hasta 400°C y luego es transferido a unos intercambiadores de calor para producir vapor y así energizar generadores de vapor convencionales y finalmente producir electricidad. Las antenas o platos parabólicos son similares a las antenas de satélite. La superficie en forma de plato concentra y recoge el calor del sol en un receptor que absorbe el calor y lo transfiere al fluido o gas de hidrógeno en el motor. El calor causa que el fluido o gas se expanda contra un pistón o turbina para producir energía mecánica. Esta energía es utilizada para correr un generador o alternador para producir la electricidad.

Por último, la torre de energía es un tipo de horno solar que utiliza una torre donde se centra la luz solar. Utiliza un arreglo de espejos planos movibles llamados helióstatos para enfocar los rayos solares en un receptor central ubicado en la cima de la torre colectora. La alta energía en el punto de concentración es transferida a una sustancia que puede guardar el calor para ser utilizado más tarde.

En la siguiente figura se muestra un esquemático de los distintos tipos de sistemas solares concéntricos.

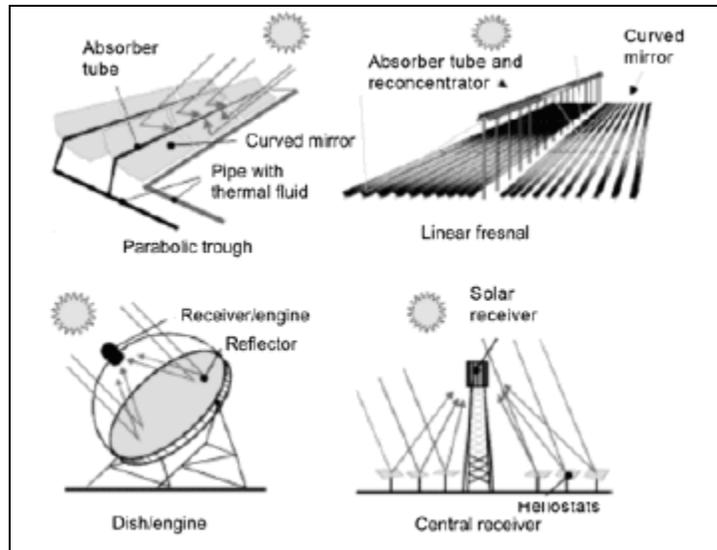


Figura 2.7 Esquemático de los tipos de sistemas solares concéntricos

[http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/solar/724.asp]

2.2.3.3 Beneficios

Los sistemas solares concéntricos actuales pueden convertir la energía solar en electricidad más eficientemente que nunca. Las plantas eléctricas son la aplicación de menor costo de energía solar hoy día y se esperan más reducciones en su costo para convertir la tecnología en una costo-competitiva con las plantas tradicionales dentro de una década [DOE. SETP, 2008b].

Como se ha explicado en las secciones anteriores, estos sistemas son utilizados en plantas eléctricas. ¿Qué tan grandes son estas plantas eléctricas? Según el Departamento de Energía Federal, la huella de la planta, o sea, la cantidad de terreno que la misma ocupa es mayor que la que ocupa una planta convencional de combustible fósil. Pero, realmente, ocupan casi la misma cantidad de terreno debido a que la planta convencional necesita una gran cantidad de terreno para exploración, minería y construcción de carreteras. Y las plantas de sistemas concéntricos tienen la ventaja de que no producen contaminantes ambientales ni gases de invernadero. Es difícil decir exactamente cuánto espacio necesita una planta de este tipo ya que

depende mucho de su capacidad generatriz y el tipo de sistema a utilizarse. Por ejemplo, la represa Hoover tiene una área aproximada de 250 millas cuadradas y con un sistema concéntrico que ocupe entre 10 – 20 millas cuadradas se puede producir la misma electricidad que dio la represa en un año reciente [DOE. SETP, 2008]. Una planta que produzca 250 kW compuesta de 10 sistemas de antenas de 25 kW ocuparía menos de un acre de terreno.

Además, gran parte del equipo utilizado para las plantas centralizadas de energía, convencionales, puede ser utilizado por las plantas de sistemas concéntricos. De esta manera, simplemente se sustituye el uso de combustible fósil por energía solar concéntrica para producir la electricidad. Los sistemas entran en contexto de una manera evolutiva, confirmando que estos pueden ser integrados fácilmente en la red actual de energía.

Los sistemas concéntricos pueden hacer una gran contribución para la necesidad creciente de electricidad en Estados soleados. Por ejemplo, las nueve plantas de Estaciones de Generación Eléctrica Solar¹⁰ (SEGS, por sus siglas en inglés) al sur de California fueron construidas en menos de un año cada una. Estas plantas, en combinación, han demostrado una capacidad generatriz de 200 MW por año, proporcionando trabajos locales y un impulso a la economía de fabricación.

2.2.3.4 Costos

Las construcciones de plantas de sistemas solares concéntricos no se han difundido mucho aún con las ventajas antes mencionadas y que la tecnología está en el mercado hace más de 15 años. Es en la actualidad que se está viendo un aumento en estos

¹⁰ Solar Electric Generating Station, SEGS

desarrollos. Según el Laboratorio Nacional de Energía Renovable¹¹ (NREL, por sus siglas en inglés) alrededor del mundo existen 59 proyectos que están operacionales, en construcción o en desarrollo, todos en países con altas capacidades económicas [NREL, 2010]. De estos sólo 17 se encuentran en funcionamiento [NREL, 2010]. Los costos de estos proyectos, por tanto los costos de construir estas plantas, para el año 2007 estaba cerca de \$4,900 el kilovatio para una planta de 100 MW utilizando los canales parabólicos, y en \$8,600/kW utilizando los platos parabólicos [DOE. SETP, 2008]. Por ejemplo, una instalación de 100 MW costaría alrededor de \$490 millones a \$ 860 millones, lo que representa unos costos muy altos. Esto resulta en aproximadamente 12 centavos el kilovatio-hora [DOE. SETP, 2008]. La meta de el subprograma de sistemas solares concéntricos de SETP es bajar para el año 2011 a \$4,100/kW el costo para un sistema CSP de canal parabólico de 150 MW, resultando en un costo aproximado de 8.9¢/kW-hr. Ya para el año 2015 esperan el sistema este alrededor de \$3,600/ kW. [DOE. SETP, 2008]

¹¹ National Renewable Energy Laboratory, NREL

3 Ciudades Solares

3.1 Introducción

En la actualidad existen varios programas y guías donde se sugieren pasos para que una ciudad sea considerada solar. En los Estados Unidos el Departamento de Energía Federal¹² (DOE, por sus siglas en inglés) en conjunto con el ejecutivo han desarrollado varias iniciativas con el fin de promover la difusión de las energías renovables en los Estados, entre estas la solar.

La primera de estas iniciativas impulsadas por DOE fue la Iniciativa de un Millón de Techos Solares¹³ (MSR, por sus siglas en inglés) en 1997 que tenía como objetivo transformar los mercados de distribución de las tecnologías solares al facilitar la instalación de estos sistemas. Luego de esta iniciativa se creó la Iniciativa Americana para la Energía Solar¹⁴ (SAI, por sus siglas en inglés), iniciada en el 2006 bajo la administración del Presidente George Bush como parte de la Iniciativa de Energía Avanzada (AEI, por sus siglas en inglés).

La Iniciativa de Energía Avanzada provee un aumento de 22% en fondos para la investigación de energías limpias en los Estados Unidos [DOE. SETP, 2007]. AEI es un plan integrado para mejorar la independencia energética de la nación americana al cambiar la manera en que energizamos nuestros hogares y negocios al generar más electricidad utilizando carbón limpio, energía nuclear avanzada y energías renovables como la solar y eólica. La iniciativa pretende reducir el costo de los sistemas

¹² Department of Energy, DOE

¹³ Million Solar Roofs Initiative, MSR

¹⁴ Solar America Initiative, SAI

fotovoltaicos de manera que se vuelvan costo-competitivos para el 2015, y expandir el acceso a la energía eólica a través de la tecnología.

En este capítulo se describirá brevemente la Iniciativa de un Millón de Techos Solares. Entraremos en más detalle en la Iniciativa Americana para la Energía Solar, que es el pilar para la creación del programa Ciudades Solares Americanas ¹⁵(SAC, por sus siglas en inglés). Se incluyen: sus objetivos principales; beneficios; el Programa para las Tecnologías de Energía Solar ¹⁶ (SETP, por sus siglas en inglés) encargado de velar por los intereses presentados por la iniciativa; La Transformación de Mercado que es una de las actividades de SETP y es la que da paso al programa de las Ciudades Solares Americanas que sirve como base para el desarrollo de este proyecto; este último también será descrito. Una vez explicada la iniciativa se describirá otro programa que se está implantando en algunas ciudades de Puerto Rico, conocido como Ciudades Cool. El programa se incluye en el capítulo ya que, aunque no se relaciona directamente a Ciudad Solar, uno de sus objetivos es el desarrollo y difusión de tecnologías renovables, dando mayor énfasis en la solar.

Por último, describiremos la guía Energizando con Energía Solar su Comunidad: Una Guía para los Gobiernos Locales¹⁷ creada por DOE para ayudar a las ciudades interesadas en convertirse en una Ciudad Solar a lograr sus objetivos.

A continuación, en la Figura 3.1, se muestra un diagrama de flujo describiendo de donde proviene el programa Ciudades Solares Americanas y las iniciativas que le preceden. En negrilla se muestran las políticas, iniciativas y programas que serán descritas en más detalle en este capítulo.

¹⁵ Solar America Cities, SAC

¹⁶ Solar Energy Technologies Program, SETP

¹⁷ Solar Powering your Community: A Guide for Local Governments

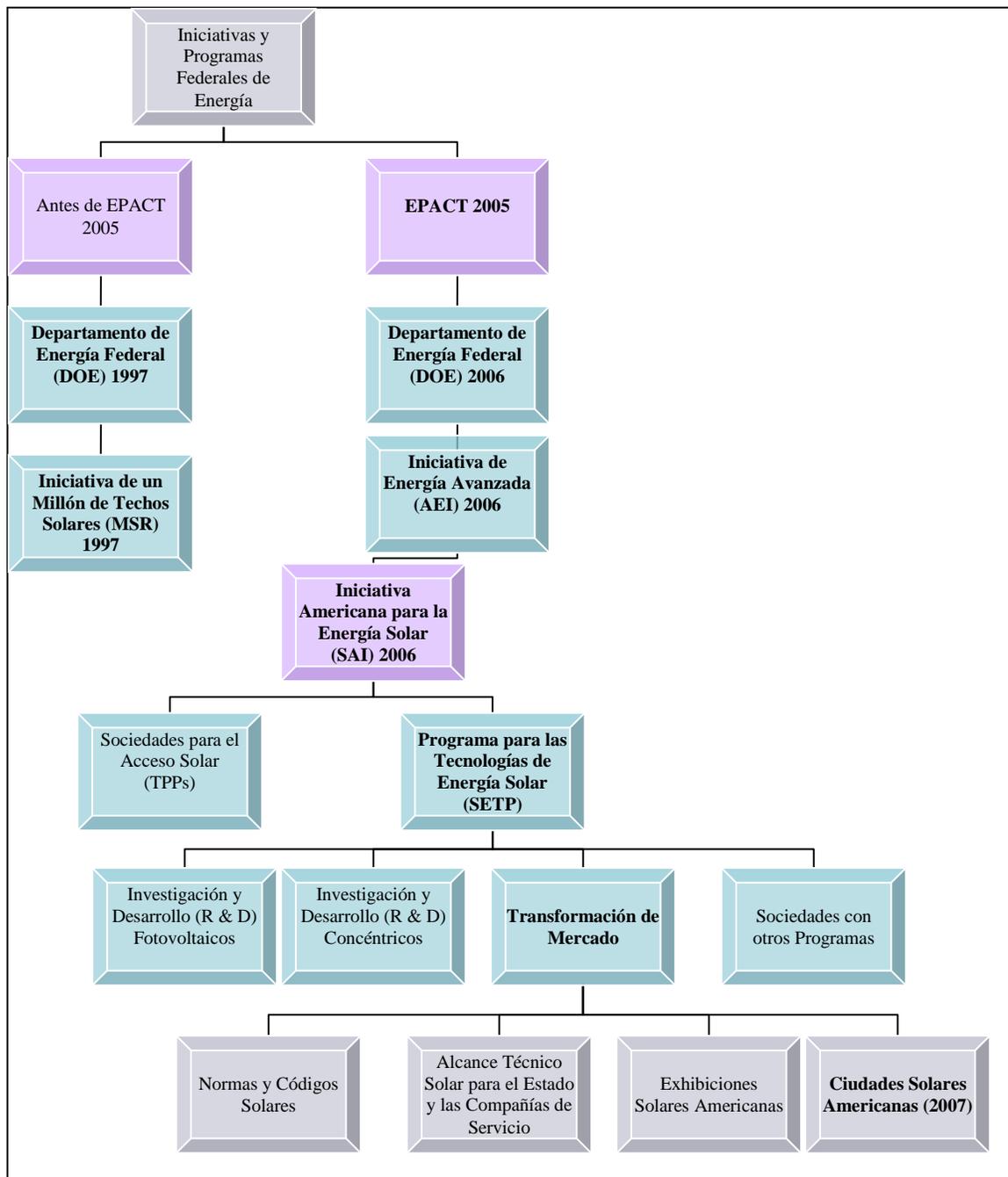


Figura 3.1 Diagrama de flujo de las iniciativas y programas involucradas en la creación de Ciudades

Solares Americanas

3.2 Iniciativa de un Millón de Techos Solares

La Iniciativa de un Millón de Techos Solares (MSR, por sus siglas en inglés) es la iniciativa que le precede al nuevo enfoque de SETP para la aceptación de la

tecnología en cumplimiento con las metas de la Iniciativa Americana para la Energía Solar. La meta para MSR era transformar los mercados de distribución de las tecnologías solares al facilitar la instalación de estos sistemas. Esto exigió un acercamiento del programa indefinido y esencialmente de base. En contraste, como se describe en la siguiente sección, el objetivo de SAI de alcanzar la paridad de costos con la generación de electricidad convencional para el 2015 exige un enfoque programático muy diferente, y un ritmo acelerado para la aceptación de mercado.

Sin embargo, las lecciones aprendidas en MSR tienen relevancia en la Iniciativa Americana para la Energía Solar y sirven como base para lograr las metas de SETP. Una de éstas son los 971 socios alrededor de la nación que están educados en la tecnología y conocen los mercados regionales y locales como resultado del programa. Estas sociedades están compuestas por firmas del sector privado, compañías eléctricas, desarrolladores, contratistas, organizaciones sin fines de lucro y entidades gubernamentales; todos comprometidos voluntariamente para facilitar la instalación de un número específico de “techos solares”. Esta métrica fundamental, integrada en el nombre del programa, le dio al programa un enfoque orientado para la obtención de los resultados.

Las áreas claves en las cuales el programa realizó contribuciones significativas fueron en abordar las barreras para la aceptación de la tecnología y los esfuerzos de expansión del mercado, y desarrollar ejemplos de las mejores prácticas para la transformación del mercado.

DOE invirtió 68% de los fondos del programa en conceder becas de manera competitiva a los socios, que se enfocaron en la reeducación de las barreras para la aceptación de la tecnología y la expansión del mercado [G. Strahs et al., 2006]. Los

fondos restantes fueron destinados a la participación del Consejo Interestatal para la Energía Renovable¹⁸ (IREC, por sus siglas en inglés), expertos técnicos, y los laboratorios nacionales que formaron parte del equipo básico del programa. Estos proveyeron fundamentos como expertos al programa, así como la incorporación de la información de los resultados del mercado a la comunidad de Desarrollo e Investigación y la industria solar.

Cuando el programa concluyó, la inversión del gobierno federal de \$16 millones se había distribuido en aproximadamente \$7.1 millones en efectivo, y el restante, en recursos y programas de incentivos a través de todo el país [G. Strahs et al., 2006].

La sinergia contribuyó a los siguientes resultados:

- La instalación equivalente de más de 377,000 sistemas fotovoltaicos, calentadores de agua y de piscina.
- La instalación de 200 MW de sistemas fotovoltaicos conectados a la red y 200 MW_{termales} de calentadores solares.
- Crecimiento dramático en la aceptación de la tecnología, de 8% de instalaciones en 1997 a 41% en el 2005.
- Beneficios económicos y ambientales como resultado de los sistemas interconectados entre 1997 y 2005, que incluyeron:
 - Ahorros en beneficios para la salud de \$90 millones.
 - Disminución en las emisiones de CO₂ de 3.3 millones de toneladas.
 - Aumento acumulado en el precio neto bruto de \$1.6 - \$2.6 billones, dependiendo en el costo de instalación (fluctuaba entre \$8-\$10/Watt).
 - Aumento en los empleos anuales de 23,000 a 31,000.

¹⁸ Interstate Renewable Energy Council, IREC

- Se llevaron a cabo más de 26 talleres, a los cuales asistieron más de 650 personas. Entre el 2003-2005 más de 910 personas participaron de 10 seminarios interactivos telefónicos [G. Strahs et al., 2006].

En ocho años de operación, MSR estableció los cimientos para crear y aumentar los mercados de distribución de la tecnología solar. Las barreras de mercado fueron identificadas al igual que las mejores prácticas. La raíz y la naturaleza de diversidad geográfica de los socios permitieron que todas las regiones del país adquirieran una experiencia fundamental con el tema.

3.3 Iniciativa Americana para la Energía Solar

La Iniciativa Americana para la Energía Solar (SAI, por sus siglas en inglés) está basada en las metas delineadas por el Plan Estratégico 2006 del DOE, el cual identifica los temas estratégicos de seguridad, descubrimiento científico e innovación energética. También, incluye las disposiciones relacionadas a la investigación y desarrollo de la energía solar, y los objetivos generales delineados en la Ley de Política Energética 2005 ¹⁹(EPACT 2005, por sus siglas en inglés), descrita en la sección 4.1.1.1 del Capítulo 4. En EPACT 2005, el Congreso de los Estados Unidos expresó su firme apoyo a disminuir la dependencia en los recursos energéticos extranjeros, y en el costo de la energía renovable y su difusión. [DOE. SETP, 2007]

Las metas generales de SAI son:

- Realizar investigación y desarrollo acelerado para mejorar el desempeño de los materiales, y reducir el costo frontal de los sistemas fotovoltaicos.

¹⁹ Energy Policy Act 2005, EPACT 2005

- Desarrollar nuevas tecnologías de fabricación para disminuir los costos de proceso y aumentar el rendimiento para permitir ampliar la capacidad de E.U. de fabricación.
- Proveer conocimiento técnico y construir un consenso entre las partes interesadas para resolver los problemas de reglamentación, institucionales, educacionales y de infraestructura relacionados a la aceptación de la tecnología.
- Acelerar el desarrollo de nuevas tecnologías solares a través de manifestaciones y actividades de promoción en conformidad con EPACT 2005.
- Apoyar la demostración y el despliegue de las tecnologías solares a través de los esfuerzos de colaboración con el sector privado y entidades del sector público.

El compromiso del ejecutivo y de DOE es tal que en el año fiscal 2007 el Presidente Bush asignó \$148.4 millones para financiar las actividades relacionadas al programa SAI. Este presupuesto representa un aumento de más de \$66 millones sobre el fondo estipulado en el 2006 para la investigación y desarrollo de la tecnología solar. Esta cantidad está dividida en \$139.8 millones para las actividades relacionadas a los sistemas fotovoltaicos y \$8.9 millones para los sistemas concéntricos [DOE. SETP, 2007].

3.3.1 Los Objetivos de SAI

El Departamento de Energía Federal ha establecido objetivos de rendimiento y alcance de costos para los sistemas fotovoltaicos en tres mercados principales: residencial interconectado, comercial y compañías de servicios. El costo de

electricidad se mide en kilovatio-hora, por lo tanto los objetivos, tanto para sistemas fotovoltaicos como concéntricos, esta basado en el Costo Normalizado de Energía ²⁰(LCOE, por sus siglas en inglés) suministrado por estos sistemas. Los objetivos de costo total para SAI se muestran en las Figuras 3.2 y 3.3. Estos objetivos están basados en proyecciones de la Administración de Información Energética ²¹(EIA, por sus siglas en inglés) de precios relativamente fijos, en términos reales.

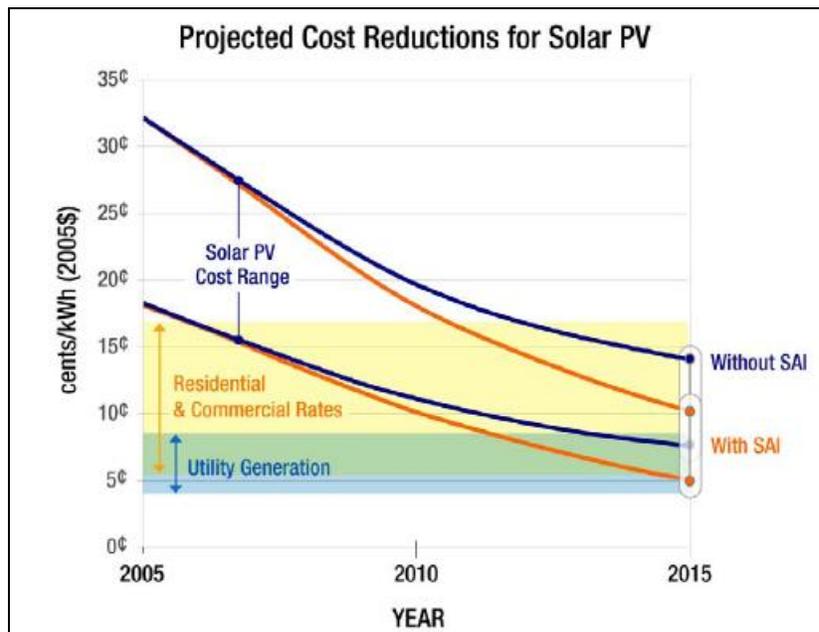


Figura 3.2 Reducción del costo proyectado en los sistemas PV para todos los sectores de mercados de SAI [DOE. SETP, 2007]

En la figura, DOE muestra sus proyecciones sobre la reducción en el costo de la electricidad debido a la utilización de sistemas PV hasta lograr alcanzar ser costo-competitiva para el 2015 en comparación con el precio de la electricidad tradicional en los diferentes sectores.

²⁰ Levelized Cost of Energy, LCOE

²¹ Energy Information Administration, EIA

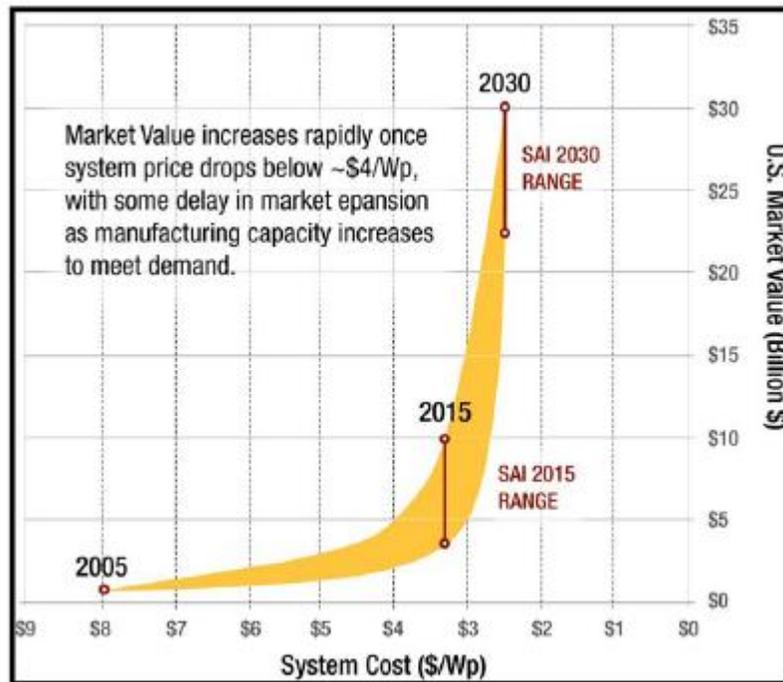


Figura 3.3 Valores de mercado proyectados para los sistemas PV. [DOE. SETP, 2007]

3.3.2 Beneficios de SAI

El sistema de generación eléctrica de los Estados Unidos es enorme, con una capacidad aproximada de 1,000 GW. Sin embargo, la capacidad fotovoltaica total instalada para el 2005 era de 0.44 GW, menos del 0.1% de la capacidad total de generación de E.U. [DOE. SETP, 2007]. Según las proyecciones del Laboratorio Nacional de Energía Renovable, si cada familia americana tuviera un sistema fotovoltaico de 3 kilovatios en sus techos, la combinación de estas casas podría generar más de 420 billones de kilovatio-hora de electricidad [DOE. SETP, 2007]. Esto representa más del 35% de la demanda residencial de electricidad en Estados Unidos [DOE. SEPT, 2007].

Las tecnologías de energía solar pueden mejorar la independencia energética complementando la capacidad actual de generación eléctrica. Bajo SAI, los sistemas PV comercializados pueden jugar un papel importante al compensar la necesidad de

nueva capacidad de generación eléctrica. Presumiendo que por cada megavatio de sistema fotovoltaico instalado, se cubre 0.6 MW de capacidad nueva, varios escenarios muestran que los fotovoltaicos pueden compensar de 10-25% de capacidad nueva para el 2015, y hasta 40% para el 2030, como se muestra en la Figura 3.4 [DOE.SETP, 2007].

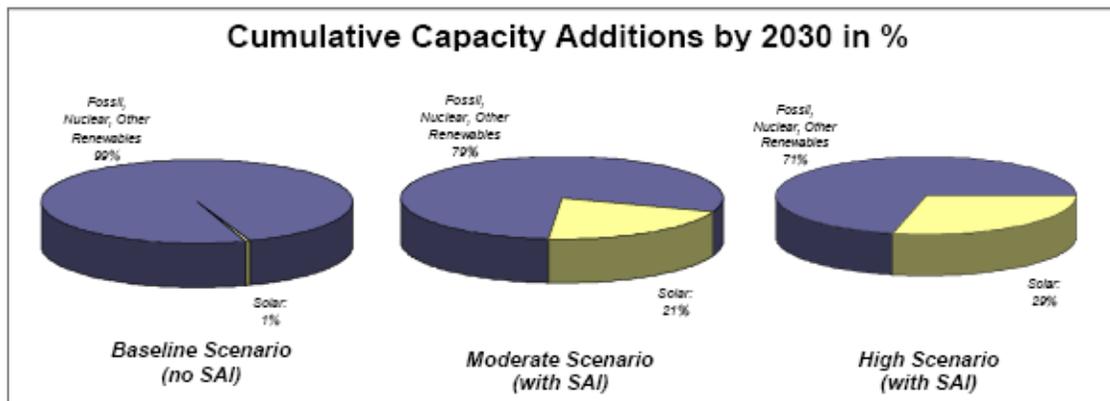


Figura 3.4 Energía solar como parte de las nuevas adiciones de capacidad para 2030 [DOE. SETP, 2007]

Además de que beneficia la seguridad nacional al aumentar la independencia energética, la energía solar también sirve para hacer la red eléctrica más segura y menos susceptible a ataques terroristas. El uso de la energía fotovoltaica descentralizada aumentará la confiabilidad de la red eléctrica envejecida al reducir la demanda que existe sobre la misma.

La electricidad producida a través de la energía solar también reducirá las emisiones de gases de invernadero. La generación eléctrica utilizando las plantas de gas natural o la combustión convencional de carbón genera contaminantes de criterio²² y

²² contaminantes de criterio: son contaminantes altamente perjudiciales para la salud humana que fueron reconocidos en las leyes de Aire Limpio del 1976 y 1990 como contaminantes que necesitan monitoreo continuo. Se establecieron unos criterios para limitar su emisión (de ahí su nombre), en el 1976 se reconocieron 7 contaminantes y en el 1990 otros 189 compuesto químicos volátiles.

emisiones de gases de invernadero. La electricidad solar, por su parte, no emite contaminantes o gases de invernadero al ambiente. Al utilizar la energía solar en vez de los métodos convencionales para producir 100 MW de electricidad daría como resultado una reducción de 191,000 tons/año de CO₂, 7.4 tons/año de NO_x y 4.5 tons/año de CO [DOE. SETP, 2007]. Basado en esta información, el Departamento de Energía Federal estima que la difusión de las instalaciones solares bajo SAI triplicará la cantidad de emisiones de carbón evitadas para el 2015.

Las inversiones en la industria solar a través de SAI también aseguraran que la industria esta preparada para atender el aumento en el mercado de la demanda doméstica y global por las tecnologías solares. Para lograr ésto, apoyarán más puestos para trabajadores calificados en las fases de diseño, producción e instalación. Bajo SAI, se proyecta que los empleos directamente relacionados a los sistemas PV resultarán en la creación de entre 10,000-30,000 puestos de trabajo para el 2015 y de 67,000-89,000 puestos para el 2030 [DOE. SETP, 2007].

Con el fin de alcanzar estas metas y obtener los beneficios de la iniciativa el Departamento de Energía Federal creó el Programa para las Tecnologías de Energía Solar. Este programa tiene como misión llevar a cabo una investigación agresiva, desarrollar y difundir las tecnologías solares. Como parte de la iniciativa, el programa esta trabajando en desarrollar los fotovoltaicos a través de la nación de forma costo-competitiva para el 2015. También, pretende acelerar la competitividad en el mercado de la electricidad solar mientras la industria compite para traer sistemas que sean menos costosos, más eficientes y muy confiables.

3.3.3 Programa para las Tecnologías de Energía Solar

El Programa para las Tecnologías de Energía Solar (SETP, por sus siglas en inglés) está a cargo de ejecutar y vigilar que todos los objetivos y metas de SAI se cumplan. Por esta razón, trabajan en todos los aspectos necesarios para que la tecnología solar se vuelva costo-competitiva para el 2015. Su visión, la cual apoya directamente la meta del AEI, es que una energía solar económica estará disponible para los ciudadanos, millones de residencias y negocios utilizarán la tecnología para cubrir toda o parte de su demanda energética y que la energía solar formará una parte significativa de la producción de energía en el país.

Las actividades mayores del programa son:

- Investigación y Desarrollo ²³(R & D, por sus siglas en inglés) en Fotovoltaicos: para alcanzar mejoras impresionantes en el costo, confiabilidad y ejecución de los dispositivos, componentes y sistemas
- Investigación y Desarrollo en Sistemas Concéntricos: para desarrollar y mejorar los sistemas de gran escala (compañías eléctricas), y para crear y demostrar sistemas efectivos de almacenamiento.
- Transformación de Mercado: para reducir las barreras de mercado a través de actividades que no sean R & D, incluyendo el desarrollo de la infraestructura y asistencia en su difusión.
- Sociedad con otros Programas: para acelerar efectivamente la comercialización de los sistemas e integrar resultados básicos de investigación que resulten de otros programas del gobierno dirigidos al R & D de la tecnología. [DOE. SETP, 2008b)

²³ Research and Development, R & D

3.3.4 La Transformación de Mercado

La Transformación de Mercado es el conjunto de las actividades de SETP enfocadas a reducir las barreras de mercado y promover asistencia en la difusión de las tecnologías solares a través de actividades que no están relacionadas a la investigación y desarrollo de las mismas. Financiada independientemente, en paralelo con las Sociedades para el Acceso Técnico²⁴(TPPs, por sus siglas en inglés), estas actividades aumentarán los esfuerzos en investigación y desarrollo de la industria, laboratorios nacionales y las universidades.

La meta de SAI de alcanzar la competitividad en los costos de las tecnologías solares para el 2015 a través de todos los sectores de mercado es una agresiva, y requiere tanto de soluciones tecnológicas como consideraciones de las barreras no relacionadas a la investigación y desarrollo para llegar totalmente en el mercado a escala. El enfoque tecnológico ofrece grandes oportunidades de progreso al reducir el costo de las tecnologías.

A pesar de esto, las metas no estarían completas sin considerarse las barreras que no sean de investigación, desarrollo o institucionales. Algunas de estas barreras son: la inhabilidad para conectarse fácilmente a la red eléctrica, falta de reglamentaciones de medición neta y la compra forzada de seguro de responsabilidad pública por las compañías de servicio. Estas barreras pueden evitar la instalación de un sistema, incluso uno que sea altamente eficiente a un bajo costo. En ese caso, a pesar de las ganancias obtenidas a través de la investigación y desarrollo, el país no podría aumentar la energía, seguridad ni los beneficios ambientales. Por lo tanto, es esencial

²⁴ Technical Pathway Partnerships, TPPs

hacer frente a la base de las barreras de mercado relacionadas a las tecnologías solares en adición al trabajo de investigación.

Las metas de la Transformación de Mercado son: acelerar un consenso entre las partes interesadas para resolver las barreras relacionadas a reglamentos, educación, infraestructura e institucionales para adelantar la adopción solar; y acelerar la demostración y comercialización de nuevas tecnologías solares a través de un esfuerzo colaborativo entre el sector privado y las entidades gubernamentales [DOE. SETP, 2008b].

Como tal, las transformaciones deben ser catalizadas por el programa para: establecer el gobierno federal como el comprador líder de las tecnologías de energía solar; intensificar la colaboración entre los Estados y las compañías de servicio en el diseño de reglamentos e incentivos que promuevan la adopción de la tecnología; facilitar los proyectos a gran escala que mostrarán las aplicaciones en grandes proporciones de la tecnología, reduciendo así el riesgo y abriendo paso a un financiamiento privado futuro de proyectos similares; asistir a los gobiernos municipales en combinar las regulaciones, entrenamiento y otras medidas en ruta a convertirse en lugares ideales para el establecimiento de compañías solares y centros de mercadeo del producto; y asistir el mercado solar al ofrecer soluciones para los obstáculos que se presenten en el desarrollo de una fuerza trabajadora solar [DOE. EERE, 2008b].

La Transformación de Mercado y TPPs ayudará a asegurar el éxito de SAI al cubrir un rango amplio de barreras técnicas y no técnicas. Con este fin se anunciaron varias oportunidades de becas para las actividades de Transformación de Mercado de SETP. Estas son en: normas y códigos solares, alcance técnico solar para el estado y las

compañías de servicio, Exhibiciones Solares Americanas²⁵, y sociedades estratégicas de ciudades solares. Esta última lleva el nombre de Ciudades Solares Americanas y es de los programas más exitosos auspiciado por el DOE.

3.3.5 Ciudades Solares Americanas

Ciudades Solares Americanas (SAC, por sus siglas en inglés) es un consorcio entre DOE y un grupo selecto de 25 ciudades a través de los Estados Unidos que se han comprometido a acelerar la adopción de tecnologías de energía solar a nivel local. Los otorgamientos o acuerdos de cooperación, están destinados a acelerar la adopción solar en las ciudades, los centros de carga de electricidad del país, al ayudarlas en su esfuerzo a través de la asistencia técnica y financiera. Para cualificar en la beca las ciudades debían tener una población de por lo menos 100,000 habitantes y ser parte del territorio americano [NREL, 2009]. Las mismas se están preparando para ofrecer una propuesta amplia de enfoque urbano hacia la tecnología solar que facilite su adopción. Estas ciudades fueron elegidas entre los años 2007-2008. Para el año 2007 fueron nombradas 13 ciudades: Ann Arbor, MI; Austin, TX; Berkeley, CA; Boston, MA; Madison, WI; New Orleans, LA; New York City, NY; Pittsburgh, PA; Portland, OR; San Diego, CA; San Francisco, CA; Salt Lake City, UT; y Tucson, AZ. En el año 2008 se nombraron las restantes 12 ciudades y estas fueron: Denver, CO; Houston, TX; Knoxville, TN; Milwaukee, WI; Minneapolis-St.Paul, MN; Orlando, FL; Philadelphia, PA; Sacramento, CA; San Antonio, TX; San Jose, CA; Santa Rosa, CA; y Seattle, WA.

Ciudades Solares Americanas recibe una asistencia federal financiera combinada de \$4.9 millones [NREL, 2009]. De éstos, \$200,000 son otorgados a cada ciudad [DOE.

²⁵ Solar America Showcases

SETP, 2009b]. DOE provee ayuda adicional al ofrecer asistencia técnica y expertos en las políticas relacionadas, para cubrir las necesidades más apremiantes de las ciudades. La asistencia técnica es ofrecida por DOE, sus laboratorios nacionales y otros expertos en áreas como planificación municipal, selección de tecnología, financiamiento de proyecto, códigos de edificios, arquitectura y alcance a las comunidades. Dichas medidas están financiadas por una cantidad adicional no mayor de \$200,000 para cada una de las ciudades seleccionadas [DOE. SETP, 2009b]. Las tecnologías promovidas por el programa incluyen los sistemas fotovoltaicos y concéntricos, al igual que calentadores de agua y aire. [DOE. EERE, 2008b]

Para ser seleccionadas, estas 25 ciudades presentaron una propuesta bosquejando sus planes para construir una infraestructura solar sostenible, simplificar los reglamentos a nivel de ciudad y promover la adopción de la tecnología solar entre los residentes y negocios. Los criterios de evaluación estaban basados en la demostración de un enfoque amplio del gobierno municipal hacia la planificación solar, incluyendo métodos para la expansión del mercado y eliminar las barreras de mercado locales. Estas ciudades demostraron un alto nivel de compromiso para promover la energía solar a través de la ciudad, al incluir la participación de los oficiales del municipio, compañías de servicio y socios privados.

Los resultados esperados son:

- Desarrollo de un enfoque amplio del gobierno municipal hacia la implementación solar incluyendo las principales partes interesadas, compañías de servicio y socios privados.
- Aumento generalizado en el uso de energía solar.

- Reducción en las barreras de mercado para el desarrollo de las tecnologías solares que existen en las cédulas de planificación urbana, reglamentos de zonificación, códigos de edificios, permisos y procedimientos de inspección.
- Creación de incentivos a nivel local como: descuentos, asistencia financiera, créditos a impuestos, deducciones en los impuestos a la propiedad, y créditos a impuestos a las fábricas solares que se establezcan en la ciudad.
- Aumento en el conocimiento público a través de la educación y promociones en toda la ciudad.
- Inclusión de material sobre las energías renovables en el currículo de las escuelas.
- Integración de la energía solar en la planificación de la ciudad y en los planes de preparación de emergencias.
- Servir como modelos para otras ciudades.

Las sociedades estratégicas de SAC están basadas en las redes y precedentes de las sociedades del programa *Un Millón de Techos Solares*. [DOE. EERE, 2008b]

3.4 Ciudades “Cool”

Ciudades “Cool” es una iniciativa traída a Puerto Rico por la organización sin fines de lucro Sierra Club en unión a diferentes grupos ambientales de la Isla. Esta iniciativa es producto del desinterés del gobierno federal, a principios de la década del 2000, de reducir el calentamiento global. Más de 850 alcaldes en E.U. han firmado el Acuerdo de Protección Climática de los Alcaldes de Estados Unidos propuesto por el alcalde de Seattle, Greg Nickels en el 2005. El objetivo del acuerdo es reducir en las ciudades la contaminación de CO₂, causante del calentamiento global, en un 7% por debajo de los niveles de 1990 para 2012 [Sierra Club, 2008]. Los primeros en firmar

el acuerdo en Puerto Rico fueron los alcaldes de Aguadilla, Camuy, Carolina, Juncos, Vega Baja y Yauco. En enero de 2010 se unieron a la iniciativa los alcaldes de Aibonito, Barranquitas, Caguas, Cidra, Guaynabo, Hormigueros, Humacao, Isabela, Jayuya, Las Marías, Las Piedras, Moca, Salinas y Utuado. Este esfuerzo innovador viene a aplacar las amenazas del cambio climático y la escasez de fondos públicos a nivel municipal.

Los efectos del calentamiento global son y continuarán siendo de gran impacto, tanto para la salud pública, como para el ambiente y las economías mundiales. Podemos observar en nuestras playas el blanqueamiento de los corales, el aumento en el nivel del mar y la desaparición de especies nativas. Además, el modelo energético de Puerto Rico presenta evidentes problemas de sostenibilidad: dependencia del petróleo, fluctuaciones en el precio e inseguridad de suministro, además de la alta producción de gases de invernadero. La buena noticia es que si actúan juntos gobiernos municipales y grupos comunitarios, se puede detener el calentamiento global, economizando recursos naturales y ahorrando dinero.

Tanto los alcaldes como los líderes comunitarios, tienen la oportunidad de dar el ejemplo como usuarios responsables de energía y promover la eficiencia energética en sus municipios. La campaña intenta ayudar a los alcaldes y líderes comunitarios a implantar un plan que responda al acuerdo y responda a cuatro soluciones alternas:

- Eficiencia energética: Utilizar mejores tecnologías para alimentar los edificios, alumbrado público e instalaciones industriales resultando en menos consumo de energía.
- Transportación de bajas emisiones: Promociona el uso de vehículos híbridos para las flotas municipales. Al usar menos gasolina, los vehículos híbridos

emiten sólo una fracción de los contaminantes que contribuyen al calentamiento global emitidos por los carros y camiones convencionales. Algunas ciudades están ofreciendo incentivos como, estacionamiento gratuito y cuotas de registro más bajas, para animar a los ciudadanos a que compren carros híbridos.

- Energías renovables: Propone invertir en fuentes de energía limpia y renovable, como la solar y eólica, para reducir las emisiones del calentamiento global y para crear una fuente de electricidad segura y no importada. Muchas ciudades están adoptando estándares de energía renovable, que exigen que un determinado porcentaje de toda la electricidad vendida en esa comunidad provenga de fuentes renovables en un plazo determinado de tiempo. Otras ciudades están incorporando tecnologías de energía renovable, como los paneles solares fotovoltaicos, en el diseño de edificios públicos.
- Mejor manejo de desperdicios sólidos: Propone la creación de programas de reciclaje y de compra de materiales reciclados. Al igual que esfuerzos de reducción como el reemplazo de materiales desechables con materiales reusables [Sierra Club, 2008].

Los alcaldes deben completar los siguientes pasos para convertirse en una Ciudad Cool:

- Firmar el Acuerdo de Protección Climática de los Alcaldes de Estados Unidos: Una vez firmado se deberá formalizar el compromiso mediante una resolución aprobada por la legislatura municipal. El programa da dos ejemplos de resoluciones que pueden ser utilizadas por los municipios.

- Realizar un inventario de gases de invernadero: Consiste en hacer un inventario de las acciones que ocasionan las mayores emisiones de gases, CO₂ y otros, en la ciudad. Esta información identificará las mayores fuentes de CO₂ y proveerá una base que permitirá identificar oportunidades económicas mientras se hacen grandes progresos para reducir las emisiones de gases. Algunas herramientas existentes son: programa de computadora del Consejo Internacional para las Iniciativas sobre el Medio Ambiente Local²⁶ (ICLEI, por sus siglas en inglés) que es una organización sin fines de lucro que colabora para que las ciudades sean más sostenibles. Además del programa de inventario de emisiones más utilizado en el país, también ofrece consultoría técnica, adiestramiento y servicios de información. También está el “Portfolio Manager de Energy Star” que permite hacer un análisis del consumo de energía presente que se usa como base en el plan de reducción de consumo de energía.
- Elaborar un plan de acción: Desarrollar un plan de políticas estratégicas que reduzcan las emisiones mientras ahorran en los costos de energía. Estas políticas estarán dirigidas a cubrir las cuatro soluciones propuestas por el programa.
- Implantar y monitorear los progresos del plan: Establece que es importante monitorear periódicamente el progreso en la reducción de las emisiones de gases, ahorro energético, dinero y reinversión social de las infraestructuras de servicios. Al igual que documentar y publicar los éxitos del plan para que más ciudades se unan al movimiento. [Sierra Club, 2008]

²⁶ International Council on Local Environmental Initiatives, ICLEI

Estas acciones traerán beneficios ambientales y económicos para el municipio, convirtiendo a los alcaldes en defensores de la energía limpia.

3.5 Guías Existentes

3.5.1 Energizando con Energía Solar su Comunidad: Una Guía para los Gobiernos Locales [DOE. EERE, 2009a]

El Departamento de Energía Federal creó esta guía integral para asistir a los gobiernos locales y las partes interesadas en la construcción sostenible de mercados locales solares. La misma introduce a una variedad de políticas y programas que han sido probados satisfactoriamente en diferentes ciudades alrededor del país. La guía se divide en 7 capítulos que cubren la mayor parte, si no todas, las barreras y movimientos importantes para el desarrollo exitoso de una ciudad solar. Estos capítulos son:

- Organización y Elaboración de Estrategias para su Esfuerzo
- La Aceleración de la Demanda a través de de Políticas e Incentivos
- Actualización y Aplicación de Normas y Regulaciones Locales
- La Participación de la Autoridad de Energía Eléctrica
- Creación de Empleos y Apoyo al Desarrollo Económico
- La Aceleración de la Demanda a través de Programas de Divulgación y Educación
- Dando el Ejemplo con Instalaciones en Propiedades del Gobierno

Cada uno de estos capítulos incluye varias secciones que comprenden los temas con los cuales se podría alcanzar cada una de estos objetivos, descritos por el título del mismo capítulo, con sus respectivas descripciones. Cada descripción incluye el

propósito de la medida, beneficios de implementarla, consejos y opciones para diseñar e implementar la misma, ejemplos de lugares donde se han implementado con éxito, entre otras cosas. A continuación se mencionan las medidas más importantes de cada capítulo con una breve descripción.

3.5.1.1 Organización y Elaboración de Estrategias para su Esfuerzo

La parte más difícil para lograr acelerar la adopción solar a través de la creación de una ciudad solar es comenzar. La gama de oportunidades es amplia y los problemas que se enfrentan son muchos. Por estas razones, tomarse el tiempo para organizar y elaborar las estrategias para lograr su esfuerzo facilitará el camino y ayudará a escoger las mejores opciones para la ciudad.

Tomar el tiempo necesario en la planificación y el análisis desde el principio, bien valen la pena a la hora de diseñar las políticas y procedimientos que servirán como la base legal y económica para la adopción de la energía solar en la ciudad. La realización de estas actividades llevará a la creación de una estrategia bien desarrollada y completa para la ciudad.

Para lograr esta medida se puede crear un comité de asesoramiento solar o grupo de trabajo. La creación de un comité que incluya varios sectores de la comunidad ayudará a alcanzar una infraestructura solar bien completa para la ciudad. Se deben invitar personas de la industria; Autoridad de Energía Eléctrica; diferentes departamentos del municipios entre estos, el departamento de permisos, contrataciones, inspección, gerencia y presupuesto; instituciones universitarias y técnicas; miembros de la legislatura municipal, supervisores y tomadores de decisiones. De ésta manera el gobierno tendrá una idea más clara de la perspectiva de cada una de las partes interesadas en el mercado solar.

También es importante evaluar la actual política ambiental del municipio. Estudiar las políticas, leyes, regulaciones e incentivos existentes tanto a nivel federal, estatal y local es de vital importancia ya que constituyen la base en la cual la industria solar se puede construir. Una vez conocidas éstas, se pueden adoptar algunas y crear otras a nivel local para facilitar la adopción solar en la ciudad.

Se puede encuestar a los residentes y comerciantes para identificar las barreras existentes. Incluir a los residentes y comerciantes de la ciudad, además de las partes que formen el comité, ayudará a identificar las barreras más importantes para la comercialización de los sistemas solares. De esta manera se conocerán los factores más importantes para los residentes y comerciantes a la hora de adquirir un sistema, al igual que se identificarán los obstáculos para las instalaciones y se señalarán las áreas donde la comunicación y divulgación son necesarias.

Por último se deben establecer metas de instalaciones solares para ayudar a clarificar el rol que la energía solar jugará en alcanzar unas metas más amplias en sostenibilidad, cambio climático y ambiental. También permite seguir los progresos alcanzados en la ciudad en contra de una meta publicada. La accesibilidad de las políticas y leyes al igual que los incentivos ofrecidos y la disminución de las barreras aportarán mucho a que tan alta será la expectativa de meta. Además de estas consideraciones, también se deben conocer los instaladores y las firmas existentes en la industria, utilizar una herramienta de trazado de mapas de energía solar para identificar la cantidad disponible de espacios en techos y los terrenos adecuados, y evaluar la voluntad política. La meta establecida debe ser de largo alcance, o sea, varios años de instalación.

3.5.1.2 La Aceleración de la Demanda a través de Políticas e Incentivos

Aunque se espera que el costo de los sistemas solares disminuya significativamente durante la próxima década, los incentivos financieros y las políticas que estimulan la demanda siguen dirigiendo la compra de estos sistemas hoy día. Por tal razón, el desarrollo de incentivos y políticas que refuercen la demanda en el mercado local atraerá las empresas solares y pondrá a la ciudad en una industria creciente. Los incentivos financieros reducen los costos frontales de estos sistemas haciéndolos más atractivos y accesibles para los residentes y comerciantes.

3.5.1.3 Actualización y Aplicación de Normas y Reglamentos Locales

El marco legal y regulatorio en la ciudad proporcionará una base para construir una infraestructura solar sostenible. Las normas y reglamentos locales pueden ayudar a reducir los costos de instalación y mejorar significativamente el entorno en el mercado de las tecnologías solares. Es importante estudiar las normas y reglamentos existentes en todos los niveles del gobierno y analizar cuales deben ser modificados o añadidos para facilitar las adopción en la ciudad.

3.5.1.4 Participación de las Compañías Eléctricas

Las compañías eléctricas son socios importantes para el avance de la adopción solar en las ciudades. Además de que estas son elegibles para el crédito fiscal federal de inversión de 30% [EERE, 2009] para los sistemas solares, las mismas deben aprobar la interconexión de los sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica, jugando un papel fundamental en facilitar las instalaciones solares de los clientes. Estos sistemas fotovoltaicos interconectados representan el área que más ha crecido en la industria en años recientes porque el cliente a preferido utilizar la red eléctrica para energizar sus propiedades cuando el sistema fotovoltaico no lo esta haciendo. Es por esta razón

que estas compañías pueden ejercer gran influencia sobre las políticas, legislaciones y reglamentos locales para la adquisición e instalación de los sistemas. Por eso es importante que se creen o mejoren reglamentos y leyes como los de medición neta, interconexión, optimizar los porcentajes tarifarios, y tarifas verdes.

3.5.1.5 Creación de Empleos y Apoyo al Desarrollo Económico

Las oportunidades para la creación de empleos existen a lo largo de toda la cadena de suministro en la industria solar desde la fabricación hasta las ventas, instalación y mantenimiento. El gobierno puede contribuir al crecimiento de la industria de energía renovable doméstica, estimulando la economía local al asociarse con los participantes en el mercado solar y apoyando los programas de educación y entrenamiento.

3.5.1.6 La Aceleración de la Demanda a través de Programas de Divulgación y Educación

Los gobiernos locales pueden atraer sus comunidades a través de una variedad de actividades que promuevan las tecnologías solares. Estas actividades pueden aumentar el conocimiento público sobre la energía solar, promover la confianza del consumidor y ayudar a los consumidores decidir si instalar los sistemas en sus hogares o negocios. Los esfuerzos de promoción pueden incluir varias audiencias, incluyendo residentes y comerciantes, instituciones financieras, educadores y estudiantes. Los proveedores potenciales para ofrecer los servicios de promoción incluyen el gobierno estatal y local, organizaciones comunitarias, universidades e institutos, organizaciones sin fines de lucro, compañías eléctricas y asociaciones industriales.

3.5.1.7 Dando el Ejemplo con Instalaciones en Propiedades del Gobierno

El gobierno local puede demostrar liderazgo al integrar las tecnologías solares en las facilidades y propiedades del gobierno. Dar el ejemplo es una manera excelente para encender una industria local en energía solar y animar a los residentes y comerciantes a adoptar la tecnología. Para que la medida sea exitosa es bien importante desde escoger buenas localidades hasta elegir los mecanismos financieros apropiados.

4 Leyes, Reglamentos e Incentivos

4.1 Introducción

Todo programa motivado a promover una política pública debe estar acompañado de un grupo de leyes y reglamentos que rijan el mismo. Para la creación de una Ciudad Solar exitosa, además de las leyes y reglamentos que contengan las medidas necesarias para el sostenimiento y difusión de la misma es necesaria la creación de una serie de incentivos que motiven tanto a los consumidores como a los fabricantes de las tecnologías solares, aun con costos frontales altos, a utilizar las mismas. Es por esto que se dedica este capítulo a recopilar las leyes, reglamentos e incentivos existentes tanto a nivel local, como federal y estatal. De esta manera se tendrá una visión amplia de que leyes, reglamentos e incentivos son necesarios para el éxito de la Ciudad Solar de Mayagüez.

En las primeras secciones se describirán las políticas, leyes y reglamentos existentes que son la base para la mayoría de los incentivos disponibles hoy día y luego en las últimas secciones se describirán los incentivos en más detalle.

4.2 Políticas, Leyes y Reglamentos Federales

El gobierno de los Estado Unidos, al igual que muchos gobiernos alrededor del mundo, están tomando conciencia sobre la situación de la capa de ozono, la seriedad de la crisis energética que se avecina si seguimos produciendo la electricidad como hasta ahora, y la necesidad de educar e incentivar al pueblo y a los gobiernos en relación a las energías renovables existentes. Es por esta razón que se han creado varias leyes a nivel federal para estandarizar y regular la nueva política pública de la

nación americana en relación al tema de la energía y las sustentabilidad en general. Algunas de estas leyes se describen a continuación.

4.2.1 Ley de Política Energética 2005 (EPACT2005)

El 8 de agosto de 2005 el Presidente George Bush convirtió en la ley pública número 109-058 la ley conocida como “Ley de Política Energética del 2005”, aprobada por el Congreso en Julio de 2005. Esta ley se convirtió en la primera legislación comprensiva sobre energía en más de una década. La ley pretende fortalecer la infraestructura y seguridad energética nacional, reduciendo la dependencia en el petróleo extranjero y expandiendo la utilización de energías renovables. Además es descrita como un intento del gobierno para combatir los problemas energéticos crecientes y cambiar la política energética del país al proveer incentivos fiscales y garantías de préstamos para la producción de energía de varios tipos [DOE. SETP, 2007].

En específico, el Título IX, subtítulo C de la ley se enfoca en la investigación, desarrollo y demostración de las energías renovables, entre estas la solar. La ley establece como objetivo principal de este título que el Secretario del Departamento de Energía debe llevar a cabo programas que cumplan con el enfoque de la ley y también realice aplicaciones comerciales. Para lograr esto debe, entre otras cosas:

- Aumentar la eficiencia en conversión de todas las energías renovables a través de tecnologías innovadoras.
- Reducir el costo de la producción e instalación de estos productos.
- Disminuir la dependencia de los Estados Unidos en recursos energéticos extranjeros.

- Disminuir el impacto ambiental de las actividades relacionadas a la producción de energía.

Uno de los programas que establece la ley es el Programa de Energía Solar. En esta sección se exhorta al Secretario a crear un programa de investigación, desarrollo, demostración y aplicación comercial de energías solares. Entre las tecnologías descritas están los sistemas fotovoltaicos, calentadores solares y sistemas solares concéntricos.

La sección 935 se refiere a la energía renovable en los edificios públicos. En esta sección se exhorta a la creación de un programa de demostración y transferencia de tecnología. Con la creación de este programa se pretende que DOE promueva la demostración de proyectos solares, entre otras energías, en edificios del gobierno estatal y local. También exhorta a la difusión de la información que resulte de estas exhibiciones a las partes interesadas. Para el programa solar en general, se asignaron unos fondos para los años fiscales del 2007-2009. Las asignaciones fueron distribuidos como sigue: \$140 millones para el 2007, \$200 millones para el 2008 y \$250 millones para el 2009. Limitando a un máximo del 40% de estos fondos para el programa de demostración. Para que lo interesados puedan aplicar para estos fondos deben:

- Demostrar un compromiso genuino a la utilización de tecnologías solares en sus edificios.
- Indicar como espera que los fondos ayuden a su transición hacia la utilización significativa de las tecnologías solares en sus edificios.

4.2.2 Ley de Seguridad e Independencia Energética 2007²⁷ (EISA 2007)

La ley pública número 110-140 firmada el 19 de diciembre de 2007, pretende dirigir a los Estados Unidos hacia una mayor independencia y seguridad energética. De esta manera aumentar la producción de combustibles renovables no contaminantes; proteger al consumidor; aumentar la eficiencia de los productos, edificios y vehículos; promover la investigación e implementar la captura de los gases de invernadero y sus opciones de almacenamiento; y para mejorar el rendimiento energético en el gobierno federal.

Esta ley es una política energética general que se compone principalmente de disposiciones destinadas a aumentar la eficiencia energética y la disponibilidad de las energías renovables. Precisamente, el Título VI (Investigación y Desarrollo Acelerados), subtítulo A esta dirigido a la energía solar. En específico la sección 602 esta dirigida a mejorar el costo y la efectividad de las tecnologías de almacenamiento de energía térmica que podrían mejorar la operación de las plantas generadoras de electricidad que utilizan como fuente la energía solar concéntrica. La sección 604 esta dirigida a establecer bajo la Oficina de Tecnologías de Energía Solar un programa de becas competitivas para crear y fortalecer los programas de entrenamiento para la fuerza trabajadora de la industria solar e internados en instalación, operación y mantenimiento de productos solares. La meta del programa es garantizar un suministro de individuos bien entrenados para apoyar la expansión de la industria solar. Por último, en la sección 607 se establece un programa de becas competitivas para los Estados para realizar demostraciones de los avances en tecnologías fotovoltaicas.

²⁷ Energy Independence and Security Act 2007, EISA 2007

Por otro lado, el título V (Ahorros Energéticos en el Gobierno e Instituciones Públicas), subtítulo E crea lo que conocemos como las Subvenciones en Bloque para la Conservación y Eficiencia Energética²⁸. El propósito del programa es asistir a las entidades elegibles en la implementación de estrategias para reducir las emisiones de combustibles fósiles creadas como resultado de las actividades en la jurisdicción; reducir su uso total de energía; y mejorar la eficiencia energética en el sector de la transportación, edificios y otros sectores pertinentes. Los fondos disponibles para cada año fiscal desde el 2008 al 2012 son de \$2 billones y se dividen en 68% para el gobierno local, 28% para los Estados donde se incluye a Puerto Rico, 2% para las tribus y 2% para otorgamientos competitivos. En la sección 544, disposición 13 establece que las entidades elegibles pueden utilizar los fondos para actividades que incluyan el desarrollo, implementación e instalación en cualquier edificio del gobierno de alguna tecnología de energía renovable que genere electricidad utilizando recursos como la energía solar. Esta subvención se explica en más detalle en la sección 4.6.7 de este capítulo.

4.2.3 Ley de Extensión y Mejora Energética²⁹ 2008

La ley aprobada el 23 de septiembre de 2008 hace unas enmiendas al Código de Rentas Internas de 1986 para proveer incentivos por la producción y conservación de energía, para extender ciertas provisiones expiradas, y proveer alivio en las contribuciones de individuo, entre otras cosas. El título I (Incentivos de Producción de Energía), subtítulo A esta dirigido a los incentivos por energía renovable.

En la sección 101 se establece la extensión del crédito a los impuestos por la producción de electricidad vía fuentes renovables, en específico extiende el crédito

²⁸ Energy Efficiency and Conservation Block Grants

²⁹ Energy Improvement and Extension Act 2008

hasta el 2010 por la producción a través de la energía solar. La sección 103 extiende hasta el 2016 el crédito fiscal de energía solar. La sección 106 extiende hasta el 2016 el crédito fiscal para propiedades residenciales con eficiencia energética, y elimina el límite de crédito para las propiedades solares eléctricas.

4.2.4 Ley de Recuperación y Reinversión Americana ³⁰2009 (ARRA 2009)

La ley pública número 111-5 conocida como ley ARRA, aprobada el 17 de febrero de 2009, fue creada para ofrecer créditos suplementarios para la preservación y creación de empleos, inversiones en infraestructura, eficiencia energética y ciencias, asistencia al desempleado, y estabilización fiscal tanto local como del Estado para el año fiscal que terminó el 30 de septiembre de 2009. Se aprobaron un total de \$787 billones distribuidos entre las diferentes agencias gubernamentales mencionadas en la ley. Sólo el Presidente y sus Jefes de Agencia deben manejar y usar los fondos disponibles bajo esta ley para satisfacer los propósitos antes mencionados. Cada importe de esta ley fue designado como requisitos de emergencia y considerados necesarios para satisfacer las necesidades de emergencia.

La división A, Disposiciones de Créditos, autoriza las sumas de dinero para las distintas agencias de cualquier dinero de la Tesorería que no haya sido consignado para el año fiscal 2009. La división se divide en títulos que incluyen la mayoría de los departamentos que forman el gobierno federal, entre estos está el título IV dirigido al desarrollo de la energía y las aguas. Entre las agencias consignadas se encuentra el Departamento de Energía Federal, específicamente de sus programas de energía el Programa para la Energía Renovable y Eficiencia Energética ³¹(EERE, por sus siglas en inglés). Se le otorgaron un total de \$16.8 billones, de los cuales \$3.2 billones

³⁰ American Recovery and Reinvestment Act 2009

³¹ Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE

fueron dirigidos para las Subvenciones en Bloque para la Conservación y Eficiencia Energética para la implementación de los programas mencionados en el subtítulo E del título V de EISA 2007 (Apéndice 6), \$2.8 billones fueron consignados por fórmula y \$400 millones se otorgaron de manera competitiva, entre otras consignaciones.

Además, bajo esta ley se le asignaron \$10 millones al DOE para financiar 40 proyectos especiales de Ciudades Solares Americanas en 16 ciudades que participan del programa. Con estos fondos las ciudades podrán aumentar el uso de la energía solar en sus comunidades a través de programas y políticas innovadoras. El propósito es que estas ciudades puedan ampliar sus conceptos y proyectos más prometedores, para superar barreras claves para el uso de la energía solar urbana. [EERE. SETP, 2009a]

A Puerto Rico, como parte de los territorios de E.U., se le otorgaron \$5,600 millones en asignaciones de fondos para distintos programas y agencias. Entre estos se encuentran los mencionados en la sección de incentivos específicamente, las secciones 4.2.3.7 y 4.2.3.8.

4.3 Políticas, Leyes y Reglamentos de los Estados

Los Estados en la Nación Americana han establecido una serie de leyes y reglamentos para beneficio de sus habitantes y adelantar la adopción de las energías renovables, entre estas la solar, como fuentes de generación eléctrica. Estas leyes y reglamentos se repiten en la mayoría de los Estados con algunas diferencias en sus disposiciones. Por esta razón, en esta sección se hará mención de las más relevantes para este proyecto, haciendo referencia en uno de los Estados que la aplique aunque se repita

en otros. A continuación sólo se mencionan las leyes y regulaciones que no han sido legisladas en Puerto Rico.

4.3.1 California

4.3.1.1 San Francisco – Compra de Energía Renovable ³²

Este poder adquisitivo “verde” propuesto por la legislatura de San Francisco establece una emisión de bonos de ingresos u otras formas de ingresos financiados por la ciudad y el condado de San Francisco en un importe del principal que no exceda los \$100 millones para financiar la adquisición, construcción, rehabilitación, instalación y/o mejoras de instalaciones de energía solar, entre otros. Se espera que con la medida se prevean entre 10-12 MW de energía solar. De los \$100 millones, \$50 millones se utilizaran en la instalación de arreglos solares en las escuelas y otras facilidades del gobierno y los otros \$30 millones se utilizaran en la instalación de turbinas de viento en la ciudad y propiedades del condado. El dinero restante estará dirigido a la conservación de energía, los costos asociados a los proyectos y en la emisión del bono.

Bajo esta medida los bonos sólo pueden ser emitidos para pagar los proyectos en facilidades donde su electricidad no costara más del costo esperado de electricidad si procediera de los recursos existentes. El gobierno pagará el principal y el interés de los bonos con los ingresos generados y ahorrados por la facilidad, de esta manera la medida no resultara en un alza en los impuestos. [DOE. EERE, 2009b]

4.3.1.2 Ley de Servidumbre Solar y Control de Sombra Solar ³³

Las leyes de acceso solar de California aparecen en los Códigos Civil, del Gobierno, de Seguridad y Salud, y de Recursos Públicos del Estado. El Código Civil de

³² Renewable Energy Purchasing

³³ Solar Easement and the Solar Shade Control Act

California asegura que los vecinos podrán firmar voluntariamente servidumbre solar para asegurar que una luz solar adecuada este disponible para aquellos que operen sistemas solares [California Civil Code 801.5, 2009]. El Código Gubernamental establece que las subdivisiones pueden incluir las servidumbres solares aplicables a todas las parcelas dentro de la subdivisión en sus planes [DOE. EERE, 2009b]. El Código de Recursos Públicos contiene la Ley de Control de Sombra Solar, que anima al uso de árboles y otras sombras naturales excepto en casos donde la sombra pueda interferir con el uso de sistemas solares activos o pasivos en las propiedades adyacentes. La ley dispone que tanto los árboles como los arbustos no pueden hacer una sombra que cubra más del 10% del área de absorción del colector solar en ningún momento entre las 10 a.m. y 2 p.m. si el mismo es plantado luego de haberse instalado el sistema.

4.3.1.3 Ley de Acceso Solar ³⁴

Esta ley fue aprobada en 1978 contribuyendo a la política de compromiso del Estado hacia la energía solar. La ley que creó un marco legal para lo que hoy conocemos como el acceso solar, tiene el propósito de promover y fomentar la propagación del uso de los sistemas solares, y para proteger y facilitar el acceso adecuado a la luz solar que es necesaria para la operación de estos sistemas.

La ley: prohíbe pactos, restricciones y condiciones que injustificadamente restrinjan el uso y/o instalación de los sistemas solares; establece el derecho legal a la servidumbre solar que protege el acceso solar entre propiedades adyacentes; desalienta al gobierno local de adoptar ordenanzas que injustificadamente restrinjan el

³⁴ Solar Rights Act

uso de los sistemas solares. También incita a la creación de incentivos estatales, entre otras cosas. [DOE. EERE, 2009b]

4.3.2 Arizona

4.3.2.1 Normas para los Permisos de Construcción Solar ³⁵

En Arizona es requisito que los dueños de sistemas fotovoltaicos y/o calentadores solares obtengan un permiso de construcción antes de que el mismo sea instalado. Los permisos son manejados a nivel local y otorgados por los municipios y condados. La ley establece normas específicas sobre la manera en que los permisos serán otorgados y se aplican normas para regular las tasas a las cuales los municipios y condados pueden cobrar por los permisos.

Cualquier permiso de construcción cobrado por el gobierno para una construcción solar debe ser directamente atribuible al mismo y sufragar los gastos del servicio para el que se cobra. En vez de utilizar los cargos por permisos como un vehículo para aumentar los ingresos, el gobierno sólo puede cobrar el permiso como lo que le cuesta exactamente al municipio. Además, antes de adoptar una tasa de permisos fija, el gobierno debe llevar a cabo audiencias públicas al menos 15 días antes del aviso público. [DOE. EERE, 2009b]

4.3.3 Colorado

4.3.3.1 Boulder – Fondo para el Plan de Acción Climático ³⁶

El fondo para el Plan de Acción Climático es un fondo de beneficio público. Este plan autoriza a los municipios, a través de las compañías eléctricas, a imponer y cobrar un impuesto por consumo a los clientes residenciales, comerciales e industriales con el propósito de financiarlo para reducir los gases de invernadero. El

³⁵ Solar Construction Permitting Standards

³⁶ Climate Action Plan Fund

plan establece programas para aumentar la eficiencia energética, el uso de energías renovables y reducir las emisiones de los vehículos de motor, entre otras cosas.

El impuesto tiene una duración de 6 años, empezando en el 2007, y establece el cargo inicial y al tope que puede llegar el municipio. [DOE. EERE, 2009b]

4.4 Políticas, Leyes y Reglamentos Locales

En Puerto Rico se han creado varias leyes y reglamentos para apoyar la difusión de varios tipos de energías renovables entre los ciudadanos. Las mismas se parecen mucho en su contexto a las establecidas en muchos de los Estados de Estados Unidos. La mayoría van dirigidas a la otorgación de incentivos por parte del gobierno hacia los consumidores. A continuación se describen en más detalle las leyes y reglamentos existentes en la Isla.

4.4.1 Ley Núm. 325 del 2004: Ley para el Desarrollo de Energía Renovable y Adiciona Sección 2048-A al Código de Rentas Internas de 1994

La ley 325 firmada el 16 de septiembre de 2004 se creó con el fin de establecer una exención al pago de impuestos sobre la propiedad inmueble a los equipos de captación, acumulación, generación, distribución y aplicación de energías renovables. Se presentó dicha legislación para: estimular el uso de energías renovables, eliminar el impuesto de propiedad inmueble de los equipos que aprovechan las energías renovables y viabilizar el desarrollo, la fabricación y la venta de equipos que utilicen estas fuentes de energías renovables. Además propone la creación de incentivos fiscales, como las deducciones y / o créditos; para el desarrollo, la fabricación y el mercadeo de equipos de energías renovables.

4.4.2 Ley Núm. 114 del 2007: Para Ordenar y Autorizar a la AEE a Establecer un Programa de Medición Neta

La ley 114 firmada el 16 de agosto de 2007 ordena a la AEE a establecer un programa que permita la interconexión a su sistema de transmisión y distribución eléctrica y la retroalimentación de electricidad a los clientes que hayan instalado un equipo solar eléctrico, molino de viento o cualquier otra fuente de energía renovable capaz de producir energía eléctrica. Además deben conceder créditos en las facturas por la electricidad generada por estos equipos y compensar por el sobrante de exceso de energía generadas por los mismos; y para otros fines.

La medición neta es un incentivo esencial para la inversión en equipos que generan electricidad usando fuentes renovables de energía. La misma se logra mediante la interconexión del sistema de transmisión y distribución de la AEE y el sistema de energía solar o eólica instalado por el cliente. La medición neta permite a los clientes utilizar la electricidad generada por equipos solares ú otras fuentes de energía renovable para compensar el consumo de electricidad provisto por la AEE mediante un sólo contador que mide además, el flujo de electricidad en dirección contraria cuando genera electricidad en exceso de su demanda.

La medición neta se traduce en beneficio para el cliente debido a que promueve el uso de energía limpia y económica, recibe compensación por el exceso de electricidad que genera y sólo paga por la electricidad neta que le suministre la AEE. También es un estímulo para ahorrar energía, pues a mayor sobrante de energía generada y no usada, mayor es el crédito o el pago que recibirá el cliente de la AEE. Del mismo modo, la AEE se beneficia, porque cuando los clientes producen electricidad durante periodos de mayor demanda, alivian la carga de su sistema de transmisión y

distribución. La AEE también reduce sus gastos operacionales al recibir energía a un costo menor de lo que le cuesta producirla y aumenta su reserva.

La manera en que funciona el programa de medición neta es que durante el día los sistemas de energía solar instalados en una residencia, depositan cualquier exceso de energía generada en el sistema de transmisión y distribución de la AEE, originando un crédito en la factura del cliente. En la noche el sistema, automáticamente, extrae la electricidad que necesite el cliente de la red de la AEE; viceversa para los negocios e industria. Y la retroalimentación, que es el flujo de entrada y salida de electricidad, es completamente automática, proporcionando una circulación suave e ininterrumpida de electricidad para atender las necesidades en el hogar o negocio.

El programa de medición neta antes descrito, esta disponible para clientes residenciales y comerciales que instalen equipos cuya capacidad generatriz no sea mayor de 25 kW para residencias y un megavatio para comercios. Además provee la concesión de créditos en la facturación por el exceso en la producción de electricidad generada por los equipos instalados para un máximo diario de 300kW-hr para el sector residencial y 10 MW-hr para el comercial. Establece la siguiente distribución para los créditos acumulados y no usados por el cliente durante el año de facturación;

- Se otorga 75% para una compensación razonable al cliente retroalimentante.
- Un 25 % para créditos o rebajas en las facturas de electricidad de las escuelas públicas.

La compensación provista es a razón de \$0.10/kW-hr o aquella cantidad que resulte al restar el ajuste por combustible, basado en los costos variables incurridos por la AEE,

exclusivamente para la compra de petróleo y energía del precio total que le cobra la AEE a sus clientes, convertido en kilovatio-hora, la que sea mayor.

Para ser elegible para el programa el equipo debe cumplir con todos los requisitos dispuestos en la legislación y reglamentación federal aplicables a programas de medición neta que permitan la interconexión a sistemas de transmisión. Además debe:

- Realizar la operación compatible con las instalaciones de transmisión y distribución existente en la AEE
- Cumplir con las normas y especificaciones sobre los requisitos mínimos de eficiencia establecidos por la Administración de Asuntos Energéticos u otro organismo gubernamental designado para ello
- Ser instalado por una persona certificada por la Junta Norteamericana de Profesionales de la Energía Certificados³⁷ (NABCEP, por sus siglas en inglés) y registrada con la Administración de Asuntos Energéticos
- Estar garantizado por cinco (5) años o más por el fabricante o distribuidor
- Disponer que su uso primordial será para compensar en todo o en parte la demanda de energía eléctrica del cliente
- Toda instalación deberá, si así aplicara por la naturaleza de los equipos, incorporar medidas de control y mitigación de emisiones y ruidos y en su operación deberá cumplir con las leyes y reglamentos ambientales y de zonificación y uso vigentes para el lugar de ubicación

³⁷ North American Board of Certified Energy Practitioners, NABCEP

La instalación del contador de medición neta que mide el flujo de electricidad en dos direcciones y la conexión al sistema de transmisión y distribución de la Autoridad de Energía Eléctrica será por cuenta del cliente y deberá ser realizado por un perito electricista. Toda instalación de este tipo deberá incluir un mecanismo de desconexión automática del flujo hacia las líneas de distribución, en caso de una interrupción del servicio de la Autoridad de Energía Eléctrica.

Esta ley es cónsona con lo dispuesto en las legislaciones y reglamentaciones federales aplicables como: Ley de Política Energética 2005 y Normas para las Centrales Eléctricas³⁸.

4.4.3 Reglamento para Establecer el Programa de Medición Neta

Conforme al la Ley 114 del 16 de septiembre de 2004, la Autoridad de Energía Eléctrica crea este reglamento, el 7 de agosto de 2008, con el propósito de establecer el proceso de solicitud y los requisitos para participar del Programa de Medición Neta para aquellos clientes con sistemas de generación propios que utilicen fuentes de energía renovable interconectados al sistema eléctrico de la AEE. Además, define la manera en que se reflejara en la factura el cobro de la energía consumida o la acreditación de la generada y exportada por el cliente.

La facturación de la energía consumida por el cliente, y el crédito o pago por la energía que exporte, se realizara a base del Consumo Neto y la Exportación Neta de energía por parte del cliente.

Por otro lado, este reglamento incluye los generadores de electricidad privados en las propiedades de ciudadanos que utilicen energía solar, eólica u otra fuente de energía renovable y que tenga una capacidad no mayor de 25kV para clientes residenciales y

³⁸ Standard for Electric Utilities

no mayor de 1 MV para clientes comerciales, industriales, agrícolas, instituciones educativas y hospitales.

4.4.4 Ley 145: Ley para Enmendar la Ley 81 “Ley de Municipios Autónomos del E.L.A. de Puerto Rico de 1991”

La Ley 145 del 3 de agosto de 2006 para enmendar el artículo 17.001 de la Ley 81 del 30 de agosto de 1991, según enmendada, conocida como “Ley de Municipios Autónomos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico de 1991”, se hace a los fines de incluir la generación de electricidad de fuentes renovables de energía entre las actividades a ser promovidas por las Corporaciones Especiales para el Desarrollo Municipal.

Planteando como ejemplo la ley federal “Ley de Políticas Regulatorias para el Sector Público de 1978”³⁹, la cual obliga a la compañías de electricidad a comprar energía producida por otras entidades a un costo que evita incurrir la compañía misma por razón de no tener que producir la electricidad. Siendo este precio uno favorable para la entidad co generadora y promover de esta forma el uso de otras fuentes de energía distintas al petróleo.

Por tal razón, expone que los municipios deben contemplar establecer alianzas estratégicas con el sector privado para aprovechar la oportunidad que representan los desarrollos que se están dando en la generación de electricidad por medio de fuentes renovables de energía. De esta manera los municipios pueden de forma creativa atender sus necesidades energéticas ofreciendo alternativas que lleven a reducir los costos operacionales del gobierno municipal y de sus habitantes.

³⁹ Public Utility Regulatory Policies Act

La Ley establece que: *“Se faculta a los municipios a autorizar la creación de Corporaciones Especiales para el Desarrollo Municipal, en adelante "corporaciones especiales" sin fines de lucro, con el propósito primordial de promover en el municipio cualesquiera actividades, empresas y programas municipales, estatales y federales, dirigidos al desarrollo integral y que redunden en el bienestar general de los habitantes del municipio a través del crecimiento y ampliación de diversas áreas, tales como servicios de tipo social, el desarrollo de terrenos públicos, la vivienda de tipo social, el comercio, la industria, la agricultura, la recreación, la salud, el ambiente, el deporte y la cultura, así como, la generación de electricidad de fuentes renovables de energía (Sr. Roselló González).”*

4.4.5 Reglamento para la Interconexión de Generadores con el Sistema de Distribución Eléctrica

Este reglamento establece los requisitos y el proceso para la instalación y la operación de los generadores distribuidos interconectados con el sistema de distribución eléctrica de la AEE. El propósito del mismo es apoyar la adopción de energías renovables como fuentes alternativas de generación, garantizando la seguridad de sus empleados, clientes, los equipos de la agencia y la calidad del ambiente. Las disposiciones de este reglamento aplican a todo proyecto de Generador Distribuido que se interconecte al sistema de distribución eléctrica de la Autoridad.

Estos sistemas deben cumplir con todas las normas de seguridad y funcionamiento establecidas por la Norma 1547 del Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos ⁴⁰(IEEE, por sus siglas en inglés), al igual con los códigos de

⁴⁰ Institute of Electric Engineers and Electronics, IEEE

construcción y de seguridad locales. También se requiere un interruptor de desconexión externo para todos los sistemas.

Básicamente el reglamento dispone que todo cliente que busque interconectarse, primero debe someter una Solicitud de Evaluación a la Autoridad para que esta última determine si el sistema cualifica o no para el Proceso de Interconexión Simple. Para cualificar para este proceso, el sistema debe estar basado en la tecnología de inversor⁴¹, su capacidad no debe ser mayor de 25kW (fase simple) ni más de 200kW (tri-fase), además de otros requisitos técnicos. Si el sistema no cualifica, la Autoridad solicita un Estudio Suplementario, el cual determinará si se necesitan mejoras al sistema de distribución o si se necesitan cambios en el diseño del generador de manera que su interconexión sea segura. El cliente pagará por los gastos relacionados.

Una vez se apruebe la interconexión, se realicen y certifiquen todos los estudios de seguridad, la Autoridad y el cliente firmaran el acuerdo de interconexión.

4.4.6 Ley 248: Para añadir la Sección 1040J al Subtítulo A, y; añadir la Sección 2514 al Subtítulo BB de la Ley 120 de 1994 “Código de Rentas Internas de Puerto Rico de 1994”

La ley 248 del 10 de agosto de 2008 se crea con el propósito de añadir secciones a la ley 120 “Código de Rentas Internas de Puerto Rico de 1994” con el fin de conceder incentivos contributivos para el desarrollo de la energía solar en el país, y enmendar la ley 83 “Ley de Contribución Municipal sobre la Propiedad de 1991” con el fin de añadir la utilización de la energía solar a la exención provista, así como a los equipos

⁴¹ inverter technology

de captación, acumulación, generación, distribución y aplicación de energías renovables que sean introducidos a, o manufacturados en Puerto Rico.

Se añade la sección 2048-A al subtítulo B del Código, para eximir del pago de los arbitrios a los equipos antes mencionados. Sin embargo, con la creación de la ley 117 “Ley de Justicia Contributiva de Puerto Rico” se enmendó este subtítulo y se creó el subtítulo BB en el cual se sustituyeron los arbitrios generales por un impuesto de ventas y uso. En dicha ley no se eximio a estos equipos del impuesto. Por tal razón, la ley 248 provee para la creación de una sección que permita la exención del impuesto de ventas y uso sobre los equipos antes mencionados.

Esta ley da paso a la creación de los incentivos del Crédito Fiscal Solar, Exención sobre el Impuesto a la Propiedad para Equipo Solar y Exención del IVU para Equipos Solares Eléctricos.

4.4.7 Reglamento para la Certificación de Sistemas Fotovoltaicos e Instaladores

El propósito de este reglamento es establecer las normas referentes a los requisitos y el proceso para la certificación de equipos fotovoltaicos que forman parte de sistemas fotovoltaicos a ser manufacturados, vendidos e instalados en Puerto Rico con el fin de asegurar una calidad y garantía mínima de estos equipos. Además, establece los requisitos y el proceso para que los instaladores de estos equipos puedan registrarse y certificarse con la Administración de Asuntos Energéticos. De esta manera se asegura que los instaladores cuenten con el conocimiento especializado para trabajar con estos equipos y las conexiones eléctricas correspondientes.

También establece los requisitos mínimos de diseño y el proceso para obtener la Certificación de Sistemas Fotovoltaicos para asegurar que las instalaciones sean

hechas a base de un diseño. Además de que los mismos sean hechos por ingenieros licenciados para garantizar que se cumpla con todas las leyes, reglamentos y códigos de construcción de Puerto Rico. Es necesario cumplir con estos requisitos para poder aplicar para los incentivos dispuestos por la ley 248.

Para poder ser un instalador certificado el solicitante debe ser un electricista licenciado o ingeniero eléctrico con credenciales al día y cumplir con alguno de estos:

- Proveer prueba de que ha tomado y pasado al menos 30 horas de adiestramiento en sistemas PV en Puerto Rico.
- Proveer prueba de que ha aprobado el examen de la Junta Norteamericana de Profesionales de la Energía Certificados aun sin adiestramiento específico, más 3 horas de adiestramiento en la leyes, regulaciones y normas aplicables.
- Proveer prueba de que ha tomado y aprobado al menos 40 horas de adiestramiento en sistemas PV en los Estados Unidos, más 3 horas de adiestramiento en la leyes, regulaciones y normas aplicables.

En cuanto a los equipos, el reglamento especifica que estos deben cumplir con UL 1703 y las Normas del Comisión Electrotécnica Internacional ⁴²(IEC, por sus siglas en inglés), conforme a la certificación de un laboratorio nacional reconocido. El fabricante debe garantizar que el equipo estará operando al 80% de su capacidad como mínimo después de 20 años. El reglamento dispone especificaciones técnicas adicionales para los inversores y las baterías.

⁴² International Electrotechnical Commission, IEC

4.4.8 Ley 241: Para enmendar el Artículo 2 Ley 78 del 1993 “Ley de Desarrollo Turístico de 1993”

La ley 241 del 9 de agosto de 2008 se creó con el propósito de enmendar el Artículo 2 de la ley 78 del 10 de septiembre de 1993, según enmendada, conocida como la “Ley de Desarrollo Turístico de 1993”. Con la enmienda se crea un nuevo crédito por inversión turística que facilite la adquisición e instalación por parte de las hospederías de equipos capaces de producir electricidad por medio de fuentes renovables, como lo es la energía solar.

Se enmienda la parte C del Artículo 5 del crédito por inversión turística donde se expone la cantidad máxima de crédito. En este artículo se establece que en el caso de las inversiones necesarias para la adquisición e instalación de los equipos que generan electricidad por medio de la utilización de energías renovables se otorgará un crédito del 60% del total de la inversión. El crédito será concedido cuando dichos equipos cumplan con las especificaciones sobre los requisitos mínimos de eficiencia establecidos por la Administración de Asuntos Energéticos.

4.4.9 Ley 211: Para Enmendar el Artículo 2, inciso (e) Ley 114 del 2007 “Para Ordenar y Autorizar a la AEE a Establecer un Programa de Medición Neta”

La ley 211 del 9 de agosto de 2008 se crea con el fin de enmendar el Artículo 2, inciso (e), de la ley 114 del 2007, antes descrita en este capítulo. Con esta ley se cambian los requisitos establecidos para las personas autorizadas a instalar los equipos que generen electricidad utilizando energías renovables de manera que se requiera ser perito electricista o ingeniero eléctrico, debidamente autorizado para ejercer la profesión en Puerto Rico.

En la ley 114 del 2007 se establece que la persona responsable de realizar las instalaciones sea certificada por el Junta Norteamericana de Profesionales de la Energía Certificados (NABCEP, por sus siglas en inglés) y estar registrada con la Administración de Asuntos Energéticos. La NABCEP no tiene oficina ni lugar en Puerto Rico para efectuar la certificación requerida, y es, según la definen sus propios directores, una junta voluntaria de entidades y personas participantes en la industria de las energías renovables, que pretende estandarizar la formación técnica de los instaladores de equipos de generación eléctrica fotovoltaica y solar termal. Dicha entidad ofrece sólo certificación de carácter voluntario en los Estados Unidos, o sea, que no es necesario tener el certificado para ejercer la función de instalador de estos equipos.

Por tal razón, dispone que: *“ser instalado por un ingeniero electricista o por un perito electricista, ambos colegiados y licenciados, de conformidad con lo establecido en el Artículo 23 de la Ley Número 115 de 2 de junio de 1976, según enmendada, que haya aprobado satisfactoriamente los cursos de educación continua, ofrecidos por sus respectivos Colegios, referente a la instalación de equipo de generación distribuida basada en cualquier tipo de energía renovable y las normas de interconexión, medición y prueba de la Asociación Nacional de Comisionados Regulatorios de Utilidades⁴³ y del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos; debiendo registrarse tal profesional con la Administración de Asuntos de Energía, acompañando copia certificada, expedida por el Colegio al que pertenezca, que acredite la aprobación de los cursos de educación continua requeridos, los cuales tendrán una vigencia de cuatro (4) años, desde su aprobación, y una copia de su*

⁴³ National Association of Regulatory Utility Commissioners

licencia para ejercer la profesión de ingeniero electricista o de perito electricista, según sea el caso(Sra. María de L. Santiago Negrón)”

4.4.10 Ley 73: Ley de Incentivos Económicos para el Desarrollo de Puerto Rico y Enmendar las secciones 1022 y 1232 del Código de Rentas Internas de 1994

La ley 73 del 28 de mayo de 2008 se crea con el fin de proveer el ambiente y las oportunidades adecuadas para continuar desarrollando una industria local; ofrecer una propuesta contributiva atractiva para atraer inversión directa extranjera y fomentar el desarrollo económico y mejoramiento social de Puerto Rico, además de las modificaciones al Código de Rentas Internas de 1994. Esta ley responde a decisiones estratégicas sobre lo que deberá ser la política pública del país, entre estas; apoyar las iniciativas del sector privado, la academia, las empresas comunitarias, y los municipios, conducentes hacia el desarrollo económico de Puerto Rico a través de la innovación, la investigación y desarrollo, y la inversión en infraestructura necesaria para una mejor calidad de vida y eficiencia en las operaciones industriales. También se hace constancia en tomar acción contundente para reducir los costos de energía, a través de las diferentes alternativas de fuentes renovables.

La ley se compone de varias secciones y a continuación se hará mención de las concernientes a nuestro proyecto. En la sección 2 el punto C describe como un negocio exento: un negocio elegible, según definido en esta Ley, establecido, o que será establecido, en Puerto Rico por una persona natural o jurídica, o combinación de ellas, organizado o no bajo un nombre común, al que se le ha concedido uno o varios decretos de exención contributiva, pero excluyendo hoteles, paradores y otras facilidades especiales que sean negocios exentos bajo la Ley Núm. 52 de 2 de

junio de 1983 o la Ley Núm. 78 de 1993. Entre los negocios elegibles mencionados en la ley se encuentran:

- Cualquier negocio que se dedique a la producción, sea en escala comercial o no, de energía para consumo en Puerto Rico, mediante el uso de gas natural o carbón; o mediante el uso de fuentes renovables, incluyendo energía solar y eólica, entre otras. Se incluyen unidades participantes en consorcios privados o público-privados que tengan como objetivo principal la producción de energía.
- Negocios que se dediquen al ensamblaje de equipo para generación de energía por medio de fuentes renovables.
- Proyectos estratégicos, proyectos bajo consorcios público-privados como la construcción de plantas para la producción de energía que utilicen combustibles alternos al petróleo y fuentes renovables, entre otros. Disponiendo, que a partir del tercer año de la vigencia de esta Ley, toda planta que solicite los beneficios de la Ley será de fuentes renovables y que a partir del sexto año, toda planta que inicie operaciones tendrá que ser de fuentes renovables.
- La construcción de vivienda de interés social y la planificación y desarrollo de comunidades auto-sustentables o parcialmente sustentables. Comunidad auto-sustentable significará el desarrollo de proyectos de vivienda con la capacidad para suplir sus propias necesidades de energía, agua y manejo de desperdicios sólidos. Y el término parcialmente sustentable significa el desarrollo de vivienda con capacidad para suplir sus necesidades de agua en 75% o mayor, el desarrollo de una infraestructura sanitaria propia, del manejo

de desperdicios sólidos de acuerdo a las leyes y reglamentos vigentes y la utilización de técnicas de producción alterna de energía, para suplir como mínimo, las áreas comunes del proyecto de vivienda.

El punto J de esta sección habla sobre los ingresos de inversiones elegibles y dispone que sean los intereses y dividendos sobre fondos elegibles invertidos por el negocio exento en préstamos para el financiamiento de cualquiera de los proyectos estratégicos mencionados en la ley, entre otros.

La sección 3 habla sobre las tasas contributivas y expone que los negocios exentos, estarán sujetos a una tasa fija de contribución sobre ingresos sobre su ingreso neto de desarrollo industrial de 4% excluyendo el ingreso proveniente de las inversiones elegibles descritas en la ley. Además, los negocios exentos cuyos pagos de regalías por el uso o privilegio de uso de propiedad intangible en Puerto Rico a personas no residentes, no dedicadas a industria o negocio en la Isla se encuentren sujetos a la tasa de contribución retenida del 2%, estarán sujetos a una tasa fija de contribución sobre ingresos sobre su ingreso neto de desarrollo industrial de 8%.

La sección 5 el punto B habla sobre los créditos por creación de empleo donde se crea un Crédito por Inversión en Investigación y Desarrollo, Pruebas Clínicas, Pruebas Toxicológicas, Infraestructura, Energía Renovable o Propiedad Intangible. El crédito será del 50% de la inversión elegible especial, definido como, la cantidad de efectivo utilizado por el negocio exento o cualquier entidad afiliada a dicho negocio exento en las actividades antes mencionadas. El punto C habla sobre el Crédito por la Inversión en Maquinaria y Equipo para la Generación y Uso Eficiente de Energía. El mismo es del 50% hasta un máximo de 25% de la contribución sobre ingresos, entre otras disposiciones.

También se menciona el Crédito por Inversión en proyectos Estratégicos. Donde se establece que cualquier negocio exento podrá reclamar hasta un 50% de la inversión elegible en proyectos estratégicos hechos en la Isla. Define inversión elegible como la cantidad de efectivo, proveniente de cualquier fuente de financiamiento, utilizado por el negocio exento, o por cualquier entidad afiliada, en actividades de diseño, desarrollo y construcción, y todas las infraestructuras necesarias para su operación. El término incluirá una inversión efectuada con el efectivo proveniente de un préstamo que esté garantizado por el propio negocio exento o por sus activos, o por cualquier entidad afiliada.

La sección 7, Contribución sobre la Propiedad Mueble e Inmueble, expone que la propiedad mueble e inmueble utilizada para el desarrollo, organización, construcción, establecimiento u operación de las actividades descritas en la ley podrá obtener hasta un 90% de exención sobre las contribuciones municipales y estatales durante el periodo establecido en la misma ley. La sección 8, Patentes Municipales y otros Impuestos Municipales; dispone, entre otras cosas, que los negocios exentos obtendrán un 60% de exención sobre las patentes, arbitrios y otras contribuciones municipales impuestas por cualquier ordenanza municipal. Además, para los negocios exentos, sus contratistas y subcontratistas estarán totalmente exentos de cualquier contribución, impuesto, derecho, licencia, arbitrio, tasa o tarifa impuesta por cualquier ordenanza municipal sobre la construcción de obras a ser utilizadas por dicho negocio dentro de un municipio, sin que se entienda que dichas contribuciones incluyen la patente municipal impuesta sobre el volumen de negocios del contratista o subcontratista del negocio, durante el término que autorice el decreto de exención contributiva. También, el ingreso obtenido de las inversiones que cualifiquen bajo

proyectos estratégicos estará totalmente exento de patentes municipales, arbitrios municipales y otras contribuciones municipales.

La sección 9, Arbitrios Estatales e Impuestos sobre Ventas y Uso, dispone que además de cualquier otra exención de arbitrios o del impuesto sobre ventas y uso concedida bajo los Subtítulos B y BB, respectivamente, del Código de Rentas Internas de Puerto Rico, estarán totalmente exentos de dichos impuestos, durante el período de exención una serie de artículos introducidos o adquiridos directa o indirectamente por un negocio que posea un decreto otorgado bajo esta Ley. Entre estos, equipos eficientes en el uso de energía, que estén debidamente certificados por la AAE.

Por ultimo, la sección 10, Periodo de Exención Contributiva, dispone que la exención contributiva sea por un periodo de 15 años, entre otras cosas.

4.4.11 Ley 82: Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico

La Ley 82 del 19 de julio de 2010 se crea con el fin de establecer las normas para fomentar la generación de energía renovable, conforma metas compulsorias a corto, mediano y largo plazo, conocidas como Cartera de Energía Renovable (CER). Además crea la Comisión de Energía Renovable de Puerto Rico como la entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento con la Cartera de Energía Renovable y, aclarar sus deberes y los deberes de la Administración de Asuntos Energéticos con relación a la Comisión y la CER.

La Cartera de Energía Renovable son las metas compulsorias para la reducción en uso de energía convencional y aumento en el uso de energías renovables. Esta ley establece los por cientos específicos mediante los cuales la AEE y otros proveedores

de energía eléctrica al detal deberán suministrar energía eléctrica proveniente de fuentes de energía renovable durante los próximos 25 años. Con ello se busca lograr un 20% de producción de energía renovable y reducir dramáticamente nuestra dependencia en el uso de combustibles fósiles para consumo de energía.

Con este fin, los miembros del Comité de Política Publica Energética (CPPE) creado por el Gobernador, lograron un acuerdo en cuanto a una propuesta cartera donde definen los por cientos mínimos de energía renovable a ser producidos en las próximas décadas. Establecieron un mínimo de 12% para el 2015 y 15% para el 2020.

La implementación de esta propuesta y de los otros componentes de esta Ley estará a cargo de la Comisión de Energía Renovable de Puerto Rico, para la cual la AAE fungirá como brazo operacional e implementar las decisiones, determinaciones, órdenes y reglamentos de la Comisión. La Comisión estará compuesta por 7 miembros, el Director Ejecutivo de la AAE, el Secretario del Departamento de Desarrollo Económico y Comercio, el Presidente del Banco Gubernamental de Fomento, el Secretario de Hacienda, el Presidente de la Junta de Planificación, un representante de la academia y un representante del sector privado. Estos dos últimos serán nombrados por el Gobernador con el consentimiento y aprobación del Senado de P.R. y su término será de 4 años.

Por otro lado, como mecanismo para implementar la nueva política energética se crea el uso de Certificados de Energía Renovable (CER). CER representa el equivalente de un megavatio-hora (1 MW-hr) de electricidad generada por una fuente de energía renovable y a su vez comprende todos los atributos ambientales y sociales de dicha

energía. Los CERs serán uno de los instrumentos utilizados para verificar que los proveedores de energía eléctrica al detal cumplan con las disposiciones contenidas en la Ley.

Otro de los objetivos de esta Ley es permitir a Puerto Rico la oportunidad de formar parte del mercado de CERs y de un mercado de fuentes de energías renovables que actualmente existe en Estados Unidos. Estos certificados serán activos mercadeables y negociables dentro y fuera de PR, por lo que su emisión representa un valor económico por parte de aquel que los adquiera, mercadee o negocie. Además, la necesidad de cumplir con determinados porcentajes de energía renovable, también es un mecanismo para propiciar el establecimiento de empresas dedicadas a la producción de energía eléctrica mediante el uso de fuentes renovables, lo cual creará empleos e impulsará un nuevo mercado para desarrollo económico en PR.

4.4.12 Ley 83: Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico

La Ley 83 del 19 de julio de 2010 se creó con el fin de fomentar la generación de energía renovable, conforme a las metas compulsorias establecidas a corto, mediano y largo plazo. Esta Ley faculta a la Administración de Asuntos Energéticos (AEE) a incentivar el cumplimiento con las metas compulsorias y el desarrollo de energías renovables, crea medidas para estimular el desarrollo de los sistemas energéticos sostenibles que fomenten el ahorro y la eficiencia en el uso de la energía, esto mediante el establecimiento de un fondo especial denominado como el Fondo de Energía Verde, conforme a los objetivos de la nueva política energética del Gobierno. Además reforma, organiza y uniforma los incentivos existentes relacionados a la creación o utilización de fuentes de energías renovables y crea nuevos incentivos que estimulen la proliferación de estas tecnologías. La Ley también hace varias

enmiendas a leyes existentes, entre estas, la sección 1040J del Código de Rentas Internas creada por virtud de la Ley 248 del 10 de agosto de 2008 (sección 4.4.6).

El Fondo de Energía Verde es un fondo especial establecido por el Departamento de Hacienda que recibirá los recaudos de los arbitrios de los vehículos de motor y motocicletas a partir del año fiscal 2011-2012 para los fines antes descritos. Los fondos máximos serán los siguientes:

- Para los años fiscales 2011-2012 y 2012-2013 la cantidad de \$20,000,000.
- Para el año fiscal 2013-2014 la cantidad de \$25,000,000 aumentando \$ 5 millones por año los siguientes dos años fiscales.
- Del 2016-2020 la cantidad será de \$40,000,000.

Para adelantar los propósitos descritos en la Ley la AAE, mediante desembolsos del Fondo de Energía Verde, podrá otorgar incentivos, contratos, prestamos, instrumentos de inversión, créditos de producción de energía, proveer ayuda financiera, y tomar cualquier otra acción, en cualquier forma o en los términos y condiciones que determine la AAE, según sus criterio y procedimientos para, entre otras cosas:

- Promover el crecimiento de la industria de productores de energía verde
- Estimular el uso de energía verde por consumidores de energía en Puerto Rico
- Adiestramiento, capacitación y educación al público sobre energía verde
- Desarrollo de productos y mercado
- Demostraciones y proyecto pilotos y otras actividades diseñadas para aumentar el uso y accesibilidad a fuentes de energía verde por y para los consumidores puertorriqueños

- Proveer financiamiento en apoyo del desarrollo e implantación de tecnologías de energía verde a todos los niveles incluyendo actividades de comercialización
- Conservación y maximización de los recursos de energía.

La AAE recomendará, desarrollará e implantará proyectos e iniciativas de una o más de las maneras antes descritas. Para poder llevar a cabo los proyectos y recibir dinero del fondo, la AAE tiene que someter una propuesta al Secretario de Desarrollo y al Comité Evaluador para certificar que dicho proyecto es cónsono con la política pública energética de Puerto Rico. El Comité estará constituido por tres miembros: el Secretario de Desarrollo, el Presidente del Banco Gubernamental de Fomento y el Secretario de Hacienda o sus respectivos delegados.

Esta Ley crea el Programa de Reembolso por Inversión en Energía Verde, tasas contributivas, deducciones especiales, varios créditos, exenciones en contribuciones sobre la propiedad mueble e inmueble, patentes municipales y otros impuestos municipales, extiende las exenciones sobre los arbitrios estatales y el IVU, entre otras cosas. Estos incentivos se explican en más detalle en la sección 4.8 de incentivos locales. Además la Ley establece que el periodo de exención contributiva será por 25 años.

Entre las enmiendas y derogaciones que comprende la Ley se encuentra la enmienda a la sección 1040J del “Código de Rentas Internas de Puerto Rico de 1994” creada por la virtud de la ley 248 del 10 de agosto de 2008 donde dispone que el crédito contributivo por la adquisición e instalación de equipo solar estará limitado a un 75% para los años fiscales 2007-2008 y 2008-2009; para el año fiscal 2009-2010 será de 50%. La cantidad máxima de créditos contributivos disponibles en un año fiscal

particular será de \$5 millones para personas naturales y \$15 millones para personas jurídicas. Expone que el Secretario de Hacienda no autorizara ni concederá créditos bajo dicha sección para el año fiscal 2010-2011 y subsiguientes.

4.5 Otras Leyes Locales Relacionadas a Energía y Eficiencia

Energética

4.5.1 Ley 229: Ley para promover la eficiencia en el uso de energía y recursos de agua en las edificaciones nuevas y existentes del ELA o Ley de Edificios Verdes

La ley 229 conocida como Ley de Edificios Verdes, firmada el 9 de agosto de 2008, dispone adoptar unos principios de política pública que guiarán los propósitos de esta ley. Esta ley se crea con el propósito de implantar medidas gubernamentales que conduzcan al desarrollo de un entorno urbano ambientalmente amigable, y de una economía sostenible, facultando a la Autoridad de Edificios Públicos a promover la implementación de estándares de construcción y de eficiencia en uso de recursos naturales para edificios propiedad del Gobierno, los cuales incluirán requisitos para edificios nuevos, edificios de menos de 5 años de construidos, así como edificaciones gubernamentales que requieran renovaciones de gran magnitud.

Además de crear política pública, bajo esta ley se fijan porcentajes de reducción gradual de emisiones de gases de invernadero hasta el año 2030; se le ordena a la Autoridad de Edificios Públicos en conjunto con la Administración de Asuntos Energéticos a implantar mecanismos y tecnologías que le permitan medir los niveles de consumo de energía de las edificaciones gubernamentales; entre otras disposiciones.

El artículo 3, Estándares de eficiencia en uso de energía para edificaciones propiedad del gobierno, dispone que a partir de un año desde la aprobación de esta ley, todo proyecto de facilidades gubernamentales deberá ser diseñado, construido y certificado por alguno de los estándares de conservación de energía, consumo de agua y ventilación, como lo es el Sistema de Clasificación en Diseño Ambiental de Edificios Verdes y Liderazgo en Energía ⁴⁴(LEED, por sus siglas en inglés). Estos estándares serán aplicables a: toda construcción nueva con un área bruta mayor de 5,000 pies cuadrados; la reconstrucción o rehabilitación de todo edificio del Gobierno cuyo costo sea igual o mayor al 50% del valor de la estructura y su área bruta sea de 5,000 pies cuadrados o más. Además, dispone que la Autoridad de Edificios Públicos en coordinación con AAE establezca, mediante reglamento, los estándares de eficiencia para todos los edificios propiedad del Gobierno. Este reglamento incluirá los siguientes requisitos: los edificios deben ser diseñados para alcanzar un consumo de energía de, al menos, 30% de los niveles establecidos en los estándares del Código de Conservación de Energía; las edificaciones serán diseñadas de manera que las mismas sean capaces de reducir los gases de invernadero generados por el consumo de energía procedente de combustibles fósiles, en comparación con los niveles generados para el año 2004 por un edificio gubernamental de características similares. Empezando en el año fiscal 2009- 2010, con un 40% de reducción hasta alcanzar el 100% para el año 2030. [OSL, 2008]

4.5.2 Ley 30: Ley de Compra de Equipos de Alta Eficiencia Energética

La ley 30 del 2 de julio de 1997 ordena a la Administración de Asuntos de Energía, que revise, en conjunto a la Administración de Servicios Generales y la AEE, la

⁴⁴ Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System, LEED

reglamentación vigente, para ese entonces, de conservación de energía, para que incluya el establecimiento de una política pública preferencial de compra de equipos y enseres de alta eficiencia energética y que aplique a todas las dependencias del gobierno de Puerto Rico. Incluyendo las agencias, municipios u otras dependencias del gobierno que estén excluidas de las disposiciones de la Ley de la Administración de Servicios Generales y/o que posean sus propios reglamentos de compras. Las mismas adoptarán como guía básica las normas de eficiencia energética y uso de fuentes de energía renovable estipulados en la reglamentación a ser revisada.

La Administración de Asuntos de Energía y la Administración de Servicios Generales rendirán un informe de progreso bianual a la Asamblea Legislativa referente a los efectos de esta medida. Como: los ahorros energéticos generados por la medida; el costo-beneficio económico de las normas y medidas establecidas; dificultades enfrentadas en la implementación de la medida.

El rol de la Autoridad de Energía Eléctrica fue proveer el apoyo, información y conocimiento técnico que le fueron solicitados por las otras dos agencias.

El reglamento creado el 19 de agosto de 2008 bajo esta ley por la Administración de Servicios Generales define los equipos de alta eficiencia como aquellos equipos que cumplan con ciertos requisitos de eficiencia en el consumo de energía y, que ayuden a la protección del medio ambiente, ahorro de energía y mantenimiento de los recursos. Mas adelante expone que la Junta Reguladora de la Administración deberá asegurarse que las especificaciones pertinentes incluyan y cumplan con los requisitos establecidos mediante el programa “Energy Star”. Este es un programa de la Agencia de Protección Ambiental⁴⁵ de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) en

⁴⁵ Environmental Protection Agency, EPA

conjunto con DOE, mediante el cual se facilita el proceso de escoger y certificar equipos y productos que cumplan con determinados requisitos de eficiencia en el consumo de energía. Dichos equipos se identifican con un logo como equipos de alta eficiencia.

4.6 Incentivos Federales

En un esfuerzo por reducir el uso de energía en todo el país, el gobierno federal ha comenzado a ofrecer incentivos fiscales para los propietarios que compran y ponen en uso los métodos y medios de crear y utilizar fuentes de energía renovables. Los incentivos han sido creados para ayudar a los ciudadanos de todos los sectores a reducir en cierta medida el costo frontal de estos equipos y alentar a la adquisición de los mismos. Según se presenta en la Base de Datos para los Incentivos Estatales en Eficiencia Energética y Energía Renovables (DSIRE ⁴⁶, por sus siglas en inglés) [DOE. EERE, 2009b], en esta sección se resumirán los incentivos federales existentes para facilitar la adopción solar.

4.6.1 Sistema Acelerado Modificado de Recuperación de Costos ⁴⁷(MACRS) + Bono de Depreciación (2008-2009)

Este incentivo está calificado como una amortización corporativa que aplica al sector comercial e industrial del país. Son varias las tecnologías renovables que son elegibles bajo este incentivo, entre estas, los sistemas fotovoltaicos y otras formas de energía solar. Bajo MACRS, las empresas pueden recuperar la inversión de ciertas propiedades a través de las deducciones por depreciación. Este sistema establece un conjunto de clases de vida para varios tipos de propiedad que van de tres a 50 años,

⁴⁶ Database of State Incentives for Renewables and Efficiency, DSIRE

⁴⁷ Modified Accelerated Cost-Recovery System, MACRS

sobre los cuales la propiedad puede ser depreciada. Un sinnúmero de tecnologías renovables son clasificadas como propiedades de 5 años bajo el crédito a impuestos por inversiones en energía, entre estas la solar.

La Ley de Estímulo Económico Federal del 2008 incluye un bono de 50% de amortización el primer año por los sistemas de energía renovables adquiridos y puestos en servicio en el 2008. Esta disposición fue extendida para todo el año fiscal 2009 por ARRA. Para cualificar para el bono de amortización, el proyecto debía satisfacer los siguientes criterios:

- La propiedad debía tener un periodo de recuperación de 20 años o menos bajo las reglas normales del impuesto de depreciación federal.
- El uso original de la propiedad debía comenzar con la reclamación del contribuyente por la deducción.
- La propiedad debió ser adquirida y puesta en servicio durante el 2008-2009.

Si la propiedad cumplía con todos los requisitos, el dueño tenía derecho a la deducción del 50% de la base ajustada de la propiedad en el 2008 y 2009. El 50% restante es depreciado durante el programa de amortización ordinario. Las reglas del bono de amortización no anulaban los límites de depreciación aplicables a proyectos que cualificaran para el Crédito de Impuesto de Energía Federal. Después de calcular la depreciación para dicho proyecto, incluyendo cualquier bono de depreciación, la base ajustada del proyecto debía ser reducida a la mitad de la cantidad del crédito de energía para la cual el proyecto cualificaba.

4.6.2 Subsidio de Exclusión por la Conservación de Energía Residencial⁴⁸(Corporativo)

Este incentivo es una exención corporativa que aplica a los sistemas fotovoltaicos, calentadores de agua y sistemas de calefacción que sean instalados en propiedades del sector residencial, incluyendo los multi-familiares. De acuerdo al Código de los E.U. sección 136, los subsidios de medidas de conservación de energía provistos por las compañías de servicio, ya sea directa o indirectamente no están sujetos a contribución.

Aunque el Servicio de Rentas Internas⁴⁹(IRS, por sus siglas en inglés) no ha pasado una regla definitiva respecto a esto, la publicación 525 del IRS dice sobre otros subsidios que: *“Reembolsos de Compañías de Servicio. Si usted es un cliente de una compañía de servicio y participa de su programa para las medidas de conservación de energía, debe recibir en su factura mensual: una reducción en el precio de compra de la electricidad proporcionado a usted, o un crédito no reembolsable del precio de la compra de la electricidad. El importe de la reducción de la tasa o el crédito no reembolsable no esta incluido en los ingresos.”*

Cabe señalar que esta misma exención es ofrecida a los dueños de residencias o multi-familiares que hagan las instalaciones antes mencionadas. Las condiciones son las mismas que para la exención corporativa.

4.6.3 Crédito Fiscal por Inversiones en el Negocio de la Energía⁵⁰(ITC)

Este es un crédito a impuestos corporativos que el gobierno federal ofrece a los comercios, industrias y compañías de servicio. El mismo incluye varias tecnologías

⁴⁸ Residential Energy Conservation Subsidy Exclusion

⁴⁹ Internal Revenue Services. IRS

⁵⁰ Business Energy Investment Tax Credit, ITC

renovables entre estas las tecnologías solares. El crédito esta disponible para los sistemas que aplican hasta el 31 de diciembre de 2016.

Para los sistemas solares el crédito es igual al 30% de los gastos sin límite máximo. Las propiedades de energía solar elegibles incluyen equipo utilizado para generar electricidad, para calentar o enfriar una estructura, proveer agua caliente, entre otros. El uso original del equipo debe comenzar con el contribuyente o el equipo debe ser construido por el contribuyente. El equipo debe cumplir con los estándares de rendimiento y calidad que estén en efecto al momento de adquirir el equipo. Y por ultimo, el equipo debe estar operacional al momento en el cual el crédito es tomado por primera vez.

4.6.4 Departamento del Tesoro Federal – Subvenciones de Energía Renovable⁵¹

Esta subvención federal aplica a los sectores comercial, industrial y agrícola que instalen uno de varios equipos renovables elegibles, entre estos las tecnologías solares. Bajo ARRA se creo un programa de beca para la energía renovable que será administrado por el Departamento del Tesoro Federal. Esta subvención en efectivo puede ser tomada en lugar del ITC. En julio de 2009 el Departamento del Tesoro público varios documentos detallando las directrices para las becas, términos y condiciones y una aplicación de muestra. El proceso de aplicación se encuentra en la Internet, en la página oficial del departamento.

Las becas están disponibles para propiedades elegibles que se pongan en servicio entre 2009-2010. Para los sistemas solares, la subvención es igual al 30% de la base de la propiedad para dicho sistema. Las propiedades incluyen equipo que utiliza la

⁵¹ U.S. Department of Treasury – Renewable Energy Grants

energía solar para generar electricidad, para calentar o enfriar una estructura y como calentador de agua.

Es importante tener en claro que sólo los contribuyentes corporativos pueden aplicar para esta beca. Las aplicaciones deben ser recibidas en o antes del 1 de octubre de 2011. El Departamento del Tesoro hará el pago de la beca 60 días después de haber aplicado o el día en el cual la propiedad se ponga en servicio, lo que ocurra último.

4.6.5 Bonos Calificados por Conservación Energía ⁵²(QECBs)

Este incentivo está calificado como un programa de préstamo federal creado para los sectores del gobierno local, gobierno estatal (incluyendo el Distrito de Columbia y todos los territorios) y el gobierno de las tribus. Incluye varias tecnologías renovables, entre estas los sistemas fotovoltaicos y sistemas solares térmicos eléctricos.

Los QECBs son bonos calificados de crédito fiscal que le ofrece el gobierno federal a las entidades gubernamentales antes mencionadas a un 0% de interés, teóricamente, para el financiamiento de proyectos de energía renovables. El prestatario sólo tiene que pagar el principal del préstamo y el banquero recibe crédito a impuesto federales en lugar de los intereses tradicionales de un préstamo. La tasa de crédito fiscal se establece diariamente por el Departamento del Tesoro. De acuerdo a las asignaciones pasadas, el crédito puede ser tomado de manera trimestral en un dólar por dólar para compensar las obligaciones fiscales del banquero. Sin embargo, el banquero sólo recibirá el 70% de la tarifa completa estipulada por el Departamento del Tesoro. Los créditos que excedan la responsabilidad del banquero pueden ser transferidos al próximo año fiscal, pero nunca reintegrados. Estos bonos difieren de los bonos

⁵² Qualified Energy Conservation Bonds, QECBs

tradicionales exentos de impuestos en que los créditos fiscales emitidos a través de QECBs son tratados como ingreso sujeto a contribución para el banquero.

Bajo el Ley de Extensión y Mejora Energética 2008, descrito en la sección 4.2.3 de este capítulo, se asignaron \$800 millones para este programa y con la creación de la ley ARRA se otorgaron \$2.4 billones adicionales para un presupuesto total de \$3.2 billones.

El volumen de bonos es asignado a cada estado en base al por ciento de la población estadounidense para el 1 de julio de 2008. Luego se le solicita a cada estado que asigne una porción de su parte del bono a los “gobiernos locales grandes” basado en los por cientos de los gobiernos locales de la población del estado. Los gobiernos locales grandes están definidos como municipios y condados con poblaciones de 100,000 o más. Estos gobiernos pueden devolver su parte del bono al estado si así lo desean. El comunicado 2009-29 del IRS contiene un listado con las asignaciones emitidas para cada estado y territorio de los Estados Unidos. A Puerto Rico se le asignaron \$41, 021,000.

La definición de proyectos de conservación de energía calificados es bastante amplia y contiene elementos relacionados con los gastos en eficiencia energética en los edificios públicos; producción de energías renovables; varias aplicaciones de investigación y desarrollo; instalaciones en masa que reducen el consumo de energía; varios tipos de proyectos de demostración relacionados con la energía; y campañas publicitarias relacionadas a la educación en eficiencia energética.

4.6.6 Crédito Fiscal Residencial por Energía Renovable ⁵³

Este incentivo es un crédito fiscal personal ofrecido a los residentes que instalen en sus propiedades sistemas fotovoltaicos y calentadores solares, entre otras tecnologías, en sus propiedades. El crédito fue establecido por la Ley de Política Energética del 2005. Luego con la Ley de Extensión y Mejora Energética del 2008 y la Ley ARRA del 2009 se le hicieron varias modificaciones.

El contribuyente puede reclamar un crédito de hasta 30% por los gastos que cualifiquen del sistema que sirva una unidad de vivienda localizada en E.U. y sea utilizada como residencia por el individuo. Los gastos con respecto al equipo son calificados como realizados cuando la instalación ha sido completada. Si la instalación es en una casa nueva, el día de “puesto en servicio” es el día en que el individuo se muda. Los gastos incluyen costos laborales por preparación en el lugar, instalación del sistema, instalación de tuberías o cables para interconectar el sistema a la vivienda. Si el crédito excede la responsabilidad del contribuyente, el exceso puede ser transferido al año subsiguiente, esto hasta el 2016, año hasta el cual estará vigente el programa.

Para los sistemas solares eléctricos, la vivienda no tiene que ser la residencia principal del contribuyente. En cuanto a los calentadores solares, los equipos deben estar certificados por la Corporación de Certificación de Clasificación Solar⁵⁴; al menos la mitad del agua caliente utilizada en la vivienda debe provenir del sistema; el incentivo no aplica a piscinas y “hot tubs”; y la vivienda no tiene que ser la residencia principal del contribuyente.

⁵³ Residential Renewable Energy Tax Credit

⁵⁴ Solar Rating Certification Corporation

4.6.7 Programa de Subvenciones en Bloque para la Conservación y Eficiencia Energética

Este programa es creado bajo EISA 2007 y sus términos generales han sido discutidos previamente en la sección 4.2.2 de este capítulo. Bajo mandato de la ley, el programa es dirigido por el Departamento de Energía y es esta entidad quien distribuye los fondos asignados entre los Estados y territorios de E.U. La meta es realizar inversiones en soluciones energéticas que resultarían en el fortalecimiento de la economía estadounidense y la creación de empleos a nivel local.

Los fondos, que con la inyección de ARRA, hacen a \$3.2 billones (sección 4.2.4 de este capítulo) pueden ser utilizados en programas y proyectos de conservación y eficiencia energética, al igual que para instalaciones de energía renovables en facilidades del gobierno. Algunas de las actividades elegibles son: desarrollo de estrategias en eficiencia y conservación de energía; auditorías de edificios y modificaciones, incluyendo climatización; instalación de señales de tránsito e iluminación pública eficientes; instalación de energías renovables en edificios públicos; entre otros. Del total de los fondos, luego de aplicada la fórmula, a Puerto Rico se le asignaron \$9, 593,500 de los cuales \$941, 200 han sido asignados a la ciudad de Mayagüez.

4.7 Incentivos por Estado y de las Ciudades de SAI

Diferentes Estados alrededor de los Estados Unidos han creado una serie de incentivos para facilitar la adopción de las tecnologías solares. También las ciudades que componen Ciudades Solares Americanas han hecho lo propio como parte de su plan estratégico para la adopción solar. Estos incentivos acompañan o facilitan incentivos a los sectores que no pueden beneficiarse de los incentivos federales.

Según se presenta en la Base de Datos para los Incentivos Estatales en Eficiencia Energética y Energía Renovables (DSIRE, por sus siglas en inglés) [DOE. EERE, 2009b], en esta sección se resumirán algunos de estos incentivos tanto estatales como a nivel local en las ciudades de los Estados Unidos pertenecientes a SAI. Sólo se describirán los incentivos que no existen en Puerto Rico.

4.7.1 California

Como parte de la Iniciativa Solar Californiana ⁵⁵(CSI, por sus siglas en inglés) el estado ofrece dos tipos de incentivos: el Incentivo basado en el Rendimiento Esperado⁵⁶ (EPBB, por sus siglas en inglés) y el Incentivo basado en Rendimiento ⁵⁷(PBI, por sus siglas en inglés). El incentivo EPBB es pagado basado en las características del sistema solar previamente verificadas como: localidad, tamaño del sistema, sombra y orientación. El incentivo PBI es un pago fijo en centavos/kW por todas las salidas del sistema en los primeros 5 años de operación. Los niveles de pago de los incentivos se reducirán automáticamente a lo largo de la duración del programa CSI en 10 pasos, basados en el volumen de MW de las reservas solares emitidos por el administrador del programa [CPUC, 2008].

⁵⁵ California Solar Initiative

⁵⁶ Expected Performance-Based Buydown

⁵⁷ Performance Based Incentive

MW Step	Statewide MW in Step	EBPP Payments (per watt)			PBI Payments (per kWh)		
		Residential	Commercial	Gov't/ Nonprofit	Residential	Commercial	Gov't/ Nonprofit
1	50 ⁷	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
2	70	\$ 2.50	\$ 2.50	\$ 3.25	\$ 0.39	\$ 0.39	\$ 0.50
3	100	\$ 2.20	\$ 2.20	\$ 2.95	\$ 0.34	\$ 0.34	\$ 0.46
4	130	\$ 1.90	\$ 1.90	\$ 2.65	\$ 0.26	\$ 0.26	\$ 0.37
5	160	\$ 1.55	\$ 1.55	\$ 2.30	\$ 0.22	\$ 0.22	\$ 0.32
6	190	\$ 1.10	\$ 1.10	\$ 1.85	\$ 0.15	\$ 0.15	\$ 0.26
7	215	\$ 0.65	\$ 0.65	\$ 1.40	\$ 0.09	\$ 0.09	\$ 0.19
8	250	\$ 0.35	\$ 0.35	\$ 1.10	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.15
9	285	\$ 0.25	\$ 0.25	\$ 0.90	\$ 0.03	\$ 0.03	\$ 0.12
10	350	\$ 0.20	\$ 0.20	\$ 0.70	\$ 0.03	\$ 0.03	\$ 0.10

Figura 4.1 Cantidades pagadas por PBI y EPBB por paso. [CPUC, 2008]

4.7.1.1 Incentivo basado en el Rendimiento Esperado

Este es un incentivo que hace un sólo pago por adelantado basado en el estimado del desempeño futuro del sistema. El administrador del programa utilizará el método CEC-AC de la Comisión de Energía para determinar la valuación de la capacidad del sistema. La valuación será multiplicada por un factor de diseño que considerará los factores antes mencionados. El incentivo esta disponible desde el 2007 para proyectos menores de 100kW, para proyectos menores de 50kW desde el 2008 y desde el 2010 para proyectos menores de 30kW [CPUC, 2008].

4.7.1.2 Incentivo basado en Rendimiento

Este incentivo aplicó previamente a sistemas iguales o mayores de 100kW en el 2007, e iguales o mayores de 50kW en el 2008. Desde enero del 2010 aplica a sistemas iguales o mayores de 30 kW. Los pagos se harán en un período de 5 años después de la instalación del sistema, presentación y aprobación de la reclamación del incentivo. Los pagos se reflejaran mensualmente. Estos pagos estarán basados en el por ciento de incentivo por kilovatio y la energía actual producida en el período. Una vez la reserva es confirmada, el por ciento se mantendrá fijo durante los 5 años de pago. El

dinero estará asegurado ya que se estimará el pago para proyectos completados y se depositará en una cuenta creada para asegurar que los fondos estén disponibles durante el periodo [CPUC, 2008].

Además de los incentivos que se ofrecen bajo CSI existen otros incentivos creados por el estado, las ciudades y las compañías de servicio en beneficio de la comunidad en general. Estos incentivos están clasificados en descuentos, préstamos, subvenciones, exención del impuesto a la propiedad, entre otros. Algunos de estos incentivos financieros son:

4.7.1.3 Iniciativa Financiera para las Tecnologías Renovables y Solares

⁵⁸(FIRST):

Creado en la ciudad de Berkeley y calificado como un préstamo local, el incentivo ofrece hasta \$37,000 por instalación y aplica al sector comercial y residencial. FIRST permite a los propietarios pedir prestado dinero al Distrito Financiero de Energía Sustentable de la ciudad para instalar sistemas fotovoltaicos y reembolsar el costo del mismo en un período de 20 años a través de un impuesto especial en la factura de impuestos a la propiedad. Este incentivo nos esta disponible todo el año, su primer periodo de aplicación comenzó el 5 de noviembre de 2008 y estuvo disponible para los participantes durante dos semanas como parte del programa piloto de la ciudad. El resto de las personas interesadas fueron puestas en una lista de espera para posiblemente ser atendidos durante el siguiente periodo de aplicación. Según DSIRE para su última actualización, noviembre de 2009, no ha habido más periodos de aplicación. Los participantes del programa deben formar parte de los programas de descuento del CSI, de esta manera se reduciría el costo total del proyecto.

⁵⁸ Financing Initiative for Renewable and Solar Technology, FIRST

4.7.1.4 Programa de Incentivos de Energía Solar⁵⁹

Creado en la ciudad de San Francisco y calificado como un programa de descuento local, el incentivo ofrece de \$1,000 en adelante dependiendo del sector. Los sectores que aplican son: residencial, comercial, industrial, facilidades sin fines de lucro, residencias multifamiliares y residencias de bajo ingreso. La ciudad y condado de San Francisco, a través de la Comisión de Servicio Público de San Francisco⁶⁰ (SFPUC, por sus siglas en inglés), proveen incentivos a residentes y empresas que instalen fotovoltaicos en sus propiedades. Los sistemas deben ser de un kilovatio como mínimo y no hay un tamaño máximo para participar. Este incentivo puede ser combinado con los ofrecidos por CSI y el crédito a impuestos federal. El programa piloto fue financiado con \$3 millones provenientes del fondo de energía renovable de la SFPUC producto de la venta de energía de la represa Hetch Hetchy.

4.7.1.5 Pagos por Energía Renovable de California⁶¹ (FIT):

Esta calificado como un incentivo de producción que aplica a sistemas fotovoltaicos, solares termales y otros tipos de energía renovable ha ser instalados en el sector comercial, industrial y residencial. El FIT permite a los clientes elegibles entrar en un contrato estándar de 10, 15 o 20 años con sus compañías de servicio para vender la electricidad producida por sistemas pequeños, hasta 3 MW, basado en los precios del mercado en un tiempo. El precio a pagar estará basado en la tabla de precio de mercado referente de la CPUC. Los ajustes de tiempo de uso serán aplicados por cada compañía eléctrica y reflejará un aumento en el valor de la electricidad durante

⁵⁹ Solar Energy Incentive Program

⁶⁰ San Francisco Public Utilities Commission, SFPUC

⁶¹ California Feed in Tariff, FIT

los periodos picos y su valor mínimo en los periodos fuera del pico. Un precio mayor es ofrecido para la electricidad solar generada entre 8 a.m. a 6p.m.

Todas las compañías eléctricas privadas y públicas con 75,000 clientes o más deben tener disponible para estos un FIT estándar. El FIT tiene como propósito ayudar a las compañías a alcanzar el RPS de California, por lo tanto, todos los tributos “verdes” asociados con la energía, incluyendo los Créditos de Energía Renovable ⁶²(RECs, por sus siglas en inglés), son transferidos a la compañía con la venta. Cualquier cliente que venda electricidad a la compañía bajo esta tarifa no puede participar de otro programa de incentivo. Las tarifas estarán disponibles hasta que la suma de las capacidades combinadas de generación eléctrica elegibles instaladas alcance los 750 MW.

4.7.1.6 SMUD-Programa de Préstamo Solar Residencial ⁶³

Creado por la ciudad de Sacramento para ofrecer préstamos a instalaciones en el sector residencial de sistemas fotovoltaicos y calentadores solares. Este programa esta bajo la dirección del Distrito Público Municipal de Sacramento ⁶⁴ (SMUD, por sus siglas en inglés) y ofrece 100% de financiamiento a clientes que instalen alguno de los sistemas antes mencionados. El repago tiene un termino de 10años con una tasa de interés de 8.5%. Los sistemas deben ser instalados por contratistas certificados y aprobados por SMUD.

⁶² Renewable Energy Credits, RECs

⁶³ Residential Solar Loan Program

⁶⁴ Sacramento Municipal Utility District, SMUD

4.7.1.7 Burbank Water & Power – Programa de Apoyo Solar al Sector Residencial y Comercial⁶⁵

Creado para los clientes de la compañía este incentivo ofrece dos tipos de reembolso: pago por adelantado basado en el desempeño esperado o el incentivo basado en desempeño (PIB). El programa aplica a los sectores residencial, comercial, industrial, facilidades sin fines de lucro, escuelas, gobierno estatal y residencias de bajo ingreso y provee un pago máximo de \$400,000. Este incentivo se va reduciendo con el tiempo mientras se van alcanzado las metas de capacidad establecidas hasta llegar a cero para fines del 2016. Para sistemas menores de 30 kW la compañía pagará una prima más alta si el cliente cede su crédito de energía renovable (RECs) a BWP por la duración del proyecto.

El mayor descuento esta disponible para escuelas, facilidades sin fines de lucro y viviendas de bajo costo pero sólo un proyecto por año fiscal. De lo contrario, estos proyectos calificarán para la estructura de reembolsos comercial. Los dueños de sistemas menores de 30 kW tienen la opción de recibir un pago adelantado basado en el desempeño esperado determinado por el software de reembolsos del Secretario de Energía de BWP. También tienen la opción de recibir el PIB, que es un pago mensual por 5 años basado en producción. Los sistemas mayores de 30 kW sólo son elegibles a recibir el PIB.

Los sistemas fotovoltaicos deben tener instalado un medidor de rendimiento comprado por el dueño. Además, tienen la opción de financiar el equipo mediante alquiler si este ha sido aprobado antes de haberse instalado el equipo. Los contratos de arrendamiento menores a 20 años recibirán el reembolso de manera prorrateada.

⁶⁵ Residential & Commercial Solar Support Program

Todos los clientes que apliquen al incentivo deben haber realizado una auditoria de eficiencia energética al edificio donde se instalara el sistema. Las residencias y edificios comerciales nuevos deben tener al menos un 15% de reducción en la energía utilizada para la calefacción, calentador de agua y el sistema de aire acondicionado en combinación. La iluminación también es incluida para los edificios comerciales en el por ciento antes mencionado. Además, cada equipo provisto por el desarrollador debe estar calificado como “Energy Star” si la designación aplica.

4.7.2 Winsconsin

El estado de Winsconsin ofrece diferentes alternativas de incentivos a sus ciudadanos ya sea en el sector residencial, comercial, industrial, institucional o gubernamental. Los incentivos incluyen: de producción, préstamos, reclutamiento de industria, impuestos a la propiedad, impuesto a las ventas, subvenciones y reembolsos de las compañías de servicio. A continuación se describirán más en detalle alguno de estos incentivos:

4.7.2.1 “Madison Gas & Electric (MGE)” – Programa de Incentivo Solar y Energía Limpia⁶⁶

La ciudad de Madison ofrece este incentivo a los clientes que instalen sistemas fotovoltaicos en sus propiedades. Los sectores que aplican son el residencial, comercial, industrial, facilidades sin fines de lucro, escuelas, gobierno local, gobierno estatal, institucional y agrícola. Los participantes deben formar parte del programa Energía Verde Futura⁶⁷ y serán elegibles para recibir una tarifa especial por la energía producida por los sistemas fotovoltaicos. MGE comprará la electricidad producida por sistemas de entre 1-10kW DC a una tarifa de \$0.25.kW-hr. Los consumidores

⁶⁶ Clean Power Partner Solar Buyback Program

⁶⁷ Green Power Tomorrow

compraran energía a la compañía a la tarifa normal más \$0.01/kW-hr por la prima de energía verde.

La compra anual de energía verde debe ser al menos igual de grande como la salida AC del sistema. Este arreglo requiere que el cliente tenga dos contadores de electricidad; uno que mida la producción eléctrica y otro que mida el consumo eléctrico. MGE proveerá el contador adicional pero el cliente debe pagar por un electricista que facilite e instale las dos conexiones de los contadores y las modificaciones que sean necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

4.7.2.2 “We Energies” – Incentivo Financiero Directo sin Fines de Lucro⁶⁸

Calificado como un programa de servicio público, este incentivo financiero esta disponible para proyectos que incluyan sistemas fotovoltaicos, eólicos, biomasa, entre otros que vayan a ser instalados en escuelas, facilidades sin fines de lucro, gobierno local y gobierno estatal. Estas subvenciones van de \$10,000-\$100,000 y cubren hasta el 50% del costo total certificado del proyecto, menos cualquier incentivo o crédito federal o estatal, y/o cualquier otro financiamiento proveniente del programa Enfocados en Energía de Winsconsin⁶⁹. En la mayoría de los casos el cliente retiene los créditos por energía renovable, asociados a la generación de electricidad por los sistemas elegibles.

Para aplicar se debe cumplir con las siguientes condiciones:

⁶⁸ Direct Financial Incentives for Not-for-Profits

⁶⁹ Winsconsin Focus on Energy

- Los proyectos de sistemas fotovoltaicos y eólicos deben tener una evaluación del sitio completada, preferiblemente a través del Programa de Evaluación del Lugar Enfocados en Energía⁷⁰ o el equivalente.
- Todos los sistemas deben ser fabricados e instalados en cumplimiento con los requisitos de la última edición del Código Eléctrico Nacional.
- Las instalaciones deben ser realizadas por personal certificado.
- Las instalaciones deben cumplir con el Código Administrativo de Winsconsin, capítulo PSC 119 de interconexión en instalaciones de generación distribuida.
- Todos los proyectos deben incluir un componente educacional y de divulgación, que sean fuertes y estén bien identificados. Estos serán utilizados para educar e informar al público de manera permanente.

4.7.2.3 Enfocados en Energía – Recompensas en Efectivo por Energía Renovable⁷¹

Este incentivo está calificado como un programa de reembolso estatal que aplica a los sectores comercial, industrial, residencial, facilidades sin fines de lucro, escuelas, gobierno local y estatal, gobierno federal, residencia multifamiliares, agrícola e institucional. Las tecnologías aprobadas son los sistemas fotovoltaicos, calentadores solares, sistemas eólicos y biomasa, entre otros. Todos los sistemas requieren de una garantía mínima de dos años por la instalación y uno por el equipo. Además deben cumplir con todos los códigos federales, estatales y locales vigentes. Los sistemas eléctricos deben ser interconectados. Los incentivos Enfocados en Energía generalmente son calculados en base al desempeño esperado en unidades térmicas o

⁷⁰ Focus on Energy Site Assessment Program

⁷¹ Focus on Energy - Renewable Energy Cash-Back Rewards

kilovatio-hora, siendo elegibles los sistemas más pequeños por unidad de energía mayores. Generalmente, las entidades gubernamentales y sin fines de lucro son elegibles para mayores incentivos junto con cantidades más altas de incentivo máximo. A continuación un desglose de los incentivos disponibles para los sistemas fotovoltaicos:

- Residencial/Comercial: \$1.00/kW-hr anual hasta 25% el costo o \$50,000, lo que sea menor
- Gobierno/Sin fines de Lucro: \$1.50/kW-hr anual hasta 35% el costo o \$75,000, lo que sea menor

El programa Enfocados en Energía también ofrece un programa de Evaluación del Lugar para residentes y comerciantes. El programa provee a los posibles dueños de equipos renovables, información específica de como los sistemas solares o eólicos pueden satisfacer las necesidades energéticas que tengan. El programa es recomendado para personas que deseen aplicar a algún tipo de incentivo.

La información, recursos e incentivos financieros ofrecidos por el programa, ayuda a implementar proyectos que de otra manera no serian terminados o a finalizar proyectos antes de lo programado. Sus esfuerzos ayudan a los residentes y comerciantes de Winsconsin a lidiar con los altos costos de energía, promueve el desarrollo económico en el estado, protege el ambiente y controla la creciente demanda del Estado por la electricidad y el gas natural. [DOE. EERE, 2009b]

4.7.3 New York

El estado de New York ofrece varios incentivos a sus residentes, comerciantes y al gobierno, entre otros sectores. Estos incentivos van desde exenciones a impuestos

hasta préstamos y reembolsos, como en los otros estados. A continuación una breve descripción de algunos de los incentivos que ofrece el estado:

4.7.3.1 NYSERDA – Programa de Incentivos por Fabricación de Productos Renovables, Energía Limpia y Energía Eficiente⁷²

Este incentivo está calificado como uno de Apoyo/Reclutamiento de Industria. Incluye varias tecnologías de energía renovable entre ellas los sistemas fotovoltaicos. Como el mismo nombre indica aplica a la fabricación, o sea, los sectores industrial y comercial. El programa está financiado por el Cargo de Beneficio de Sistema de New York⁷³ (SBC, por sus siglas en inglés) y pretende aumentar la fabricación de productos de una energía renovable, limpia y eficiente en el Estado, al proveer fondos a los fabricantes que deseen desarrollar o expandir sus facilidades para producir productos elegibles. La elegibilidad está limitada a productos de energías renovables y limpias que produzcan o apoyen la producción de electricidad; tecnologías de energía eficiente que utilicen la electricidad como entrada principal y resulte en un aumento sustancial en el uso eficiente y/o la conservación de electricidad comparado al estatus actual o tecnologías de almacenamiento de electricidad para aplicaciones conectadas a la red.

Los productos deben estar más allá de la etapa de prototipo y lo suficientemente adelantado para garantizar su diseño y construcción o la expansión de una facilidad para fabricación comercial. El financiamiento del proyecto se divide en tres etapas, cada una de ellas con limitaciones diferentes.

La etapa I provee dinero para facilidades y actividades de reconocimiento del lugar.

El incentivo está limitado a \$75,000 o no más del 5% del total de los fondos

⁷² Renewable, Clean Energy and Energy Efficient Product Manufacturing Incentive Program

⁷³ New York System Benefits Charge

requeridos. Se requiere compartir los costos al 50%, aunque se prefieren niveles mayores. Las actividades de reconocimiento de lugar deben ser completadas en tres meses desde el otorgamiento del incentivo y los estudios deben estar completados antes de que los fondos se autoricen para etapas subsiguientes.

La etapa II cubre el desarrollo de pre-producción sujeto a que el proponente satisfaga con los “milestones” del proyecto. No más del 20% del total de fondos solicitados debe ser para la etapa de pre-producción, hasta un máximo de \$300,000. Como la etapa anterior 50% de los costos debe ser compartido y todas las condiciones para la aceptación deben ser alcanzadas antes de que se autorice el financiamiento para la siguiente etapa.

La etapa III es un pago de incentivo por producción basado en la venta de productos de energía limpia producidos en la facilidad. El 75% restante del total del fondo esta disponible para esta etapa, sujeto al requisito de un costo compartido del 75% y un fondo total limitado a \$1.5 millones por proyecto. Las cantidades de los incentivos serán determinadas de acuerdo al valor del Contenido de New York⁷⁴ de la venta de los productos por un periodo de hasta 5 años. En las propuestas se puede solicitar un incentivo de producción total no mayor del 25% del valor del “New York Content”.

4.7.3.2 Opción Local – Programas de Energía Sustentable Municipal ⁷⁵

Bajo el programa de Financiamiento PACE⁷⁶, este incentivo cubre varios tipos de energías renovables y aplica a los sectores comercial, industrial, residencial, facilidades sin fines de lucro, multifamiliares, institucionales y agrícolas.

⁷⁴ New York Content

⁷⁵ Local Option – Municipal Sustainable Energy Programs

⁷⁶ PACE Financing

En noviembre de 2009, la legislatura de New York proclamo A.B 40004^a, autorizando a los condados, ciudades, municipios y villas a ofrecer programas de préstamos locales en energía. Los préstamos pueden ser utilizados para pagar por auditorias energéticas; mejoras en eficiencia energética permanente y costo eficiente; estudios de viabilidad de energía renovable; y la instalación de sistemas de energía renovable.

Para cualificar para el préstamo, las auditorias energéticas o estudios de viabilidad de energías renovables deben ser realizados por un contratista certificado de acuerdo a las normas establecidas por la Autoridad de Desarrollo e Investigación Energética del estado de New York⁷⁷ (NYSERDA, por sus siglas en inglés) o por el gobierno local siempre y cuando cumpla con las normas de NYSERDA. Las mejoras en eficiencia energética deben cumplir con el criterio de costo-efectividad establecido por NYSERDA. El préstamo no debe exceder el 10% del valor del bien inmueble en que las mejoras tienen lugar, o del costo de dicha mejora.

A las corporaciones municipales se les permite financiar estos programas utilizando la asistencia de subsidios federales o mecanismos de apoyo federal de crédito incluyendo préstamos directos, garantías de préstamos e instrumentos de débito. Estas pueden proporcionar los pagos del préstamo a través de cargos a los bienes inmuebles que se benefician con el programa. Si escogen esta opción, el cargo debe ser recogido al mismo tiempo y de la misma manera que los impuestos municipales, pero deben ser enumerados y separados de los demás cargos. El préstamo constituye un derecho de retención sobre el bien inmueble en el cual las mejoras se llevaron a cabo.

⁷⁷ New York State Energy Research and Development Authority, NYSERDA

4.7.4 Florida

El estado de Florida, al igual que los demás Estados, ofrece varios tipos de incentivos a sus ciudadanos incluyendo todos los sectores que la componen. Al ser este uno de los Estados donde su clima se asemeja más al nuestro es importante estudiarlo. Sin embargo, sus incentivos son muy similares a los antes mencionados. Por tal razón, sólo se describirán los que sean diferentes para nuestra discusión.

4.7.4.1 Comisión de Servicio Público de Orlando – Programa Solar Piloto⁷⁸

Este incentivo está considerado como uno de producción para los sectores residencial y comercial. El mismo incluye los sistemas fotovoltaicos y calentadores solares. El programa ofrece comprar al consumidor sus atributos ambientales o créditos de energía renovable por la instalación de sistemas fotovoltaicos y/o calentadores solares en sus propiedades. Los pagos son de \$0.05/kW-hr para PV y \$0.03/kW-hr para calentadores y se dan en forma de créditos en la factura mensual del cliente.

Bajo el programa, la producción de electricidad generada por el sistema se utiliza en el lugar y el pago está basado en la producción total del sistema. Cualquier exceso de generación neta producido por el sistema es acreditado al dueño al precio minorista de la compañía. El programa está disponible para los primeros 600 kW de fotovoltaicos residenciales instalados y los primeros 1,200 kW generados por un calentador solar. Para el sector comercial incluye, los primeros dos megavatios de servicio general generados tanto para los fotovoltaicos como los calentadores solares.

⁷⁸ Orlando Utilities Commission – Pilot Solar Programs

Los acuerdos de producción tienen un plazo inicial de 5 años y se renueva automáticamente por este término salvo que se denuncie mediante notificación escrita por cualquiera de las partes.

4.7.4.2 Comisión de Servicio Público de Orlando – Programa de Prestamos Solares Residenciales⁷⁹

Este es un programa de préstamos para la instalación de sistemas fotovoltaicos y/o calentadores solares en el sector residencial. La Comisión en conjunto con la Cooperativa de Crédito Federal de Orlando⁸⁰ provee a sus clientes préstamos de bajo interés por la compra de los equipos antes mencionados. Los clientes pueden aplicar para un préstamo de \$7,500 para la instalación de calentadores solares y hasta \$20,000 por la instalación de sistemas fotovoltaicos. Los préstamos son devueltos a través del tiempo como pagos fijos en la factura mensual del consumidor. Las tasas de interés varían entre 0%-4% para calentadores en un periodo de entre tres a siete años. Para los sistemas fotovoltaicos el interés fluctúa entre 2%-5.5% en un termino de tres a diez años.

4.7.5 Tennessee

El estado de Tennessee no tiene muchos incentivos para ofrecer. Los incentivos que ofrece incluyen exención del impuesto a las ventas y uso, incentivo de producción, préstamo estatal y subvención estatal. Es esta última la que llamo la atención y la cual se va a describir en más detalle a continuación:

⁷⁹Orlando Utilities Commissions – Residential Solar Loan Program

⁸⁰ Orlando Federal Credit Union

4.7.5.1 Subvención para las Tecnologías de Energía Limpia de Tennessee⁸¹

El estado ofrece un programa de beca o subvención a los sectores comercial e industrial por la instalación de sistemas fotovoltaicos y calentadores solares, entre otros. Dirigido por la División de Energía de Desarrollo Comunitario y Energético del Estado, ofrece 40% del costo del sistema instalado o hasta \$75,000 con un mínimo de \$5,000. La única condición es que para cualificar el lugar donde se realizara la instalación debe pasar por una auditoria energética.

4.7.6 Oregon

El estado ofrece varios tipos de incentivos como los antes mencionados para los diferentes sectores que componen la comunidad. A continuación se mencionaran los que captaron la atención por ser diferentes a los incentivos antes mencionados.

4.7.6.1 Programa de Prestamos Calle Verde⁸²

Este incentivo es un programa de préstamo estatal a un bajo interés. A diferencia de los otros préstamos, el Calle Verde es ofrecido por un banco privado del estado de Oregon en conjunto con el Fideicomiso de Energía. El mismo aplica a los sectores residencial, comercial y multifamiliar que instalen en sus propiedades sistemas fotovoltaicos y/o calentadores solares. Estos no están sujetos a cuotas de préstamos, gastos de cierre y ofrece un precio excepcional a dueños de residencias o comercios interesados en algún tipo de estos sistemas o proyectos de eficiencia energética.

Existen diferentes tipos de préstamos que llevan diferentes tasas de interés y términos. Los residentes tienen dos opciones el de Equidad de Préstamos para

⁸¹ Tennessee Clean Energy Technology Grant

⁸² Green Street Lending Program

Viviendas⁸³ y Préstamos para Mejoras al Hogar sin Garantías⁸⁴. El primero es de \$5,000 a \$ 50,000, a un interés fijo por un término de 15 años. El préstamo de mejoras va de \$1,000 - \$50,000, a un interés fijo por un término de 5 años. Los comerciantes pequeños y dueños de residencias multifamiliares son elegibles para dos tipos de préstamos: Préstamo para Mejoras de Bienes Raíces Comerciales⁸⁵ y el Préstamo de Largo Plazo para Negocios⁸⁶. El primero es de \$5,000 - \$100,000 a un interés variable por un término de 15 años. Y el último es de \$5,000 - \$100,000 a un interés fijo por un término de 7 años.

Cabe señalar que el estado de Colorado ofrece un reembolso de 15% del impuesto de ventas y uso por la compra de sistemas fotovoltaicos y calentadores solares. El 65% de los ingresos generados por estos impuestos es utilizado para financiar el Programa de Donación del Ambiente Inteligente Solar⁸⁷. Este programa provee subvenciones para la instalación de sistemas PV y calentadores solares a personas de bajo a moderado ingreso que residan en casas o residencias multifamiliares, y para organizaciones sin fines de lucro. No se concede más del 50% del costo total del equipo.

4.8 Incentivos Locales

En Puerto Rico, se han incorporado varios incentivos para ayudar a la ciudadanía en la adquisición de equipos de energía renovable enfocándose primordialmente en los sistemas solares. Cogiendo como ejemplo los incentivos existentes en Estados Unidos, los incentivos locales van desde créditos a impuestos personales hasta

⁸³ Home Equity Loan

⁸⁴ Unsecured Home Improvement Loan

⁸⁵ Commercial Real Estate Improvement Loan

⁸⁶ Business Term Loan

⁸⁷ Climate Smart Solar

reembolsos. Según se presenta en la Base de Datos para los Incentivos Estatales en Eficiencia Energética y Energía Renovables (DSIRE, por sus siglas en inglés) [DOE. EERE, 2009b] a menos que se indique lo contrario, en las secciones a continuación se describen los incentivos locales existentes.

4.8.1 Crédito Fiscal Solar (Corporativo)

Este incentivo está calificado como un crédito a los impuestos corporativos y aplica a los sectores industrial y comercial que instalen en sus facilidades sistemas fotovoltaicos o sistemas solares térmicos eléctricos. La ley 248 del 10 de agosto de 2008, descrita en la sección 4.4.6 de este capítulo, proporciona al contribuyente de impuestos corporativos, un crédito por la adquisición e instalación de equipo solar eléctrico. El crédito está autorizado contra el pago de impuestos sobre la renta del contribuyente.

El crédito se divide de la siguiente manera:

- Durante el año fiscal 2007-2008 y 2008-2009, la cantidad acreditada fue de 75% por el costo del equipo y la instalación
- Los años fiscales 2009-2010 y 2010-2011, la cantidad a acreditarse será de 50% el costo del equipo y la instalación
- Del año fiscal 2011-2012 en adelante, el crédito estará limitado al 25% del costo del equipo y la instalación.

Para poder participar del crédito, el contribuyente debe proporcionar los siguientes documentos al Departamento de Hacienda:

- Certificado de que el equipo solar cumple con las normas y especificaciones de la Administración de Asuntos Energéticos (AAE).

- Certificado de que el equipo ha sido instalado por personal certificado y registrado en la AAE.
- Garantía del fabricante o distribuidor de 5 años por el equipo.
- Certificación que sostenga que el contribuyente no tiene deudas con el Departamento de Hacienda ni con el Centro de Recaudaciones de Ingresos Municipales (CRIM).

Si es aprobado, el crédito se tomará durante el año en el que fue instalado el equipo. Sin embargo, si la cantidad del crédito sobrepasa la responsabilidad del contribuyente, el exceso del crédito sólo podrá ser prorrogado hasta por diez años. Además, se puede transferir en su totalidad o parcialmente el crédito a otra persona, esto siguiendo los procedimientos establecidos por el Departamento de Hacienda para estos fines. El Secretario esta autorizado a desembolsar hasta \$15 millones anuales para este crédito y esta en la libertad de aumentarlo en cualquier año si determina que dicho aumento es en beneficio de los mejores intereses del país.

4.8.2 Incentivo del Desarrollo Económico para las Energías Renovables

Este incentivo esta calificado como uno de apoyo/reclutamiento de industria y aplica al sector industrial y comercial. Incluye varias energías renovables, entre estas los sistemas fotovoltaicos y los sistemas solares termales eléctricos. Conocida como la ley 73 del 28 de mayo de 2008 provee una amplia gama de incentivos y créditos contributivos que permiten a las compañías locales y extranjeras que se dedican a ciertos negocios, a operar en Puerto Rico, aprovechando al mismo tiempo una estructura de impuestos dirigida a esos fines.

Las compañías que se dedican a la producción de energía para consumo a través del uso de energías renovables aplican bajo esta ley. Del mismo modo, aplican las

compañías que se dedican al montaje de equipos utilizados para la generación de electricidad utilizando fuentes renovables. Los principales incentivos económicos incluyen:

- Una tasa fija de 4% de impuesto por 15 años.
- Crédito ha impuesto igual al 50% del costo del equipo y maquinaria utilizada para la generación y el uso eficiente de la energía.
- Hasta 50% en crédito para la investigación cualificada y gasto de desarrollo.
- Exención de 90% de impuestos sobre bienes inmuebles y personales por 15 años.

4.8.3 Deducción de Impuestos para Sistemas Solares y Eólicos

Este incentivo esta calificado como una deducción personal que aplica al sector residencial que instale en sus propiedades sistemas solares de distintos tipo, entre estos los fotovoltaicos, o sistemas eólicos. En Puerto Rico se ofrece un 30% de deducción de impuesto por la compra e instalación de sistemas solares hasta un máximo de \$500 en residencias que sean propias o arrendadas.

Para reclamar dicha deducción de impuesto el individuo interesado debe incluir con su declaración de impuesto un certificado que declare que el sistema solar instalado en su propiedad ha sido aprobado por el Departamento de Recursos Naturales y un segundo certificado que indique que el equipo tiene garantía de 5 años o más.

En adición, el incentivo incluye una deducción del 50% o hasta \$3,000 por los gastos incurridos en la compra e instalación de un sistema eólico para ser utilizado en la residencia. El equipo debe ser fabricado en Puerto Rico o debe tener al menos 50% del valor añadido por la manufacturación local. Para calificar para esta deducción de

impuesto, el individuo debe presentar con su declaración de impuesto una copia del permiso de instalación, un certificado declarando que el equipo ha sido aprobado por el Departamento de Recursos Naturales y otro certificado que indique que el sistema tiene garantía de 5 años o más.

4.8.4 Crédito Fiscal Solar (Personal)

Como parte de la ley 248 se crea el crédito fiscal personal por la instalación de sistemas fotovoltaicos o solar termal eléctricos en las residencias de Puerto Rico. El crédito esta autorizado contra el pago de impuestos sobre la renta del contribuyente.

El crédito se divide de la siguiente manera:

- Durante el año fiscal 2007-2008 y 2008-2009, la cantidad acreditada fue de 75% por el costo del equipo y la instalación.
- Los años fiscales 2009-2010 y 2010-1011, la cantidad a acreditarse será de 50% el costo del equipo y la instalación.
- Del año fiscal 2011-2012 en adelante, el crédito estará limitado al 25% del costo del equipo y la instalación. [DOE. EERE, 2009b]

Al igual que el crédito fiscal solar para las corporaciones, el individuo interesado en aplicar para este incentivo debe cumplir con los requisitos de aplicación establecidos en la ley 248 que fueron mencionados en la sección 4.4.6 de este capítulo.

4.8.5 Exención sobre el Impuesto a la Propiedad para Equipo Solar

Calificado como un incentivo del impuesto sobre la propiedad, aplica al sector comercial, residencial, industrial y agrícola que instale en su propiedad sistemas solares para la generación de electricidad y otros tipos de sistemas de energía renovable con el mismo fin.

El gobierno proporciona 100% de exención del impuesto sobre la propiedad por todo material, equipo o accesorio que utilice energía solar para operar. En las enmiendas realizadas bajo la ley 248 se extendió la exención para incluir todo equipo que sea utilizado para capturar, almacenar, generar, distribuir y aplicar varios tipos de energía renovable. La energía renovable esta definida en la Ley número 325 de Septiembre de 2004 (sección 4.4.1) como energía solar, eólica, hidro, biomasa, océano termal, de ola, marea y otros tipos de energía que sean limpias, seguras, fiables y sostenibles.

4.8.6 Exención del Impuesto sobre Ventas y Uso (IVU) para Equipos Solares Eléctricos

Como dice su nombre es un incentivo sobre el IVU que aplica a los sistemas fotovoltaicos y solares termales eléctricos instalados en las propiedades por los sectores residencial, comercial, y público en general/consumidor. Bajo la ley 248 el Departamento de Hacienda exime del 100% del pago del impuesto sobre ventas y uso por la compra de equipo solar eléctrico, accesorios asociados y los componentes utilizados para producir la energía eléctrica. Para poder aplicar los distribuidores o fabricantes deben someter una certificación al Departamento de Hacienda declarando que el equipo y sus componentes cumplen con las normas y especificaciones establecidas por la Administración de Asuntos Energéticos. Además, debe proveer una certificación donde se declare que el equipo esta garantizado por al menos 5 años.

4.8.7 Programa Estatal de Energía

El Programa Estatal de Energía es un compromiso cooperativo entre DOE y los Estados y territorios de los Estados Unidos. El programa otorga subvenciones basándose en las asignaciones anuales emitidas por el Congreso y una fórmula que toma en consideración la población y el consumo de energía por Estado. La misión

del programa es proveer liderazgo para maximizar los beneficios de la eficiencia energética y las energías renovables a través de la comunicación y las actividades promocionales, difusión de las tecnologías, y proveer acceso a nuevas sociedades y recursos. Las metas son: aumentar la eficiencia energética de la economía de E.U.; reducir los costos de energía; mejorar la fiabilidad de la electricidad, combustible y los servicios energéticos; desarrollar fuentes de energía renovable y alternativa; promover el crecimiento económico con la calidad del medio ambiente; y reducir la dependencia en el petróleo importado.

A través de este programa DOE ofrece varias asistencias financieras y técnicas a los Estados. Bajo los fondos ARRA, el Programa Estatal de Energías recibió \$3.1 billones para ser distribuidos entre los Estados y territorios de E.U. De estos, Puerto Rico recibió \$37, 086, 000 que serían utilizados para el financiamiento de varios programas creados para lograr avances en la eficiencia energética y energía renovable a través de todo el país. Algunos de estos son: el Programa de Mejoras a Edificios en Eficiencia Energética, el cual proveerá descuentos por la instalaciones de equipos de eficiencia energética en proyectos comerciales, organizaciones sin fines de lucro y en facilidades del gobierno; y el Programa de Descuentos de Energía Solar⁸⁸. Este último se explica en más detalle en las siguientes secciones.

4.8.7.1 Programa de Descuentos de Energía Solar

Calificado como un programa de reembolso estatal, el gobierno ofrece este programa a las personas que instalen sistemas fotovoltaicos en sus propiedades. El incentivo aplica a los sectores comercial, residencial, escuelas, organizaciones sin fines de lucro y multi-familiares.

⁸⁸ Sun Energy Rebate Program

A través del Programa de Estatal de Energía y con los fondos proporcionados por ARRA, descrita en la sección 4.2.4 de este capítulo , la Administración de Asuntos Energéticos en conjunto a la Autoridad de Infraestructura Financiera (AFI) han creado varios programas de descuento. Los descuentos que aplican a los sistemas fotovoltaicos son para el sector residencial y comercial el incentivo es de \$4/watt (DC) con un máximo de 50% el costo del proyecto o hasta \$30,000 para el sector residencial y \$200,000 para el sector comercial.

Para aplicar los equipos deben generar dos kilovatios o más de electricidad, ser nuevos, tener una garantía de al menos 5 años y cumplir con las regulaciones de la Administración de Asuntos Energéticos. El equipo debe ser instalado permanentemente por un periodo de al menos 10 años. En las instalaciones gubernamentales, el equipo debe cumplir con las disposiciones de “Buy American”. Además, debe ser instalado por un contratista certificado por AAE y cumplir con las leyes de interconexión y medición neta establecidas por la Autoridad de Energía Eléctrica⁸⁹ (PREPA, por sus siglas en inglés).

Otros requisitos para ser elegibles son que la persona interesada debe tener al menos tres cotizaciones para su proyecto de instaladores certificados; deben entregar la solicitud de aplicación para reservar su reembolso antes de entrar en cualquier gasto; los costos elegibles del proyecto, que incluyen el equipo fotovoltaico (sin las baterías), costos de diseño e ingeniería, costos de instalación y, costos de permisos e interconexión. Otra documentación necesaria es:

- Formulario de reservación del reembolso
- Formulario de información del contratista y boceto del sitio

⁸⁹ Puerto Rico Energy Public Authority, PREPA

- Formulario de información del distribuidor
- Copias de las cotizaciones
- Copia de propietario, como los títulos, o si el individuo es inquilino, copia del contrato de arrendamiento y permiso escrito del dueño de la vivienda autorizando dicha instalación
- Copia de identificación del individuo
- Copia de las últimas 6 facturas de electricidad

Si se aprueba, el solicitante recibirá una carta de Noticia de Reservación de Reembolso con la cantidad ha ser reembolsada. Una vez reciba la carta, el solicitante tiene 15 días para firmar el Contrato de Reembolso y 6 meses para completar la instalación, conectarse a la red y recibir la inspección de AFI y AAE. El certificado de inspección y el formulario de Reclamación del Reembolso son necesarios para recibir el pago.

Cabe señalar que las personas que aplican para este incentivo no pueden aplicar a incentivos como créditos a impuestos, incentivos locales u otras asistencias financieras ofrecidas por el gobierno.

4.8.7.2 Programa de Reembolso por Calentadores Solares Eléctricos

Calificado como un incentivo estatal de reembolso por la instalación de calentadores solares aplica sólo al sector residencial, tanto a dueños como inquilinos. La cantidad reembolsada es de \$1,000 y el equipo debe estar certificado por la Corporación de Calificación y Certificación Solar⁹⁰ (SRCC, por sus siglas en inglés) y aprobado por AAE. Las conexiones de plomería deben ser realizadas por un plomero licenciado y

⁹⁰ Solar Rating and Certification Corporation, SRCC

las conexiones eléctricas por un perito electricista. El calentador solar debe reemplazar un calentador eléctrico o de gas.

Los requisitos para solicitar son los mismos que para el Programa de Descuento de Energía Solar con la diferencia de que el solicitante tiene, una vez aprobado, 3 meses para realizar la instalación.

4.8.8 Programa de Prestamos Rotativo

Este préstamo es parte del Programa Estatal de Energía y es administrado por el Banco de Desarrollo Económico para Puerto Rico, AFI y la AAE. Bajo los fondos ARRA a Puerto Rico se le asignaron aproximadamente \$4.8 millones para estos fines. El programa aplica a las empresas pequeñas y medianas del sector comercial y organizaciones sin fines de lucro. El mismo cubre el 50% del costo total del proyecto hasta \$300,000, lo que sea menor. El termino del préstamo es de 8 años a un 4.95% de interés. El cargo inicial es de \$150 mas un cargo de compromiso de 1% la cantidad aprobada. Los términos para aplicar para el préstamo son básicamente los mismos que para los programas de reembolso del Programa Estatal de Energía. El desembolso del préstamo se dará de forma paulatina, se ofrecerán adelantos con la condición de que se entregue las órdenes de compra de materiales descritos en los documentos del préstamo. Al finalizar el proyecto y pasada la inspección de las autoridades se desembolsara el restante del préstamo no más tarde de 30 días de la aprobación del mismo. Los negocios que soliciten este préstamo sólo se pueden beneficiar del incentivo de reembolsos del Programa Estatal de Energía siempre y cuando no sobrepasen el costo total del proyecto [AFI, 2010].

4.8.9 Programa de Reembolsos por Inversión en Energía Verde

Este incentivo es creado por la Ley 83: Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico. El mismo se ofrecerá a los dueños de unidades de producción dedicadas a la producción y venta de energía verde a base de la capacidad de la unidad de producción de la siguiente manera:

- **Primer Nivel - Proyectos a pequeña escala:** son proyectos de hasta 100 kW de producción. Permite a los individuos y compañías pequeñas tener más control sobre los precios de la energía reduciendo así los gastos y aumentando los ingresos disponibles. El reembolso tiene un máximo de 60% del costo de instalación.
- **Segundo Nivel – Proyectos a mediana escala:** son proyectos entre 100 kW a 1 MW que aplican al sector comercial e industrial. Con este incentivo se pretende establecer un mercado dinámico que atraiga nuevas inversiones en la manufactura en los equipos de energía renovable. El reembolso tiene un máximo de 50% del costo de instalación.
- **Tercer Nivel – Proyectos a gran escala:** son proyectos de más de un megavatio que aplican al sector de productores de energía al detal. Con este incentivo se reduce dramáticamente la dependencia en los combustibles fósiles, crea un estímulo económico y empleos verdes. El incentivo consta de ofrecerla accesos al mercado de los Certificados de Energías Renovables (CERs).

4.8.10 Otros Incentivos bajo la Ley 83: Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico

En esta sección se resumen los incentivos expuestos bajo la Ley 83 del 19 de julio de 2010. Estos incentivos van desde exenciones hasta créditos. A continuación se presentan algunos incentivos con una breve descripción:

1. Tasas Contributivas

Los negocios exentos⁹¹ que posean un decreto bajo esta Ley estarán sujetos a una tasa fija de 4% sobre su Ingreso de Energía Verde (IEV) durante todo el periodo de exención correspondiente en lugar de cualquier otra contribución sobre ingresos, si alguna, dispuesta en el Código de Rentas Internas de Puerto Rico o cualquier otra ley.

2. Crédito por Compras de Equipos Manufacturados en PR

Si un negocio exento compra productos manufacturados en PR, incluyendo componentes y accesorios, tendrá derecho a tomar un crédito contra la contribución sobre el IEV igual al 25% de las compras de tales productos, durante el año contributivo con respecto al cual se tome el referido crédito, hasta un máximo del 50% de la contribución.

3. Crédito por Creación de Empleos

Se concederá a todo negocio exento que inicie operaciones un crédito por cada empleo durante su primer año de operaciones. El monto del crédito dependerá de la zona de desarrollo industrial donde las operaciones de dicho negocio exento estén localizadas, de la siguiente manera:

⁹¹ Negocio exento: negocios que se dediquen a la producción y venta de energía verde a escala comercial para consumo en PR; productor de energía verde; ensamblaje de equipo para generación de energía verde incluyendo la instalación de dicho equipo en las facilidades del usuario; propiedad dedicada a la producción de energía verde.

Tabla 4.1 Crédito por creación de empleos según zona industrial que pertenezca (Ley 83. Artículo 2.11b)

Área	Crédito
Vieques y Culebra	\$5,000
Zona de Bajo Desarrollo Industrial	\$2,500
Zona de Desarrollo Industrial Intermedio	\$1,000
Zona de Alto Desarrollo Industrial	\$0

4. Crédito por Inversión en Investigación y Desarrollo de Fuentes de Energía Verde

Todo negocio exento que posea decreto bajo esta Ley podrá reclamar un crédito por inversión en investigación y desarrollo igual al 50% de la inversión elegible especial, que es la cantidad de dinero utilizado por el negocio para estos fines, hecha en Puerto Rico. Este crédito podrá aplicarse contra la contribución sobre su IEV.

5. Crédito por Inversiones de Transferencia de Tecnología

Cualquier negocio exento podrá tomar un crédito únicamente contra la contribución sobre IEV fija igual al 12% de los pagos efectuados a corporaciones, sociedades o personas no residentes, por concepto del uso o el privilegio de uso en PR de propiedad intangible en su operación exenta, siempre que el ingreso por concepto de tales pagos sea de fuentes de Puerto Rico. Este crédito no es transferible pero podrá arrastrarse hasta agotarse, luego que no exceda 8 años contributivos.

6. Contribuciones sobre la Propiedad Mueble e Inmueble

La propiedad mueble e inmueble de un negocio exento utilizada en el desarrollo, organización, construcción, establecimiento u operación de la actividad cubierta bajo esta Ley, gozara de 90% de exención sobre las contribuciones municipales y

estatales sobre la propiedad mueble e inmueble durante el periodo de exención de 25 años.

7. Patentes Municipales y otros Impuestos Municipales

Los negocios exentos bajo esta Ley tendrán un 60% de exención sobre las patentes, arbitrios y otras contribuciones municipales impuestas por cualquier ordenanza municipal.

8. Arbitrios Estatales e Impuesto sobre Ventas y Uso

Además de las exenciones expuestas en el Código de Rentas Internas, estarán 100% exentos durante el periodo de exención dispuesto por esta Ley los siguientes artículos adquiridos directa o indirectamente por un negocio exento:

- Cualquier materia prima para ser utilizada en la Isla en la producción de energía verde
- La maquinaria, equipo y accesorios que se usen exclusivamente y permanentemente en la conducción de materia prima dentro del negocio o para llevar a cabo la producción de energía verde
- Toda maquinaria o equipo que un negocio exento tenga que utilizar para cumplir con exigencias ambientales, de salud y seguridad
- Materiales químicos utilizados para el tratamiento agua usadas
- Equipo eficiente en el uso de energía, debidamente certificado por la AAE
- Sub-estaciones eléctricas

4.8.11 Programa de Asistencia de Climatización

Este programa de DOE se dedica a proveer climatización a residencias de bajo ingresos a través de los Estados Unidos y sus territorios. Bajo el programa, los

proveedores de climatización instalan equipos de eficiencia energética en residencias que cualifiquen totalmente libre de costo con un tope promedio de \$6,500 por hogar. El Departamento de Energía Federal se encarga de ofrecer asistencia financiera y técnica a los Estados, pero son estos los que deciden como se correrán sus programas y las reglas de aplicabilidad.

La meta del programa es reducir la carga de los costos energéticos en los más desaventajados y pretende beneficiar alrededor de 1.2 millones de hogares entre los años 2002-2010.

Bajo los fondos ARRA, el Departamento recibió \$5 billones para el programa los cuales serían distribuidos entre los Estados y territorios de los E.U. De estos, a Puerto Rico le asignaron \$48, 865, 588 [AAE, 2009a].

5 Metodología para Establecer la Meta de Instalación Solar

5.1 Introducción

Un factor importante para lograr un programa de ciudad solar exitoso es establecer una meta de instalación solar. Esta cantidad permite seguir los progresos alcanzados en la ciudad en contra de una meta publicada. Además, permite clarificar el rol que la energía solar jugará en alcanzar metas más amplias en sostenibilidad, cambio climático y ambiental. En este capítulo se discutirá la metodología para seleccionar las tecnologías apropiadas para la ciudad, realizar los cálculos de potencial residencial, comercial e industrial, determinar la meta y se establecerá el impacto económico que traerá a la ciudad estas medidas.

5.2 Selección de las tecnologías apropiadas

Para determinar la meta a la cual la ciudad en estudio aspira es importante determinar que tecnologías son las más apropiadas para utilizar. En el Capítulo 2 se describieron tres tipos de sistemas: los fotovoltaicos (PV), calentadores solares, y sistemas solares concéntricos.

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser clasificados en tres tipos principales: sistema independiente, sistema de reserva y el sistema conectado a la red. Este último es el más atractivo ya que nos permite beneficiarnos del incentivo de Medición Neta, sección 4.4.2 del Capítulo 4. Además, resulta ventajoso para el cliente porque sólo tiene que pensar en comprar un sistema para cubrir parte de la energía consumida en su propiedad ya que la otra sería suministrada por la AEE. Esto redundará en un costo

menor al momento de adquirir un sistema más pequeño del que necesitaría para cubrir la demanda energética total de la propiedad.

La segunda tecnología, el calentador solar, es muy utilizado en las residencias en Puerto Rico ya que aunque su costo frontal es más alto que el de un calentador eléctrico, los ahorros pueden estar alrededor de un 50%-85% anualmente en las facturas de electricidad sobre el costo de calentar el agua por medios eléctricos [Clean Energy Group, 2008] o utilizando gas que es de 35%, como se indica en la sección 2.2.2 del Capítulo 2. Además, los incentivos disponibles hoy día, como el crédito fiscal y el programa de reembolso explicados en más detalle en la sección 4.8 del Capítulo 4, están haciendo la tecnología muy accesible al público.

El sistema solar concéntrico, aunque su tecnología y construcción no parecen ser tan complicadas, es muy costoso. Por tal razón, tiende a utilizarse en instalaciones de gran capacidad generatriz, sistemas de más de un megavatio. De ésta manera, el costo frontal se mitiga un poco. Como se señaló en la sección 2.2.3.4, para el 2007 los costos estaban alrededor de \$5,000 el kilovatio en plantas de 100MW [DOE, SETP. 2008].

5.2.1 Descripción de la Ciudad de Mayagüez

Mayagüez se encuentra en el centro de la región oeste de Puerto Rico. Tiene una superficie geográfica de unos 77.6 millas cuadradas, una población aproximada de 98,434 habitantes y goza de un clima tropical durante todo el año. Es considerada además como la tercera ciudad más grande de Puerto Rico. Desde sus orígenes al presente se ha caracterizado por ser una ciudad de grandes encuentros e intercambios económicos, sociales, políticos, comerciales y culturales.

Su geografía se compone de un extenso valle aluvial en la costa de la Bahía de Mayagüez al oeste del municipio, llanos costeros y manglares en los límites del norte y sur; y montañas en el centro, noreste y sureste del municipio. La definición del área en estudio se encuentra en la Figura 5.1.

El municipio se divide en 21 barrios o distritos electorales, Figura 5.2. De estos, los barrios con mayor población son: Algarrobo, Guanajibo, Mayagüez Arriba, Mayagüez Pueblo, Miradero, Quebrada Grande, Río Hondo, Sábalos y Sabanetas. Siendo Guanajibo, ubicado entre el llano costero y el valle aluvial, Mayagüez Pueblo en el valle aluvial y Sábalos llegando al límite del sur, los de mayor cantidad de habitantes. Como muestra la Figura 5.1 la ciudad de Mayagüez en su mayoría es una zona montañosa. Los valles se encuentran en la zona costera y al oeste del municipio.

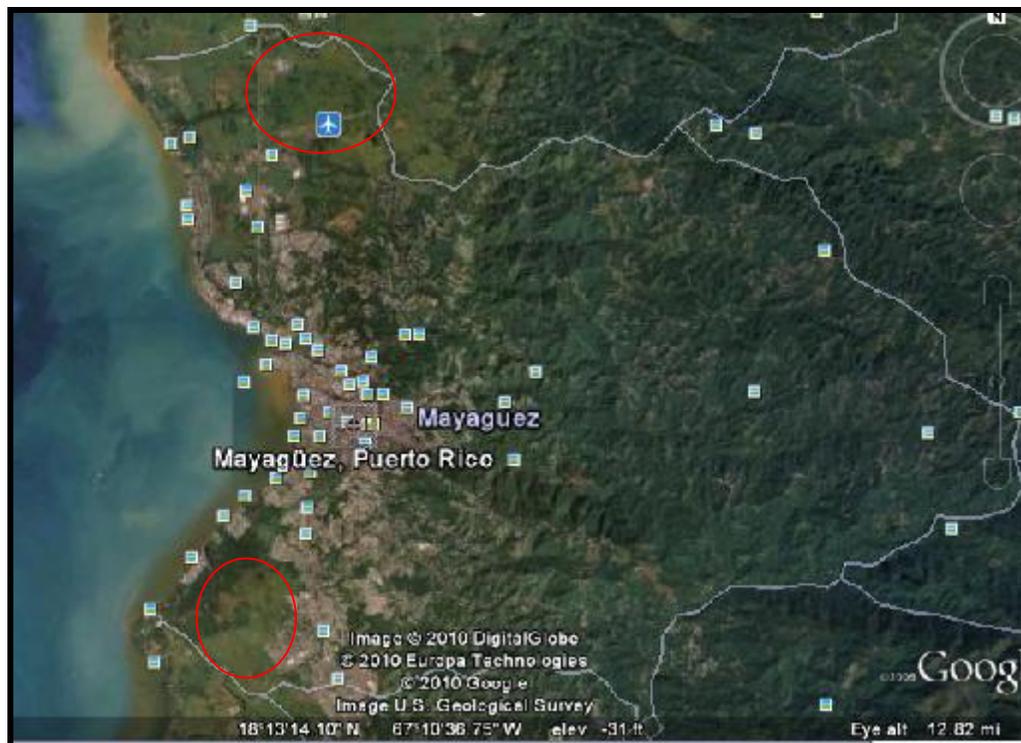


Figura 5.1 Definición del área en estudio (Google Earth, 2010)

Barrio	Habitantes
Algarrobos	4,792
Bateyes	1,205
Guanajibo	7,165
Isla de Mona e Islote Monito	0
Juan Alonso	1,371
Leguisamo	2,080
Limón	1,622
Malezas	1,143
Mayagüez Pueblo	32,043
Mayagüez Arriba	6,098
Miradero	5,510
Montoso	1,118
Naranjales	1,197
Quebrada Grande	6,333
Quemado	3,017
Río Cañas Abajo	2,318
Río Cañas Arriba	1,495
Río Hondo	3,865
Rosario	1,630
Sábalos	10,271
Sabanetas	4,161
Total	98,434

Figura 5.2 Población de Mayagüez por Barrio (Negociado del Censo de E.U., Censo 2000)

5.2.2 Tecnologías Escogidas

Para tomar la decisión sobre que tecnologías son las que se considerarán en la creación de una ciudad solar, hay que analizar cuales son las disponibles y que factores influyen para que estas sean las más idóneas para el lugar descrito.

En la sección anterior se dió una breve descripción sobre la ciudad en estudio, Mayagüez, incluyendo datos de población y geografía. Una vez estudiado estos datos, se pudo determinar que los factores a influir en la decisión de que tecnologías serían las más adecuadas eran la ubicación de los habitantes y el aérea geográfica que comprende la ciudad.

Mayagüez tiene una población aproximada de 98, 434 habitantes [JP. Oficina del Censo, 2010], la gran mayoría de estos se encuentran en los barrios mencionados en la sección anterior con la mayor densidad poblacional ubicada en el casco urbano conocido como Mayagüez Pueblo. Un 33% de la población se encuentran ubicados

en esta área, que además de ser el área urbana de la ciudad es el centro administrativo. En el Pueblo se encuentran la Casa Alcaldía y, la mayoría de las agencias y facilidades municipales. Un 44% de la población se encuentran ubicados en los distintos barrios que componen la zona montañosa. El 23% restante se encuentran distribuidos entre la zona costera del valle aluvial, los llanos y manglares de los límites norte y sur de la ciudad.

Otro factor importante ha considerar fue que la mayoría de la zona costera de la ciudad es zona inundable; aun así, esta casi totalmente habitada. Observando la foto aérea, Figura 5.1, se puede determinar que la única área extensa en la zona costera sin construcción se encuentra al sur de la ciudad, entrando al valle aluvial donde ubican unos terrenos inundables y compuesto por manglares y humedales. El otro terreno extenso y llano existente es el área del Aeropuerto Eugenio María de Hostos, como se muestra en la Figura 5.1, también se encuentra en una zona de humedales. Estas dos áreas son las únicas a considerar al momento de pensar en una instalación de sistemas solares concéntricos.

Como se describe en la sección 2.2.3 las pendientes en las áreas consideradas para realizar instalación de sistemas concéntricos no deben pasar el 1%. Por tanto, los lugares antes descritos son aptos pero ambos se encuentran en zonas de humedales. Los humedales son zonas planas de terreno que generalmente se inundan permanente o intermitentemente, donde habitan o pernoctan ciertos tipos de animales. Estos están protegidos por el Cuerpo de Ingenieros de los E.U. y para realizar alguna construcción se debe cumplir con ciertas políticas y reglamentos.

Las otras tecnologías seleccionadas son fotovoltaicos interconectados a la red para las zonas residenciales, comercial e industrial, y calentadores solares para las viviendas. Como se discutió en la sección 5.2 los calentadores solares son muy utilizados en las viviendas en Puerto Rico incluso, en el Censo 2000 se registraron 393 viviendas [JP. Oficina del Censo, 2010] con este tipo de instalación en Mayagüez. Para el estudio sólo se considerará su instalación en viviendas porque es aquí donde es más necesaria el agua caliente para los quehaceres cotidianos. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser instalados en todo tipo de estructura sobre sus techos. De esta manera, no se desvalora la estética de la ciudad y se generan reducciones en la demanda de la electricidad en todos los sectores de la ciudad.

5.3 Cálculo del Potencial Residencial

El sector residencial es el segundo mayor consumidor de electricidad en el país, con un 39% del consumo total [García Pelatti, 2010]. Por tal razón, si se quiere crear con éxito una ciudad solar es de vital importancia que se impacte el sector de la vivienda. Además de ser el segundo mayor consumidor, es el sector que más necesita disfrutar de los ahorros a largo plazo que implican la instalación de un sistema solar. También reflejaría la mayor reducción en demanda eléctrica de la ciudad ya que compone el 96% de las estructuras no gubernamentales en el municipio.

Para poder determinar cual es el potencial residencial con el que cuenta la ciudad, se tienen que conocer datos como: la cantidad de viviendas ocupadas, el tipo de estructura, el lugar donde se encuentran y el área de techo aproximado de las mismas. Según el Censo 2000, en Mayagüez existen 39,270 viviendas de las cuales 23,052 son casas unifamiliares en su mayoría del tipo promedio [JP. Oficina del Censo, 2010]. En Puerto Rico una casa promedio tiene un área aproximada de 1,300 pies cuadrados

y consiste de 3 habitaciones, 2 baños, sala, comedor, cocina y una marquesina. Las demás estructuras van desde casas duplex a apartamentos, ya sean viviendas convertidas en apartamentos o condominios de todo tipo. En la Tabla 5.1 se presenta un desglose de las viviendas en la ciudad por tipo de estructura, calificado por unidad, y sus respectivas áreas promedios. Para propósitos de este proyecto se determinó que todas las unidades son viviendas de tipo promedio y se utilizó el caso más crítico para las estructuras que constituían más de una unidad. Este parámetro fue determinado al distribuir las unidades en la estructura de tal forma que el área de techo fuera la menor posible a considerar, como se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.1 Área promedio de techo de las estructuras residenciales

Unidades	Área Promedio (p²)	Número de Viviendas	Área Total (p²)
1	1,300	23,052	29,967,600
Duplex	2,600	6,796	17,669,600
2	1,300	1,463	1,901,900
3--4	2,600	1,784	4,638,400
5--9	3,900	1,796	7,004,400
10--19	6,500	2,205	14,332,500
20 o más	7,800	2,174	16,957,200
		39,270	92,471,600

Tabla 5.2 Definición del caso más crítico en la distribución de las viviendas por estructura

Unidades	Distribución de las Viviendas por Estructura
1	*****
Duplex	*****
2	Una encima de la otra
3 – 4	2 apartamentos por piso
5 – 9	3 apartamentos por piso
10 – 19	5 apartamentos por piso
20 o más	6 apartamentos por piso

Presumiendo que todos los techos están disponibles y reciben luz solar por algún periodo de tiempo al día, se determinaron tres escenarios posibles para analizar. En las viviendas típicamente se realizan tanto instalaciones de sistemas fotovoltaicos como calentadores solares. Cual escogerá el cliente queda a discreción del mismo dependiendo de su necesidad. Por tal razón, se crearon tres posibles escenarios para determinar cual sería la energía generada por estas combinaciones:

- Escenario 1: instalación de sistemas fotovoltaicos y calentadores en todas las residencias calificadas entre 1 a 9 unidades por estructura.
- Escenario 2: instalación de sistemas fotovoltaicos en 50% de las residencias y calentadores solares en el 50% restante que estén calificadas entre 1 a 9 unidades por estructura.
- Escenario 3: instalación de sistemas fotovoltaicos en 75% de las residencias y calentadores solares en el 25% restante que estén calificadas entre 1 a 9 unidades por estructura.

Para las estructuras compuestas por 10 unidades o más sólo se consideró la instalación de sistemas fotovoltaicos. Se tomó en cuenta que estos son edificios de apartamentos donde comparten un mismo techo y la instalación de calentadores solares es muy poco probable por la limitación de espacio ya que se consideró que estos eran edificios de 5 pisos mínimo con 3 apartamentos por piso.

La capacidad del sistema a instalar en cada residencia dependerá de la capacidad financiera y la necesidad de cada individuo o familia. Según el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, en Puerto Rico el sol irradia 5.53 kWh/m² al día. Para estas condiciones si un individuo desea cubrir el 50% de la demanda energética de su hogar, lo cual es una contribución muy razonable y real, un sistema fotovoltaico de 3

kilovatios la cubriría con seguridad. Estos sistemas cuestan alrededor de \$9 el watt y cubren un área aproximada de 300 pies cuadrados con una eficiencia de 12% [DOE, EERE. 2008a]. La eficiencia es el por ciento de luz solar convertido a electricidad. Mientras más eficiente el sistema menos área necesita el módulo para convertir la luz solar en una cantidad de electricidad dada. Hoy día la eficiencia de los fotovoltaicos se encuentra entre un 12%-14%, para propósitos del estudio se utilizo un 12%. En la Tabla 5.3 se muestra la capacidad y área necesaria para las distintas eficiencias.

Tabla 5.3 Área de techo necesaria para una eficiencia y capacidad dada

Roof Area Needed in Square Feet (shown in Bold Type)							
PV Module Efficiency (%)	PV Capacity Rating (Watts)						
	100	250	500	1,000	2,000	4,000	10,000
4	30	75	150	300	600	1,200	3,000
8	15	38	75	150	300	600	1,500
12	10	25	50	100	200	400	1,000
16	8	20	40	80	160	320	800

For example, to generate 2,000 watts from a 12%-efficient system, you need 200 square feet of roof area.

Tomado de "Get Your Power from the Sun" [DOE, EERE. 2003]

En cuanto a la selección del calentador solar con las condiciones geográficas antes mencionadas típicamente se utilizan sistemas de entre 40 – 80 galones para cubrir la necesidad de una residencia típica. En este estudio se utilizó un sistema de 80 galones para así asegurar que la demanda de cualquier residencia sea cubierta.

Una vez obtenidos todos los datos, se desarrolló una hoja de cálculos en MS Excel® para determinar el total de energía generada en kilovatios para cada uno de los escenarios descritos anteriormente. El área total de techo en la ciudad se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Área Total} = \text{área promedio de unidades por piso} \times \text{cantidad de unidades}$$

Donde el área promedio seleccionada fue de 1,300 pies cuadrados por unidad. Las áreas promedios fueron tabuladas en la Tabla 5.2. Tomando como ejemplo el primer valor de la Tabla 5.4, el área total sería:

$$\text{Área Total} = 1300 \times 23,052 = 29,967,600 p^2$$

Una vez calculada el área total disponible, se calculó el área a utilizar. Esta es el área necesaria para instalar el sistema fotovoltaico y/o calentador solar en pies cuadrados.

La formula utilizada fue la siguiente:

$$\text{Área a utilizar}_{PV \text{ o } SWH} = \text{area que ocupa el sistema} \times \text{cantidad de unidades}$$

Siguiendo el ejemplo anterior el área a utilizar sería;

$$\text{Área a utilizar}_{PV} = 300 \times 23,052 = 6,915,600 p^2$$

$$\text{Área a utilizar}_{SWH} = 80 \times 23,052 = 1,844,160 p^2$$

donde las áreas que ocupan los sistemas fueron seleccionados utilizando los criterios descritos anteriormente. Con estos resultados se demuestra que el área que ocuparían estos sistemas es mucho menor que el área total de los techos. Una vez comprobado que el área de techo disponible no es un factor determinante aún así existan, como es natural, más instalaciones en los mismos, se prosiguió a calcular la energía que generarían los sistemas fotovoltaicos. Sólo se calculó la energía generada por los sistemas PV porque éstos son los que producen electricidad directamente y significan una reducción directa en la demanda de electricidad en la AEE. Como se explicó anteriormente, los calentadores solares producen energía termal y ésto redunda en un ahorro en electricidad porque no se esta utilizando la energía eléctrica para calentar el agua. Por lo tanto, el ahorro se ve en el consumo del cliente que contribuye a una pequeña reducción en la demanda eléctrica. El total de energía generada por los sistemas PV se calculó utilizando la siguiente formula:

$$\text{Total de energía generada} = \text{capacidad PV} \times \text{cantidad de unidades}$$

Continuando el ejemplo anterior se obtuvo que:

$$\text{Total de energía generada} = 3kW \times 23,052 = 69,156kW$$

En la Tabla 5.4 se muestran todos los valores calculados para cada uno de los escenarios antes descritos divididos en los grupos de unidades definidos en la Tabla 5.1. Con los resultados obtenidos se puede observar que para las condiciones ideales antes descritas, si todos los techos estuvieran disponibles, cualquiera de los escenarios seleccionados haría una contribución de grandes proporciones en la capacidad generatriz de la ciudad. El total de energía generada se relaciona directamente con la cantidad de sistemas fotovoltaicos instalados. Por lo tanto, el escenario uno, donde se instalan sistemas PV en todas las viviendas, es el de mayor contribución seguido por el escenario tres con instalaciones de estos sistemas en 75% de las residencias. Estos cálculos representan un análisis de viabilidad técnico bruto donde no han sido considerados lugares donde el sol no irradia totalmente por ser zonas boscosas ni residencias donde no se puedan realizar las instalaciones por limitaciones de espacio o financieras.

Tabla 5.4 Cálculo del Potencial Residencial

Casa Promedio = 1,300 p²					
Unidades	Número de Viviendas	Área Total de Techo (p²)	Área a Utilizar por Sistema PV⁹² (p²)	Área a Utilizar por Sistema SWH⁹³ (p²)	Total de Energía Generada por Sistema PV⁹⁴ (kW)
Escenario 1⁹⁵					
1	23,052	29,967,600	6,915,600	1,844,160	69,156
Duplex	6,796	17,669,600	2,038,800	543,680	20,388
2	1,463	1,901,900	438,900	117,040	4,389
3--4	1,784	4,638,400	535,200	142,720	5,352
5--9	1,796	7,004,400	538,800	143,680	5,388
10--19	2,205	14,332,500	661,500	NA	6,615
20 o más	2,174	16,957,200	652,200	NA	6,522
	Total	92,471,600	11,781,000	2,791,280	117,810
Área Total a Utilizar por los Sistemas			14,572,280 p²		
Escenario 2⁹⁶					
Unidades	Número de Viviendas	Área Total de Techo (p²)	Área a Utilizar por Sistema PV (p²)	Área a Utilizar por Sistema SWH (p²)	Total de Energía Generada por Sistema PV (kW)
1	11,526	29,967,600	3,457,800	922,080	34,578
Duplex	3,398	17,669,600	1,019,400	271,840	10,194
2	732	1,901,900	219,450	58,520	2,195
3--4	892	4,544,800	267,600	71,360	2,676
5--9	898	7,004,400	269,400	71,840	2,694
10--19	2,205	14,332,500	661,500	NA	6,615
20 o más	2,174	16,957,200	652,200	NA	6,522
	Total	92,378,000	6,547,350	1,395,640	65,474
Área Total a Utilizar por los Sistemas			7,942,990 p²		

⁹² PV: fotovoltaico (3 kW)⁹³ SWH: calentador solar (80 galones)⁹⁴ El sistema a considerar de 3 kW cubrirá el 50% de la necesidad energética de la vivienda⁹⁵ Instalaciones en el 100% de las viviendas para sistemas PV y SWH⁹⁶ Instalaciones PV en el 50% de las residencias, SWH en el restante 50%

Tabla 5.3 Continuación

Escenario 3 ⁹⁷						
Unidades	Núm. Viviendas con Sistemas PV	Núm. Viviendas con Sistemas SWH	Área a Utilizar por Sistema PV (p ²)	Área a Utilizar por Sistema SWH (p ²)	Total de Energía Generada por Sistema PV (kW)	
1	17,289	5,763	5,186,700	461,040	51,867	
Duplex	5,097	1,699	1,529,100	135,920	15,291	
2	,097	366	329,175	29,260	3,292	
3--4	1,338	446	401,400	35,680	4,014	
5--9	1,347	449	404,100	35,920	4,041	
10--19	2,205	NA	661,500	NA	6,615	
20 o más	2,174	NA	652,200	NA	6,522	
		Total	9,164,175	697,820	91,642	92 MW
			9,861,995 p²			

5.4 Cálculo del Potencial Comercial e Industrial

En Puerto Rico, el sector comercial es el primer consumidor de electricidad con un 44% [García Pelatti, 2010]. Por tal razón, es importante que se defina cual es el potencial que tiene la ciudad para lograr la meta considerando los comercios e industrias que estén establecidos en la misma. Éstos son clientes potenciales en la adopción solar ya sea por los beneficios que conllevaría o por estar a la vanguardia. Además de que en estos sectores es más fácil contar con el capital, son lugares visitados por el público y/o concurridos por un sinnúmero de empleados que pueden educarse, ver como funcionan los sistemas y los ahorros que generan.

La metodología utilizada para determinar el potencial comercial e industrial fue básicamente la misma que para el potencial residencial. Los datos más importantes a obtener fueron la cantidad y tipo de establecimientos, y el área promedio que ocupan cada uno de ellos. Según las tablas de Los Patrones de Negocios por Ciudad 2004, de

⁹⁷ Instalaciones PV en el 75% de las residencias, SWH en el restante 25%

la Oficina del Censo de los Estados Unidos, en Mayagüez existen 1,690 establecimientos que incluyen comercios e industrias de todo tipo [US Census Bureau, 2009]. La tabla está distribuida por tipo de establecimiento e incluye información como la cantidad de empleados y la nómina de los sueldos para el primer cuarto y la anual.

Una vez obtenidos estos datos, se prosiguió a determinar las áreas promedios de techo para cada tipo de establecimiento. Para estos fines se utilizó como referencia la tabla de Área de Huella de la Estructura en Pies Cuadrados del *RS Means: Building Construction Cost Data 2007*⁹⁸ [Reed Construction Data, 2007]. La tabla del RS Means nos da los valores típicos de tamaño bruto para varios tipos de establecimientos al igual que un rango de valores para estas áreas. En algunos casos se calcularon áreas aproximadas utilizando el programa Google Earth[®] porque las áreas eran fáciles de identificar en vista aérea. Algunos de estos establecimientos fueron el Recinto Universitario de Mayagüez (RUM), y los hoteles Holiday Inn y Mayagüez Resort. El programa Google Earth nos ofrece imágenes utilizando GPS⁹⁸ para mostrarnos la ciudad desde una vista aérea y permite medir distancias utilizando la herramienta “regla⁹⁹”.

En el proceso de selección de estas áreas se tomó en consideración el conocimiento que se tiene de los establecimientos de la ciudad y que estas tablas son generadas para Estados Unidos. Una vez analizado estos puntos se determinó si el valor promedio ofrecido por la tabla del RS Means era razonable o no. De no ser razonable y dependiendo el caso, se utilizaron los límites inferiores o superiores del rango de valores ofrecidos por la tabla.

⁹⁸ GPS: Global Positioning System

⁹⁹ Ruler :herramienta de Google Earth para medir distancias en las fotos aéreas

Por ejemplo, en el caso de comercios al por menor o tiendas, concesionarios de autos y bancos se utilizó el promedio dado por la tabla del RS Means, 7,200, 20,000 y 4,200 pies cuadrados respectivamente, porque estos son lugares con áreas de construcción bastante estándares. En el caso de los comercios al por mayor, se escogió un valor cercano al límite superior de área de los valores de comercio al por menor, 18,000 pies cuadrados, porque estos comercios tienden a ser del tipo almacén (25,000 pies cuadrados promedio) o tiendas grandes (17,600 pies cuadrados promedio). Así se consideraría el caso más crítico. En el caso del Holiday Inn, Mayagüez Resort y el RUM se calcularon sus áreas aproximadas utilizando Google Earth por que son lugares con características únicas y los mismos pueden ser ubicados fácilmente en las fotos aéreas. Los valores obtenidos fueron 19,580, 62,260 y 722,766 pies cuadrados respectivamente. Además, la tabla de RS Means no ofrece establecimientos de este tipo, en el caso de los hoteles, y las áreas ofrecidas para universidades no se pueden comparar con el RUM. En el Apéndice 4 se muestran los datos obtenidos utilizando la herramienta “regla” y los resultados finales. En la Tabla 5.5 se muestran todos los valores de áreas promedio obtenidas y el área total por tipo de establecimiento.

Tabla 5.5 Área Promedio por Establecimiento

Establecimiento	Número de Estructuras por tipo de Establecimiento	Área Promedio de Construcción por Establecimiento (p²)	Área Total(p²)
Compañía Eléctrica	1	7,500	7,500
Compañía Construcción	72	2,600	187,200
Comercio al por Mayor	78	18,000	1,404,000
Comercio al por Menor	319	7,200	2,296,800
Concesionarios de Autos	44	20,000	880,000
Supermercados	20	21,000	420,000

Tabla 5.5 Continuación

Establecimiento	Número de Estructuras por tipo de Establecimiento	Área Promedio de Construcción por Establecimiento (p²)	Área Total(p²)
Emisoras (radio y televisión)	16	5,000	80,000
Bancos, Financieras y Aseguradoras	72	4,200	302,400
Inmobiliarias y Arrendamiento	81	5,000	405,000
Servicios profesionales, técnicos	136	5,000	680,000
Administración de Empresas y Compañías	2	20,000	40,000
Administración y Apoyo, Manejo de Desperdicios Sólidos y Servicios de Remediación	53	5,000	265,000
Servicios de Atención Médica Ambulatoria	284	6,000	1,704,000
Oficinas de asistencia al hogar, enfermeras	12	6,000	72,000
Asistencia Social	8	6,000	48,000
Cuidos Diurnos	15	1,500	22,500
Arte, Entretenimiento y Recreación	5	9,400	47,000
Hoteles Pequeños (alojamiento)	7	15,800	110,600
Restaurantes	124	4,400	545,600
Garajes de Reparación y Mantenimiento	45	9,300	418,500
Servicios de Lavandería y Personales	46	7,200	331,200
Organizaciones Religiosas, Civiles, Profesionales	54	10,000	540,000
Tiendas por Departamento	12	90,000	1,080,000
Almacenes	25	25,000	625,000
Colegios Privados	7	92,000	644,000
Institutos Técnicos	7	50,000	350,000
RUM	1	722,766	722,766
Pontificia Universidad Católica	1	27,234	27,234
Universidad Adventista de las Antillas	1	*****	*****
Holiday Inn	1	19,580	19,580
Mayagüez Resort	1	62,260	62,260
Hospitales	9	55,000	495,000
Fabricas	65	26,400	1,716,000
Industrias no Clasificadas	66	ND	ND
Total	1690		18,640,436

Una vez obtenido todos los datos, se calculó el área total de techo disponible por tipo de establecimiento. Para obtener estas áreas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Área Total} = \text{cantidad} \times \text{área promedio}$$

Tomado como ejemplo el segundo valor de la tabla:

$$\text{Área Total} = 72 \times 2,600 = 187,200 p^2$$

En la ciudad de Mayagüez existen alrededor de 187, 200 pies cuadrados de área de techo, sólo en negocios de construcción, que podrían ser utilizados para instalar sistemas solares sobre techo. En total existen 16, 667, 636 pies cuadrados de techo en el sector comercial e industrial que podrían ser utilizados para instalar éstos sistemas. Como en el sector residencial, el área de techo no es un factor limitante para realizar este tipo de instalación. Aún teniendo en cuenta que estos lugares tienen sus sistemas de aire acondicionado, entre otros sistemas necesarios para el funcionamiento de sus negocios, instalados en sus techos sigue existiendo área suficiente para realizar las instalaciones de sistemas solares sin ningún problema. Como se muestra en las Tablas 5.6 y 5.7.

Una vez obtenido las áreas totales disponibles, se calculó el área a utilizar. Al igual que para el cálculo del potencial residencial, esta es el área necesaria para instalar el sistema fotovoltaico. Los calentadores solares no fueron considerados para el cálculo del potencial comercial e industrial porque como se mencionó antes, éstos tienden a ser más utilizados por los residentes. Cabe señalar que esto no es una aseveración y que existen ciertos comercios como los son las lavanderías y restaurantes que se pueden beneficiar de esta tecnología. Para propósitos del estudio, se utilizaron sistemas de 4kW, con un área de instalación de 338.1 pies cuadrados [Evergreen Solar Inc, 2010] para la mayoría de los establecimientos (Tabla 5.6). Para los

establecimientos más grandes se utilizaron distintos tipos de sistemas dependiendo del área disponible y uso del local, siendo 40kW el sistema más grande utilizado en las tiendas por departamento, fábricas y almacenes, como se muestra en la Tabla 5.7.

La fórmula utilizada en ambos casos fue la siguiente:

$$\text{Área a utilizar} = \text{área que ocupa el sistema} \times \text{cantidad de establecimientos}$$

Continuando el ejemplo anterior se obtiene:

$$\text{Área a utilizar} = 338.1 \times 72 = 24,343 p^2$$

Para los comercios más grandes como tiendas por departamento:

$$\text{Área a utilizar} = 4,000 \times 12 = 48,000 p^2$$

Una vez comprobado que el área necesaria para instalar los sistemas fotovoltaicos (961,121 p²) es mucho menor que la existente (18,521,940 p²) se prosiguió a calcular la cantidad de energía que produciría los fotovoltaicos, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Total de energía generada} = \text{capacidad PV} \times \text{cantidad de establecimientos}$$

Continuando el ejemplo se obtiene que:

$$\text{Total de energía generada} = 4 \times 72 = 288 kW$$

En el caso de los comercios más grandes como lo son las tiendas por departamento:

$$\text{Total de energía generada} = 40 \times 12 = 480 kW$$

En las tablas 5.6 y 5.7 se encuentran resumidos los resultados antes descritos para cada tipo de establecimiento.

Tabla 5.6 Cálculo del Potencial Comercial e Industrial

Establecimiento	Núm. de Estructuras por tipo de Establecimiento	Área Total de Techo(p²)	Área a Utilizar por Sistema de 4 kW (p²)	Total de Energía Generada (kW)
Compañía Eléctrica	1	7,500	338	4
Compañía Construcción	72	2,160,000	24,343	288
Comercio al por Mayor	78	1,404,000	26,372	312
Comercio al por Menor	319	2,296,800	107,854	1,276
Concesionarios de Autos	44	880,000	14,876	176
Supermercados	20	420,000	6,762	80
Emisoras (radio y televisión)	16	80,000	5,410	64
Bancos, Financieras y Aseguradoras	72	302,400	24,343	288
Inmobiliarias y Arrendamiento	81	405,000	27,386	324
Servicios profesionales, técnicos	136	680,000	45,982	544
Administración de Empresas y Compañías	2	40,000	676	8
Administración y Apoyo, Manejo de Desperdicios Sólidos y Servicios de Remediación	53	265,000	17,919	212
Servicios de Atención Médica Ambulatoria	284	1,704,000	96,020	1,136
Oficinas de asistencia al hogar, enfermeras	12	72,000	4,057	48
Asistencia Social	8	48,000	2,705	32
Cuidos Diurnos	15	22,500	5,072	60
Arte, Entretenimiento y Recreación	5	47,000	1,691	20
Hoteles Pequeños (alojamiento)	7	110,600	2,367	28
Restaurantes	124	545,600	41,924	496
Garajes de Reparación y Mantenimiento	45	418,500	15,215	180
Servicios de Lavandería y Personales	46	331,200	15,553	184
Org. Religiosas, Civiles, Profesionales	54	540,000	18,257	216
Total	1494	12,780,100	505,121	5,976
				6.0 MW

Tabla 5.7 Cálculo del Potencial Comercial e Industrial II

Establecimiento	Núm. de Estructuras por tipo de Establecimiento	Área Total de Techo (p²)	Sistema PV a Utilizar (kW)	Área a Utilizar por Sistema PV(p²)	Total de Energía Generada (kW)
Tiendas por Departamento	12	1,080,000	40	48,000	480
Almacenes	25	625,000	40	100,000	1,000
Colegios Privados	7	644,000	10	7,000	70
Institutos Técnicos	7	350,000	5	3,500	35
RUM	1	722,766	10	25,000	10
Pontificia Universidad Católica	1	27,234	10	2,000	10
Hospitales	9	495,000	10	9,000	90
Holiday Inn	1	19,580	5	500	5
Mayagüez Resort	1	62,260	10	1,000	10
Fabricas	65	1,716,000	40	260,000	2,600
Total	130	5,741,840		456,000	4,310
					4.3 MW

En total el sector comercial e industrial podrían aportar 10.3 MW en la generación eléctrica de la ciudad si todos los establecimientos aportaran colocando alguno de los sistemas sugeridos en este escrito. Al igual que el sector residencial, éste es sólo un análisis técnico bruto para establecer el potencial enorme que tiene la ciudad para generar la electricidad necesaria. En la siguiente sección se describen en detalle los factores que influirán en determinar la meta de la ciudad una vez obtenidos los cálculos de potencial.

5.5 Determinando la Meta de Instalación Solar

Varios factores influyen en el rango razonable de instalación solar a considerar para la meta en una comunidad dada, incluyendo la política, la cantidad de luz solar que recibe el área, la madurez del mercado, el costo local de electricidad y la disponibilidad de información objetiva en el mercado. De éstos factores la madurez

del mercado y la política pueden ser los limitantes al momento de establecer dicha meta.

5.5.1 Precedentes

En Puerto Rico el conocimiento sobre los diferentes tipos de energía renovable existentes y sus beneficios es bien parco. No existen empresas que se dediquen a la fabricación de sistemas solares y ahora es que está creciendo el mercado de instaladores. En el presente, existen alrededor de 20 empresas que se dedican a la instalación de paneles fotovoltaicos en el sector comercial y/o residencial. De éstos sólo 5 están ubicados en el área oeste. También existen aproximadamente 10 compañías que se dedican a la venta e instalación de calentadores solares, sólo dos se encuentran en el área oeste. Además, tan reciente como hace dos años, el Gobierno comenzó una campaña agresiva de educación sobre eficiencia energética y la utilización de energía renovable como fuentes de energía alternas. La campaña del Gobierno viene acompañada de la asignación de fondos por parte del gobierno federal con la ley ARRA.

El segundo factor a considerar y que tendrá gran peso al momento de establecer la meta va a ser el grupo de iniciativas de política, leyes e incentivos. Estas serán las que faciliten la adopción solar para toda la población. Por tal razón, en el Capítulo 4 se describen detalladamente las leyes e incentivos existentes a nivel nacional, estatal y federal.

La política pública energética de Puerto Rico data de 1993 y en la misma no se menciona la energía renovable, de ningún tipo, como fuente de energía. Debido a la antigüedad de la política y la disparidad con la realidad que se está viviendo hoy día, se firmó la orden ejecutiva 2009-23 [AAE, 2009b] que crea el Comité de Política

Pública Energética (CPPE) y que planifica una reforma energética. El comité le recomendará al Gobernador una nueva política pública energética para la Isla, la cuál debe incluir una propuesta certera de energía, con metas y métricas de diversificación entre distintas fuentes energéticas. Además, someterá recomendaciones sobre el desarrollo y la instalación de nuevas fuentes de energías alternas y renovables, entre otras cosas. A tales fines se publicó un documento como parte del primer grupo de iniciativas del CPPE, donde se establecen los por cientos obligatorios de energía renovable producidos en la Isla para determinadas fechas y cantidades específicas de instalación de las distintas fuentes de energías renovables. La primera etapa tiene una fecha de culminación del 2015 con una instalación de 12% [AAE, 2009c] provenientes de energía renovable de un total de 5,864 MW (AEE, 2009) de capacidad instalada en el país hoy día. La segunda etapa aumenta la cantidad de producción renovable a 15% para el 2020 [AAE, 2009c].

En el primer grupo de iniciativas proponen un primer bloque de generación de proyectos de energía solar con una capacidad instalada de 20 MW [AAE, 2009c] de potencia eléctrica. Lo cual indica una campaña agresiva considerando que entre los años 2005-2009 sólo se instalaron en la Isla alrededor de 3.1 MW certificados y aprobados por la AAE [datos provistos por la AEE].

Por otro lado, en Puerto Rico la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) es la entidad pública responsable de suplir electricidad a todo el país. La mayor parte de la energía que produce la Autoridad se genera en cinco centrales principales: Costa Sur, Complejo Aguirre, Palo Seco, San Juan y Cambalache. La principal fuente energética para suplir la electricidad lo es el petróleo, constituyendo el 68% de la producción [AEE, 2009]. Todas las centrales son termoeléctricas, sólo dos (Aguirre

y San Juan) tienen facilidades de hidroeléctricas además de termoeléctrica. Al ser el petróleo la principal fuente de generación eléctrica dependemos mucho de las fluctuaciones de su precio. También, con la situación de que los materiales de producción son exportados; entre los estados y territorios de E.U., somos uno de los que tenemos más altos costos en electricidad. En la actualidad, el precio fluctúa en los 23¢/kW-hr. Con éstos factores expuestos se puede proseguir a determinar cual sería una meta razonable para establecer en la ciudad.

5.5.2 La Meta

Luego de haber realizado el análisis técnico bruto para determinar el potencial residencial, comercial e industrial, y conocer que el área de techo no es un factor limitante para establecer la meta de instalación solar se realizó un análisis crítico. Como resultado se obtuvieron varias maneras de determinar la meta de instalación solar para la ciudad. En esta sección se recomendarán varias alternativas que cada ciudad y el personal encargado de ejecutar el programa pueden utilizar como guía para sus respectivos proyectos. La sección se enfoca en recomendaciones para la ciudad en estudio.

Primero, se debe tomar en consideración que en estos cálculos de potencial se asumió que todos los techos estaban disponibles. Esto no es real, porque no toda la ciudadanía va a estar interesada en realizar las instalaciones ya sea por razones económicas o simplemente porque no les llama la atención el programa. Aún contando con todas las leyes e incentivos existentes, van a existir personas que no les interese beneficiarse de estas tecnologías. Todavía no existen leyes que obliguen a la población a utilizar cualquier tipo de energía renovable, algo que en la actualidad no

es razonable ni justo porque la tecnología aún no es costo-competitiva con las tecnologías tradicionales.

Para atender este punto se utilizaron por cientos presumidos de techos disponibles divididos por sector y escenario en el caso del potencial residencial. Con estos por cientos se determinó una cantidad total de energía generada para cada caso y el costo total sin incentivos que conllevaría. En la Tabla 5.8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos. Esta tabla le da una idea al municipio del potencial enorme que tiene la ciudad para beneficiarse de esta tecnología. Por ejemplo, tan sólo con el 30% de las residencias utilizando el escenario 2 (50% PV y 50% SWH) se lograría alcanzar casi en su totalidad la meta del gobierno estatal de instalación solar de 20 MW para el 2015 al generar un total de energía de 19.5 MW sólo en Mayagüez. También se lograría la meta con el 15% de las residencias utilizadas en el escenario 1 (100% PV, 100% SWH) y el 20% de los comercios e industrias al generar un total de energía de 19.8 MW.

Luego de calcular el potencial y exponer los posibles escenarios que se pueden presentar, la ciudad puede proyectar su meta empezando por considerar la capacidad instalada al momento del estudio y analizando los por cientos históricos de crecimiento en el mercado de los sistemas PV. Con la creación de la Administración de Asuntos Energéticos (AAE) en el 2008 y el Reglamento para la Certificación de Sistemas Fotovoltaicos e Instaladores (Sección 4.4.7) se comenzó a llevar un registro de las instalaciones fotovoltaicas realizadas en la Isla. Según la AAE, entre el 2008-2009 en Mayagüez se instalaron 123 kW [dato provisto por la AAE]. Este dato se utilizó como punto de comienzo porque antes de estas fechas no existe registro alguno de instalaciones. Debido a la escasez de información no se pueden determinar

por cientos de crecimiento en el mercado. Por lo tanto, los por cientos de crecimiento no pueden ser utilizados como punto de comienzo para este estudio en particular.

Sin embargo, se conoce la meta nacional de instalación solar de 20 MW para el 2015.

Si se parte de esta premisa y que la aportación se dará en cada municipio del país, se

puede determinar que esta será proporcional a los datos de población. La población

de Puerto Rico según el Censo 2000 fue de 3,808,610, de estos, 98,434 eran

residentes en Mayagüez. Ésto representa el 2.58% de la población total de la Isla.

Con estos datos expuestos, surge la primera métrica de este estudio basado en el por

ciento poblacional que representa la ciudad y la cantidad total de instalación solar en

la Isla para el 2015. Para determinar la posible meta se utilizó la siguiente formula.

$$\textit{Meta Solar} = \% \textit{ poblacional ciudad} \times \textit{meta nacional solar}$$

Para este estudio se obtiene que:

$$\textit{Meta Solar} = 2.58\% \times 20\textit{MW} = 516\textit{kW}$$

Si la aportación fuese proporcional a la población de cada ciudad, Mayagüez sólo tendría que aportar 516kW para lograr la meta nacional.

La segunda medida a considerar, es que la ciudad en estudio no este incluida en esos primeros 20MW de capacidad instalada para el 2015. Esto puede ser cierto ya que

Mayagüez en estos últimos años se enfocó en los Juegos Centroamericanos 2010 y es

probable que no hayan tenido ningún proyecto real de esta índole al momento del

Comité establecer las cantidades a instalar. La meta entonces sería establecida para

el 2020 donde el por ciento de producción renovable aumenta a un 15%. Para el 2015

la producción de energía renovable establecida es de una 12% la producción total de

electricidad (5,864MW) en Puerto Rico.

Tabla 5.8 Por ciento de techos disponibles

% Techos Utilizado	Sector Residencial									Sector Comercial		
	Escenario 1 ¹⁰⁰			Escenario 2 ¹⁰¹			Escenario 3 ¹⁰²			Área de Techo Utilizada (p)	Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones(\$)
	Área de Techo Utilizada (p)	Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones (\$)	Área de Techo Utilizada (p)	Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones (\$)	Área de Techo Utilizada (p)	Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones(\$)			
5%	728,614	5.9	53.1	397,150	3.3	29.3	493,100	4.6	41.4	31,934	0.5	4.6
10%	1,457,228	11.8	106.2	794,299	6.5	58.5	986,200	9.2	82.8	63,867	1.0	9.3
15%	2,185,842	17.7	159.3	1,191,449	9.8	87.8	1,479,299	13.8	124.2	95,801	1.5	13.9
20%	2,914,456	23.6	212.4	1,588,598	13.0	117.0	1,972,399	18.4	165.6	127,734	2.1	18.5
25%	3,643,070	29.5	265.5	1,985,748	16.3	146.3	2,465,499	23.0	207.0	159,668	2.6	23.2
30%	4,371,684	35.4	318.6	2,382,897	19.5	175.5	2,958,599	27.6	248.4	191,601	3.1	27.8
35%	5,100,298	41.3	371.7	2,780,047	22.8	204.8	3,451,698	32.2	289.8	223,535	3.6	32.4
40%	5,828,912	47.2	424.8	3,177,196	26.0	234.0	3,944,798	36.8	331.2	255,468	4.1	37.1
45%	6,557,526	53.1	477.9	3,574,346	29.3	263.3	4,437,898	41.4	372.6	287,402	4.6	41.7
50%	7,286,140	59.0	531.0	3,971,495	32.5	292.5	4,930,998	46.0	414.0	319,336	5.2	46.4
55%	8,014,754	64.9	584.1	4,368,645	35.8	321.8	5,424,097	50.6	455.4	351,269	5.7	51.0
60%	8,743,368	70.8	637.2	4,765,794	39.0	351.0	5,917,197	55.2	496.8	383,203	6.2	55.6
65%	9,471,982	76.7	690.3	5,162,944	42.3	380.3	6,410,297	59.8	538.2	415,136	6.7	60.3
70%	10,200,596	82.6	743.4	5,560,093	45.5	409.5	6,903,397	64.4	579.6	447,070	7.2	64.9
75%	10,929,210	88.5	796.5	5,957,243	48.8	438.8	7,396,496	69.0	621.0	479,003	7.7	69.5
80%	11,657,824	94.4	849.6	6,354,392	52.0	468.0	7,889,596	73.6	662.4	510,937	8.2	74.2
85%	12,386,438	100.3	902.7	6,751,542	55.3	497.3	8,382,696	78.2	703.8	542,870	8.8	78.8
90%	13,115,052	106.2	955.8	7,148,691	58.5	526.5	8,875,796	82.8	745.2	574,804	9.3	83.4
95%	13,843,666	112.1	1,008.9	7,545,841	61.8	555.8	9,368,895	87.4	786.6	606,737	9.8	88.1
100%	14,572,280	118.0	1,062.0	7,942,990	65.0	585.0	9,861,995	92.0	828.0	638,671	10.3	92.7

¹⁰⁰ Instalaciones en el 100% de las viviendas para sistemas PV y SWH¹⁰¹ Instalaciones PV en el 50% de las residencias, SWH en el restante 50%¹⁰² Instalaciones PV en el 75% de las residencias, SWH en el restante 25%

Distribuida de la siguiente manera:

Tabla 5.9 Distribución proyectada de producción renovable para el 2015 por tipo de energía

Tipo de Energía Renovable	Capacidad Instalada (MW)
Gas Natural	270
Eólica	300
Solar	20
Otras Tecnologías	20
“Waste to Energy”	100
Total	710 (12%)

Adaptado de [AAE, 2009c]

Para el 2020 la producción debe aumentar a un 15% de la producción total de electricidad en la Isla (presumiendo que sea la capacidad actual), o sea, 170 MW adicionales a los instalados para el 2015. Hasta el momento no existen datos de cuales específicamente serían las tecnologías que aportarían ha dicho crecimiento. Por lo tanto, se pueden considerar dos posibles escenarios para lograr esta meta en este estudio. El primero es que la aportación sea totalmente en energía solar. Esto significa que los 170 MW provendrían de cualquiera de las tecnologías solares antes descritas en este proyecto (Capítulo 2). Si este fuera el caso y utilizando la medida de por ciento poblacional, Mayagüez aportaría entonces:

$$Meta\ Solar = 2.58\% \times 170MW = 4.39MW$$

Una aportación bastante agresiva considerando que en la ciudad sólo se han instalado 123 kW hasta el 2009. Pero que no tiene limitante tomado en cuenta la cantidad de techos disponibles según los cálculos de potencial.

El segundo escenario es que la capacidad solar a instalar será proporcional a la instalada para el 2015. Para este periodo la instalación sugerida es de 20MW lo que representa un 2.8% de la producción total de energía renovable establecida.

$$\%instalación\ solar = \frac{capacidad\ solar}{total\ ER} = \frac{20MW}{710MW}$$

$$\%instalación\ solar = 2.8\%$$

Por lo tanto la contribución de energía solar para el 2020 sería:

$$Contribución\ Solar = \%instalación\ solar \times producción\ total\ ER$$

$$Contribución\ Solar = 2.8\% \times 170MW = 4.79MW$$

Se aportarían aproximadamente 5 MW adicionales de energía solar para el 2020. Una cantidad muy pobre considerando la instalación sugerida para el 2020 y que la energía es una de las más abarcadoras y prometedoras en el mercado hoy día. Con este número expuesto se pueden determinar dos posibles resultados. El primero es tomado en consideración que no se haya podido alcanzar la meta de 20 MW para el 2015 y la ciudad entre a participar en esta primera propuesta más los 5 adicionales para el 2020. Entonces la aportación de Mayagüez sería:

$$Meta\ Solar = (20MW_{2015} + 5MW_{2020}) \times 2.58\% = 645kW$$

Si en cambio, Mayagüez sólo participara en los 5 MW adicionales necesarios para lograr la producción establecida para el 2020, entonces:

$$Meta\ Solar = 2.58\% \times 5MW = 129kW$$

Esta cantidad es muy poco probable considerando que en Mayagüez hasta el 2009 se han instalado 123 kW.

Una vez determinada las posibles metas de instalación es importante poder validar los resultados obtenidos. Para validar los resultados se puede calcular el por ciento de crecimiento de mercado necesario para lograr las metas sugeridas. Luego se pueden comparar con los por cientos de crecimiento históricos. Como se mencionó antes, los por cientos de crecimiento locales no se pueden determinar por la poca información

disponible. Para propósitos del estudio se utilizarán los por cientos de crecimiento utilizados por la ciudad de Boston, Massachusetts para su análisis [EERE, 2009a]. El personal a cargo del programa analizó los por cientos de crecimiento de mercado históricos a nivel municipal, nacional e internacional, y basado en estos por cientos establecieron tres posibles escenarios de crecimiento en el mercado. Un caso conservador de 25% de crecimiento anual compuesto, uno promedio de 35% y uno más agresivo de 45%.

Analizando los cuatros casos antes expuestos y utilizando la formula de crecimiento anual compuesto [Parker, 2002];

$$i = \left(\sqrt[n]{\frac{Pop_{futura}}{Pop_{presente}}} - 1 \right) \%$$

podemos obtener los por cientos de crecimiento en el mercado. Cabe señalar que esta fórmula es la misma de valor del dinero a través del tiempo para el valor futuro despejada para el interés [Lluch, 2000].

Por ejemplo, calculando el por ciento de crecimiento para el 2015 tenemos que:

$$i = \left(\sqrt[6]{\frac{516}{123}} - 1 \right) \% = 27\%$$

En la Tabla 5.10 se muestran los por cientos de crecimiento obtenidos para la ciudad de Mayagüez partiendo de la capacidad instalada para el 2009.

Tabla 5.10 Por ciento de crecimiento en el mercado necesario para alcanzar la meta propuesta

Capacidad Presente (kW)	Capacidad Futura (kW)	% de Crecimiento de Mercado PV
123	516	27% ₍₂₀₁₅₎
123	4,390	38% ₍₂₀₂₀₎
123	645	16% ₍₂₀₂₀₎
123	129	0.43% ₍₂₀₂₀₎

Como muestra la tabla, la propuesta de instalar sólo 5 MW adicionales para el 2020 es improbable con un por ciento de crecimiento muy por debajo de los establecidos a nivel internacional. Restan como posibles alternativas las primeras tres propuestas siendo la meta calculada para el 2015 la más conservadora con un 27% y la calculada para el 2020 la más agresiva con un 40%. Si se diera el caso de que para el 2015 no se alcanza la meta y Mayagüez participara el por ciento de crecimiento sería uno más cercano a lo conservador con un 16%. Una vez establecidas las posibles metas queda demostrar el impacto económico que conllevaría establecer el programa de ciudad solar.

5.6 El Impacto Económico de Ciudad Solar

Uno de los objetivos del programa de Ciudades Solares Americanas de DOE es acelerar la adopción solar a través de incentivos que ayuden a disminuir el costo frontal de los equipos solares. En adición a las leyes y reglamentos que ayuden a eliminar las barreras de mercado existentes como se explica en el Capítulo 4.

5.6.1 Acelerando de la Demanda a través de los Incentivos

El mayor obstáculo que tiene la adopción de tecnologías solares en el presente es su costo frontal. Por tal razón, los gobiernos alrededor del mundo han creado incentivos para sus habitantes que ayuden a aplacar estos costos. Las Secciones 4.6 a 4.8 del Capítulo 4 se dedicaron a explicar en detalle los incentivos disponibles tanto a nivel federal y estatal como local. La primera parte de esta sección se enfocará en demostrar el ahorro que representaría a nivel municipal la adopción solar para la ciudad de Mayagüez aplicando los incentivos discutidos en la Sección 4.8.

En la Tabla 5.8 se mostraron los costos totales que implicaría hacer las instalaciones de sistemas fotovoltaicos y calentadores solares tanto a nivel residencial como

comercial e industrial según sea el caso. La tabla se distribuyó por sector, escenario y los distintos por cientos de instalación a nivel general ya que es imposible determinar cuantas van a ser las instalaciones realizadas. Con estos datos se le da una idea al municipio de la gran capacidad que tienen para beneficiarse de esta tecnología.

Ahora queda demostrar cual sería el costo final utilizando cualquiera de estos por cientos de instalación luego de aplicarle los incentivos disponibles a nivel local. Para el sector residencial como se detalló en la Sección 4.8, los incentivos disponibles son los siguientes:

Tabla 5.11 Incentivos para el Sector Residencial

Incentivo	Cantidad Exenta por equipo e instalación
Crédito Federal Fiscal Residencial por Energía Renovable	30%
Deducción de Impuestos para Sistemas Solares y Eólicos	30%, máximo de \$500
Crédito Fiscal Solar	50% (año fiscal 2009-2010)
Exención sobre Impuestos a la Propiedad para Equipo Solar	100%
Exención del IVU	100%
Programa de Descuento de Energía Solar	\$4/watt , máximo de 50% o \$15,000
Programa de Reembolso por Calentadores Solares	\$500
Programa de Reembolso Por Inversión en Energía Verde	máximo de 60%

Si el participante se acoge a alguno de los incentivos del Programa Estatal de Energía no se puede beneficiar de los demás incentivos locales y federales existentes. Pero, en cambio, recibe el incentivo más rápido porque es a base de un reembolso, como se explica en detalle en las Secciones 4.8.7.1 y 4.8.7.2. Por ejemplo, si un residente compra un sistema de 3kW que cuesta \$27,000 el reembolso es de:

$$\begin{aligned}
 \text{Reembolso} &= 3kW \times \$4/\text{watt} = \$12,000 \text{ ó} \\
 &= \$27,000 \times 0.5 = \$13,500 \text{ ó} \\
 &= \$15,000
 \end{aligned}$$

Para poder recibir el pago el sistema tiene que haber sido inspeccionado por AAE y AFI.

Para el sector comercial e industrial los incentivos disponibles son los siguientes,

Tabla 5.12:

Tabla 5.12 Incentivos para el Sector Comercial e Industrial

Incentivo	Cantidad Exenta por equipo e instalación
Crédito Federal Fiscal por Inversiones en el Negocio de la Energía	30%
Crédito Fiscal Corporativo	50% (año fiscal 2009-2010)
Exención sobre Impuestos a la Propiedad para Equipo Solar	100%
Exención del IVU	100%
Programa de Descuento de Energía Solar	\$4/watt , máximo de 50% ó \$200,00
Programa de Prestamos Rotativos	50% ó \$300,000
Programa de Reembolso Por Inversión en Energía Verde	máximo 50% (100kW-1MW) acceso a CERs ¹⁰³ (>1MW)

Por ejemplo, en el sector residencial se propuso instalar sistemas de 3kW que están en el mercado con instalación incluida en \$9/watt aproximadamente. Utilizando la siguiente formula podemos obtener el costo total del equipo con instalación.

$$\text{Costo Total} = \text{capacidad equipo} * \text{costo por watt}$$

Entonces si se tiene un equipo de 3 kW a \$9/watt:

$$\text{Costo Total} = 3kW \times \$9/\text{watt} = \$27,000$$

Si se le aplican los incentivos entonces:

$$\begin{aligned}
 \text{Costo después de incentivos} &= \$27,000 - (\$27,000 \times 0.6)_{\text{Prog Reembolso EV}} = \$10,800 \\
 &= \$10,800 - \$500_{\text{deducción impuestos}} = \$10,300
 \end{aligned}$$

¹⁰³ CERs: Certificados de Energías Renovables (secciones 4.4.11 – 4.4.12)

Se termina ahorrando más de la mitad del costo total del equipo. Para el sector comercial e industrial se establecieron equipos de 4kW para comercios pequeños hasta un máximo de 40kW para comercios más grandes y zona industrial. Tomando como ejemplo las tiendas por departamento si se instala un sistema de 40 kW a \$9/watt:

$$\text{Costo Total} = 40kW \times \$9 / \text{watt} = \$360,000$$

Luego de aplicar los incentivos;

$$\begin{aligned} \text{Costo despues de incentivos} &= \$360,000 - (\$360,000 \times 0.5)_{\text{Prog Reembolso EV}} = \$180,000 \\ \text{ó} &= (\$360,000 - (\$360,000 * 0.5))_{\text{Pr estamo Rotativo}} = \$180,000 \\ &= \$360,000 * 0.5_{\text{Prog Descuento ES}} = \$180,000 \end{aligned}$$

donde nuevamente el ahorro es de aproximadamente la mitad.

Los demás incentivos son ofrecidos en manera de crédito en las contribuciones de individuo. Por ende, es necesario obtener préstamos personales o equivalentes para poder sufragar los costos frontales de los equipos. Uno de estos préstamos es el Programa de Prestamos Rotativos (Sección 4.8.8) ofrecido por el Banco de Desarrollo Económico de Puerto Rico (BDEPR) bajo los fondos ARRA. Este programa está disponible para empresas pequeñas y medianas y ofrece 50% del costo total del equipo e instalación o \$300,000 lo que sea menor (AFI, 2010). Si se acoge a este préstamo para el único incentivo al que puede aplicar el participante es al del Programa Estatal de Energía. En la Figura 5.3 se muestra cual sería el pago mensual y anual dependiendo de la cantidad del préstamo para el termino máximo de 8 años.

Tabla de amortización		
Supuestos: Término máximo de 8 años a una tasa de interés fija del 4.95%, sin moratoria en los pagos de principal		
Cantidad del préstamo	Pago mensual (principal e intereses)	Pago anual
\$300,000	\$3,790.84	\$45,490.08
\$200,000	\$2,527.23	\$30,326.76
\$100,000	\$1,263.61	\$15,163.32
\$50,000	\$631.81	\$7,581.72
\$40,000	\$505.45	\$6,065.40
\$15,000	\$189.54	\$2,274.48

Figura 5.3 Tabla de amortización préstamo rotativo (BDEPR. 2009)

Por ejemplo, si algún comercio pequeño que instale un sistema de 4kW en sus facilidades a un costo aproximado de \$36,000 se acoge al préstamo. Tendría cubiertos ya \$18,000 de la inversión y podría acogerse al Programa de Descuento de Energía Solar. Éstos \$18,000 recibidos por concepto del préstamo rotativo tienen una mensualidad a pagar de aproximadamente \$230.00 mensuales comenzando el mes siguiente de haber recibido el préstamo, al finalizar la obra recibirá \$16,000 por concepto de reembolso del Programa de Descuento de Energía Solar y los restantes \$2,000 que no están cubiertos por estos incentivos pueden ser sufragados por concepto de préstamo personal (si se acoge a un préstamo para cubrir parte del costo del proyecto que no cubre el préstamo rotativo) o directamente del dueño.

En la Tabla 5.13 se muestra un resumen de los costos después de incentivos que incurrirían en la ciudad en general sin las facilidades gubernamentales en instalar sistemas solares. Los incentivos considerados fueron el Programa de Descuento de Energía Verde para todos los sectores y la Deducción de Impuestos para Sistemas Solares para el sector residencial. Como se mencionó anteriormente están divididos en por ciento de sistemas instalados por sector y escenario en el caso residencial.

Tabla 5.13 Comparación de costo total y costo después de incentivo

% Techos Utilizado	Sector Residencial						Sector Comercial					
	Escenario 1 ¹⁰⁴			Escenario 2 ¹⁰⁵			Escenario 3 ¹⁰⁶			Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones (\$)	Costo Después de Incentivo (\$)
Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones (\$)	Costo Después de Incentivo (\$)	Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones (\$)	Costo Después de Incentivo (\$)	Total de Energía Generada (MW)	Costo en Millones (\$)	Costo Después de Incentivo (\$)				
5%	5.9	53.1	12.2	3.3	29.3	8.8	4.6	41.4	11.8	0.5	4.6	2.3
10%	11.8	106.2	44.1	6.5	58.5	26.4	9.2	82.8	36.6	1.0	9.3	4.6
15%	17.7	159.3	75.9	9.8	87.8	43.9	13.8	124.2	61.4	1.5	13.9	7.0
20%	23.6	212.4	107.8	13.0	117.0	61.5	18.4	165.6	86.3	2.1	18.5	9.3
25%	29.5	265.5	139.7	16.3	146.3	79.0	23.0	207.0	111.1	2.6	23.2	11.6
30%	35.4	318.6	171.5	19.5	175.5	96.6	27.6	248.4	136.0	3.1	27.8	13.9
35%	41.3	371.7	203.4	22.8	204.8	114.1	32.2	289.8	160.8	3.6	32.4	16.2
40%	47.2	424.8	235.2	26.0	234.0	131.7	36.8	331.2	185.6	4.1	37.1	18.5
45%	53.1	477.9	267.1	29.3	263.3	149.2	41.4	372.6	210.5	4.6	41.7	20.9
50%	59.0	531.0	299.0	32.5	292.5	166.8	46.0	414.0	235.3	5.2	46.4	23.2
55%	64.9	584.1	330.8	35.8	321.8	184.3	50.6	455.4	260.2	5.7	51.0	25.5
60%	70.8	637.2	362.7	39.0	351.0	201.9	55.2	496.8	285.0	6.2	55.6	27.8
65%	76.7	690.3	394.5	42.3	380.3	219.4	59.8	538.2	309.8	6.7	60.3	30.1
70%	82.6	743.4	426.4	45.5	409.5	237.0	64.4	579.6	334.7	7.2	64.9	32.4
75%	88.5	796.5	458.3	48.8	438.8	254.5	69.0	621.0	359.5	7.7	69.5	34.8
80%	94.4	849.6	490.1	52.0	468.0	272.1	73.6	662.4	384.4	8.2	74.2	37.1
85%	100.3	902.7	522.0	55.3	497.3	289.6	78.2	703.8	409.2	8.8	78.8	39.4
90%	106.2	955.8	553.8	58.5	526.5	307.2	82.8	745.2	434.0	9.3	83.4	41.7
95%	112.1	1,008.9	585.7	61.8	555.8	324.7	87.4	786.6	458.9	9.8	88.1	44.0
100%	118.0	1,062.0	617.6	65.0	585.0	342.3	92.0	828.0	483.7	10.3	92.7	46.4

¹⁰⁴ Instalaciones en el 100% de las viviendas para sistemas PV y SWH

¹⁰⁵ Instalaciones en el 100% de las viviendas para sistemas PV y SWH

¹⁰⁶ Instalaciones PV en el 75% de las residencias, SWH en el restante 25%

5.6.2 Creación de empleos y apoyo al desarrollo económico

Desde sus orígenes al presente, Mayagüez, se ha caracterizado por ser una ciudad de grandes encuentros e intercambios económicos, sociales, políticos, comerciales y culturales. Por muchos años fue el centro de la industria de la aguja, hasta los 1990 la economía se nutrió de las plantas procesadoras de atún y creó la zona industrial que hoy día ha sido ocupada por compañías tecnológicas de diferentes índoles. Estas características hacen de Mayagüez una ciudad idónea para comenzar a mover el motor de la tecnología solar en todas sus facetas.

Las oportunidades para crear trabajos verdes a lo largo de toda la cadena industrial solar, que va desde la fabricación hasta la venta, instalación y mantenimiento, son infinitas. También hay grandes posibilidades en el campo del entrenamiento, donde entran las universidades y colegios técnicos, y los sistemas de financiamiento. El gobierno puede contribuir al crecimiento de la industria de energía renovable doméstica y estimular la economía al asociarse con los participantes del mercado solar, y apoyando la educación y los programas de entrenamiento.

Las agencias de desarrollo local con otras agencias estatales pueden utilizar una variedad de incentivos financieros para alentar a las empresas de energía limpia a ubicarse en el área. Estos incentivos incluyen incentivos fiscales, préstamos y subvenciones. En Puerto Rico ya existen incentivos como el Crédito fiscal corporativo (Sección 4.8.1) y el Incentivo del desarrollo económico para las energías renovables (Sección 4.8.2) que apoyan esta industria. Este último es un incentivo de apoyo/reclutamiento que aporta en gran medida a la creación de empleos y una de sus disposiciones es que ofrece un 50% en crédito para investigación cualificada y gastos de desarrollo, entre otras cosas. Tan reciente como el año 2010 se comenzó a otorgar

el Crédito por Creación de Empleos (Sección 4.8.10) que por cada empleo creado durante su primer año de operación se le otorgará un crédito de entre \$1,000 a \$5,000 dependiendo de la zona de desarrollo industrial donde se encuentre. Además de promover la manufactura, estos incentivos también apoyan la investigación, desarrollo y comercialización de los sistemas, las actividades de mercadeo y desarrollo empresarial de los distribuidores e instaladores.

Estos movimientos tienden a ser un poco arriesgados, por eso el gobierno puede incorporar varias provisiones en los reglamentos de acuerdos de financiamiento o créditos a impuestos para estimular el éxito del proyecto y proteger la inversión local. Por ejemplo, los programas de reclutamiento pueden incluir un mínimo de creación de empleos, producción de productos y punto inicial de inversión. También pueden estar basados en productos vendidos desde las facilidades. Algunos programas desembolsan los incentivos basados en etapas alcanzadas por la compañía. Si fallan en alcanzar las metas y términos establecidos, como moverse de las facilidades temprano, llevan al repago del incentivo.

Proteger las nuevas inversiones de las compañías de energía solar ayuda al gobierno a diversificar la fuerza trabajadora de esta industria, generar nuevas fuentes de ingreso y crear una infraestructura de energía renovable. Los beneficios tangibles obtenidos de este desarrollo económico incluyen ingresos de los impuestos sobre la propiedad más altos y los impuestos de nómina de una fuerza trabajadora bien pagada. Uno de los beneficios intangibles podría ser que la sociedad entre la industria y la academia en la tecnología de energías renovables, puede crear un ciclo de investigación-inversión-producción-investigación que lleve a una inversión del estado y federal sustancial en las facilidades de investigación académica y el personal.

De acuerdo al informe de la Navigant Consulting, *Los Impactos Económicos de Extender los Créditos Fiscales Federales*¹⁰⁷, en el 2010 se habrán producido cerca de 7 trabajos directos de instalación por cada megavatio de capacidad solar instalada y 8 trabajos por integración de sistema¹⁰⁸. En las fábricas, se habrán producido 8 trabajos directos por cada celda y disco producido, y aproximadamente 3 trabajos directos por cada módulo fotovoltaico y otros equipos fabricados como se muestra en la Figura 5.4. La inversión federal en créditos fiscales para el 2016 puede resultar en la creación de más de 276,000 empleos en la industria contando desde el año 2009 [Navigant Consulting Inc, 2008].

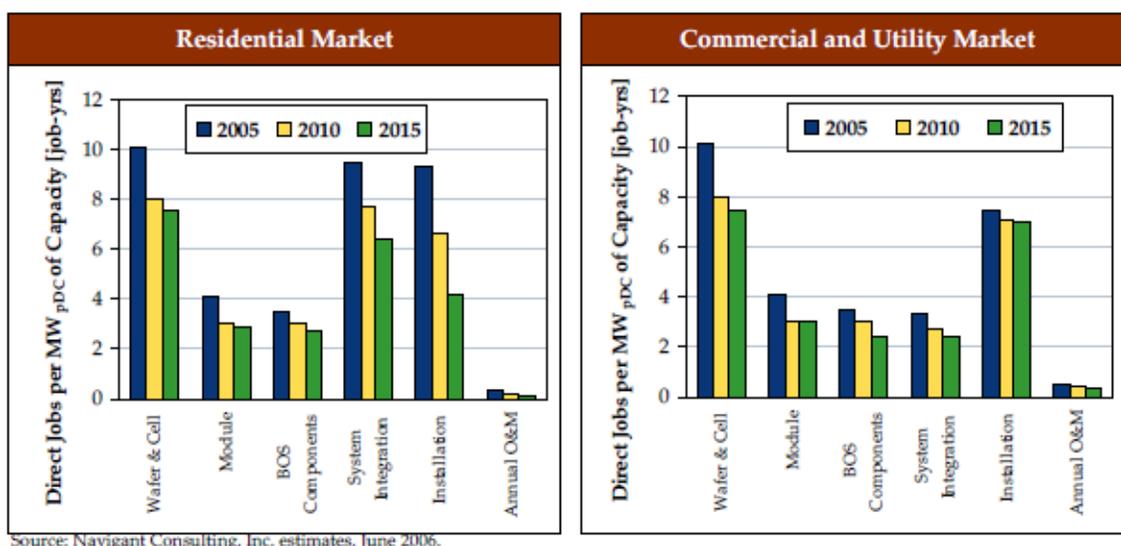


Figura 5.4 Trabajos directos por megavatio de capacidad instalada [Navigant Consulting Inc, 2008]

Si partimos de que por cada megavatio instalado se crearían 7 (sector residencial y comercial) empleos directos y 8 (sector residencial), 3 (sector comercial) empleos directos por integración de sistema, podemos determinar los empleos que se podrían crear en la ciudad de Mayagüez como resultado de este programa. Utilizando estos datos como referencia tendríamos que en la ciudad se podrían generar entre 36 a 1089

¹⁰⁷ Economic Impacts of Extending Federal Solar Tax Credits

¹⁰⁸ Integración de sistema incluye la integración del sistema, diseño y distribución.

empleos directos por instalación de sistemas fotovoltaicos y entre 32 a 1057 empleos directos por integración de sistema. La creación de empleos como resultado de las metas sugeridas sería como se muestra en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14 Creación de empleos como resultado de las metas sugeridas

Sector Impactado	Empleos para Meta 2015 (516 kW)	Empleos para Meta 2020 (645 KW)	Empleos para Meta 2020 (4.4 MW)
Integración de Sistemas	6	8	49
Instalación	8	10	62
Empleos Totales	14	18	111

La Tabla 5.15 muestra un resumen de los resultados considerando como métrica el por ciento de techos disponibles.

En Mayagüez la tasa de desempleo en la actualidad es de aproximadamente 18% [A.R. Gómez, 2010], o sea, 17,718 personas. Con los resultados obtenidos de posibles empleos creados la tasa de desempleo disminuiría, entre un 2%-9% en términos del potencial de la ciudad. Pero en términos de la meta sugerida, la tasa de desempleo podría disminuir en menos de 1%.

Tabla 5.15 Cantidad de posibles empleos generados debido al potencial de la ciudad

% Techos Utilizado	Total de Energía Generada (MW)				Energía Generada Combinando los dos Sectores(MW)			Empleos Creados por Instalación		
	Escenario 1 ¹⁰⁹	Escenario 2 ¹¹⁰	Escenario 3 ¹¹¹	Comercial e Industrial	Escenario 1 + Comercial	Escenario 2 + Comercial	Escenario 3 + Comercial	Escenario 1 + Comercial	Escenario 2 + Comercial	Escenario 3 + Comercial
5%	5.9	3.3	4.6	0.5	6.4	3.8	5.1	45	26	36
10%	11.8	6.5	9.2	1.0	12.8	7.5	10.2	90	53	72
15%	17.7	9.8	13.8	1.5	19.2	11.3	15.3	135	79	107
20%	23.6	13.0	18.4	2.1	25.7	15.1	20.5	180	105	143
25%	29.5	16.3	23.0	2.6	32.1	18.8	25.6	225	132	179
30%	35.4	19.5	27.6	3.1	38.5	22.6	30.7	269	158	215
35%	41.3	22.8	32.2	3.6	44.9	26.4	35.8	314	184	251
40%	47.2	26.0	36.8	4.1	51.3	30.1	40.9	359	211	286
45%	53.1	29.3	41.4	4.6	57.7	33.9	46.0	404	237	322
50%	59.0	32.5	46.0	5.2	64.2	37.7	51.2	449	264	358
55%	64.9	35.8	50.6	5.7	70.6	41.4	56.3	494	290	394
60%	70.8	39.0	55.2	6.2	77.0	45.2	61.4	539	316	430
65%	76.7	42.3	59.8	6.7	83.4	48.9	66.5	584	343	465
70%	82.6	45.5	64.4	7.2	89.8	52.7	71.6	629	369	501
75%	88.5	48.8	69.0	7.7	96.2	56.5	76.7	674	395	537
80%	94.4	52.0	73.6	8.2	102.6	60.2	81.8	718	422	573
85%	100.3	55.3	78.2	8.8	109.1	64.0	87.0	763	448	609
90%	106.2	58.5	82.8	9.3	115.5	67.8	92.1	808	474	644
95%	112.1	61.8	87.4	9.8	121.9	71.5	97.2	853	501	680
100%	118.0	65.0	92.0	10.3	128.3	75.3	102.3	898	527	716

¹⁰⁹ Instalaciones en el 100% de las viviendas para sistemas PV y SWH

¹¹⁰ Instalaciones PV en el 50% de las residencias, SWH en el restante 50%

¹¹¹ Instalaciones PV en el 75% de las residencias, SWH en el restante 25%

6 Análisis de los Beneficios de Convertir a Mayagüez en una Ciudad Solar

6.1 Introducción

En el capítulo anterior se discutió detalladamente la metodología para poder establecer una meta de instalación solar razonable para la ciudad. Éstas han sido sólo sugerencias y ejemplos de cómo llegar a seleccionar una meta, cual será la meta final a establecer depende del grupo de trabajo que se le asigne esta tarea en el municipio. Ahora, para tener un panorama completo de cómo establecer la meta es necesario analizar cuales son los beneficios que traería a la ciudad el adoptar las medidas necesarias para convertirse en una ciudad solar. A continuación se analizarán los beneficios económicos y ambientales que puede tener una ciudad solar.

6.2 Beneficios Económicos

En la industria de la construcción constantemente se toman decisiones económicas, seleccionando una alternativa entre varias [Lluch, 2000]. Estas decisiones se basan en la presunción de que la alternativa a escoger traerá el mayor beneficio sin comprometer la calidad de lo que se esta ofreciendo. Por naturaleza o instrucción los ingenieros necesitan ver resultados cuantificables sobre algún tipo de propuesta para decidir si es una alternativa viable o no. En esta sección se demostrarán los beneficios económicos que conlleva establecer un programa de ciudad solar.

El método utilizado para cuantificar el beneficio esta basado en la teoría del valor del dinero a través del tiempo. Esta teoría es la que explica términos como el flujo de dinero en un periodo de tiempo dado, el financiamiento de los inmuebles utilizando un interés y un periodo de tiempo establecido. Incluye términos como el ciclo de

vida, donde se toma en consideración los gastos de inversión inicial, operación y mantenimiento, combustible y reemplazo, y lo que se obtiene al vender al final de la vida útil del inmueble que es el residual. El beneficio se puede determinar convirtiendo todos los ingresos y desembolsos futuros a su valor equivalente en el presente, o sea, calculando el valor presente neto. La fórmula para calcular el valor presente neto se muestra en las siguientes fórmulas:

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{F_n}{(1+d)^n} = F_0 + \frac{F_1}{(1+d)^1} + \frac{F_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{F_N}{(1+d)^N}$$

[Short et al., 1995]

donde;

NPV: valor presente neto
 F_n : flujo de efectivo neto en el año n
 N: periodo de análisis
 d: tasa de descuento anual

$$PVLCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad [\text{ASTM International, 2005}]$$

donde;

PVLCC: valor presente del costo de ciclo de vida
 C_t : la suma de los costos relevantes que ocurren en el año t
 N: largo del periodo
 i: tasa de descuento

Para realizar el análisis económico de este proyecto se utilizó un modelo de optimización que compara diferentes alternativas entre si para determinar cual es la mejor en orden de magnitud de beneficio económico. Este programa es HOMER[®] 2009, versión 2.68 beta producido por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés). El mismo está diseñado para ayudar al usuario a evaluar diseños de sistemas eléctricos conectados y no conectados a la red para una variedad de aplicaciones. El programa le ayuda al usuario a determinar que

componentes son necesarios incluir en el sistema, cuantos y de que tamaño debe ser cada componente del sistema para que sea uno costo-efectivo. Esto lo analiza utilizando algoritmos analíticos de optimización y sensibilidad para evaluar la mayor cantidad de configuraciones posibles para el sistema, dado varios valores de entrada como los son la irradiación solar, carga energética por hora para un periodo de un día, costo de la electricidad, costo inicial del sistema a evaluar y tamaño del sistema, entre otras cosas.

La viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos como una alternativa a la generación de electricidad mediante combustibles fósiles va a depender en gran medida a una combinación entre la inversión de capital, rendimiento esperado de la energía y el escenario financiero en el que la deuda, si alguna, será repagada [Colluci, et al. 2008]. En los Capítulos 4 y 5 se discutieron los incentivos disponibles y se analizaron los costos de los sistemas propuestos luego de aplicados dichos incentivos. Para propósitos del proyecto y utilizando HOMER[®] como herramienta para evaluar las alternativas, se seleccionaron 5 escenarios para cubrir todos los sectores que componen la ciudad. El primero de estos escenarios fue el residencial con un sistema fotovoltaico de 3 kW. Este ha sido el sistema propuesto para analizar el potencial residencial y con el programa se comprobó que el mismo tiene un tamaño adecuado para cubrir la mitad de la demanda energética de una residencia promedio. Para analizar el sector comercial e industrial se dividió el análisis en cuatro tipos de comercios distribuidos por área promedio que ocupan y sus respectivos consumos energéticos promedios según la más reciente Tabla de Consumo Eléctrico y Gastos en

Edificios Comerciales de la Administración de Información Energética de E.U.¹¹² [EIA, 2006]. La Tabla 6.1 muestra la manera en que se calificaron.

Tabla 6.1 Calificación de comercios e industria por área que ocupa y consumo promedio [EIA, 2006]

Calificación	Área (p²)	Consumo Mensual (miles kW-hr)	Carga Promedio Diaria (kW-hr/día)
Comercio 1	1,000-5,000	3,500	115
Comercio 2	5,001-10,000	7,500	250
Comercio 3	10,001-24,999	13,500	450
Comercio 4/ Industrial	25,000-100,000	56,750	1850

Al momento de evaluar, utilizando el programa, si el sistema propuesto era suficiente para las cargas promedio de cada tipo de comercio e industria se determinó que el sistema de 4kW era insuficiente para conseguir algún tipo de beneficio tangible según las métricas establecidas en el estudio. Esto no significa que instalar un sistema de 4kW no es viable en los comercios, por ejemplo, si el comercio está cerca de los 1,000 pies cuadrados un sistema de 4kW sería viable y costo-efectivo con la presunción del estudio de que se quiere cubrir alrededor del 50% de la carga eléctrica. También, si un comerciante quiere instalar un sistema, pero su capital sólo le alcanza para un sistema de 4kW lo puede instalar y tendría unos beneficios mínimos, el cual sólo cubriría cerca del 15% de su consumo eléctrico en edificios de calificación Comercio 1. Sin embargo, aportaría a la meta de la ciudad, tendría una reducción mínima en su factura de electricidad y reduciría las emisiones en un por ciento mínimo. Por lo tanto, con lo antes expuesto, se prosiguió a determinar que sistemas

¹¹² Electricity Consumption and Expenditures Intensities for Non-Mall Buildings, 2003

cubrirían cerca del 50% de la carga para cada calificación de comercio e industria y luego se comprobó con el programa que los cálculos fueran acertados.

6.2.1 Selección de Sistemas a Utilizar en el Sector Comercial e Industrial

Para determinar que sistemas eran apropiados para el sector comercial e industrial según su clasificación y conseguir cubrir cerca del 50% de la carga eléctrica se escogió un modelo específico de fotovoltaico con el fin de tener unas características reales de un sistema que se encuentra hoy día en el mercado. El sistema seleccionado fue un Panel Evergreen ES-A de 200 W con las características que se muestran en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Características sistema 200W [Evergreen Solar Inc, 2010]

Área	16.82 p ² , 1.563m ²
Eficiencia	12.7%
Coefficiente de Temperatura	-0.45%/°C
Temperatura Nominal de la Celda de Operación	44.8°C

Con éstos datos se determinó la producción diaria por área de panel para la irradiación del lugar descrito. La irradiación fue determinada por HOMER[®] utilizando las coordenadas de Google Earth[®] para la Alcaldía de Mayagüez como punto de referencia, como se muestra en la Figura 6.1.

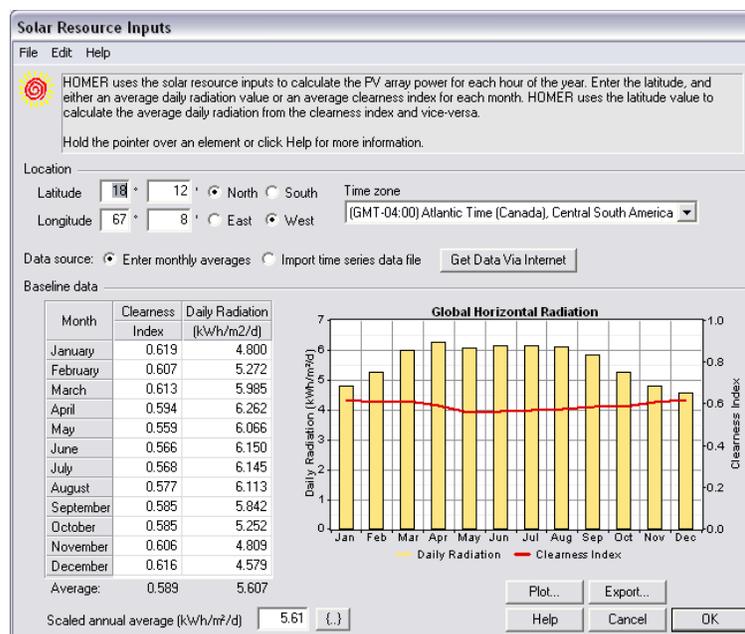


Figura 6.1 Cálculo de la irradiación solar con HOMER[®]

Con una irradiación promedio anual de $5.61 \text{ kW}\cdot\text{hr}/\text{m}^2/\text{día}$ y la eficiencia del panel de 12.7% se obtiene la producción diaria por área de panel con la siguiente formula:

$$eff \times irr = kW \cdot hr \cdot día / m^2$$

$$0.127 \times 5.61 = 0.712 kW \cdot hr \cdot día / m^2$$

Utilizando la carga anual promedio diaria de electricidad (consumo diario) y la producción diaria por área de panel, se obtiene el área de panel necesario para cubrir la carga con la siguiente formula:

$$\text{Área panel necesaria} = \frac{\text{carga promedio diaria}}{\text{producción diaria por área panel}}$$

Utilizando como ejemplo la clasificación de Comercio 1 se tiene que el área de sistema necesario es:

$$\text{Área panel necesaria} = \frac{115 kW \cdot hr / día}{0.712 kW \cdot hr \cdot día / m^2} = 161.52 m^2$$

Dividiendo esta área total de sistema por el área del panel a utilizar se obtiene la cantidad de paneles necesarios para cubrir el 100% de la carga.

$$\# \text{ paneles} = \frac{\text{área total sistema}}{\text{área panel}} =$$

$$\# \text{ paneles} = \frac{161.52m^2}{1.563m^2} = 103.4 \text{ paneles} \approx 104 \text{ paneles}$$

Por lo tanto, para cubrir el 50% de la carga comercial asumida se necesitan 52 paneles de 200W que equivalen a un sistema de 10.4kW. Como resultado para el caso de Comercio 1 se utilizó un sistema de 10kW con un total de 50 paneles de 200W. En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos para cada una de las clasificaciones.

Tabla 6.3 Sistema seleccionado por clasificación de comercio

Clasificación	Consumo Diario (kW-hr/día)	Área Total Sistema (m ²)	Cantidad Paneles	Cantidad Paneles (50%)	Sistema (kW)	Sistema Seleccionado (kW)
Comercio 1 ¹¹³	115	161.52	104	52	10.4	10
Comercio 2 ¹¹⁴	250	350.89	225	113	22.6	21.6
Comercio 3 ¹¹⁵	450	631.6	404	202	40.4	21.6, 43.2
Comercio4/ Industrial ¹¹⁶	1850	2597	1662	831	166.2	20, 40,100

Para el caso de Comercio 3 y Comercio 4/ Industrial se seleccionaron más de un sistema porque el rango de valores de área promedio es bastante amplio y así se evalúan con más certeza para los distintos casos. Por ejemplo, en el caso de Comercio 4/ Industrial un edificio con área promedio cerca de los 25,000 pies cuadrados puede escoger un sistema de 20 kW y beneficiarse, mientras una fábrica tiene la capacidad financiera, el área disponible y vería resultados tangibles utilizando sistemas de 100kW. A continuación se muestra un ejemplo de cómo se utilizó el

¹¹³ Área construcción: 1,000-5,000 p²

¹¹⁴ Área construcción: 5,001-10,000 p²

¹¹⁵ Área construcción: 10,001-24,999 p²

¹¹⁶ Área construcción: 25,000-100,000 p²

programa HOMER[®] para realizar el análisis económico de las distintas categorías antes descritas. Ésto mostrando los datos de entrada utilizados, algunos manualmente y otros calculados por el programa, para poder generar dicho análisis.

6.2.2 Ejemplo de análisis de alternativas en HOMER[®]¹¹⁷

En la sección anterior se determinaron los sistemas a utilizar para cada clasificación y se mostró el cálculo realizado por el programa para determinar la irradiación promedio para el lugar descrito. Otros datos importantes para determinar antes de que HOMER[®] corriera su análisis de optimización eran el tipo de inversor a utilizar para cada sistema con sus respectivas características, el costo de electricidad para cada sector y parámetros para el análisis financiero como lo son el por ciento de interés real y la vida útil del sistema.

Al igual que al seleccionar el tipo de sistema fotovoltaico a analizar, para los inversores se seleccionó un tipo en específico para así utilizar sus características. Estos son necesarios en la composición de sistemas para realizar la conversión de DC a AC que se puede utilizar en los equipos de una casa, comercio o industria. El inversor seleccionado es un Fronius IG Plus 10.0-1 recomendado por el fabricante de los paneles Evergreen. Sus características son las siguientes:

Tabla 6.4 Características del inversor [Fronius International, 2010]

Potencia de Salida Nominal	9995 W
Eficiencia	95.5%
Tamaño Mínimo de Arreglo Fotovoltaico	8813 W
Tamaño Máximo de Arreglo Fotovoltaico	11590 W

¹¹⁷ Esta sección está basada en la metodología utilizada en la referencia Dávila J, 2008

En cuanto a los costos de electricidad se utilizaron los costos por consumo promedio dados por la Autoridad de Energía Eléctrica para Julio de 2010 (Tabla 6.5). También, se tomó en consideración la medición neta, donde la Autoridad compra la electricidad generada en exceso por el cliente a 0.10 \$/kW-hr hasta un máximo diario de 300kW-hr para el sector residencial y 10MW-hr para el sector comercial.

Tabla 6.5 Costo de electricidad promedio en P.R.

Sector	Costo
Residencial	0.23 \$/kW-hr
Comercial	0.236 \$/kW-hr
Industrial	0.19 \$/kW-hr

Los parámetros para el análisis financiero que se tomaron en consideración fueron la vida útil de 25 años del sistema fotovoltaico, el 7% de interés nominal en promedio para un préstamo personal, el 4.95% de interés del préstamo rotativo (Sección 4.8.8) que le ofrece el gobierno local a las pequeñas y mediana empresas y el 6% de la tasa inflación [BGF, 2010].

Una vez obtenidos estos datos, se introdujeron en las hojas de entrada del programa basadas en los equipos seleccionados a considerar. El esquemático diseñado por el programa según los equipos seleccionados por el usuario se muestra en la Figura 6.2.

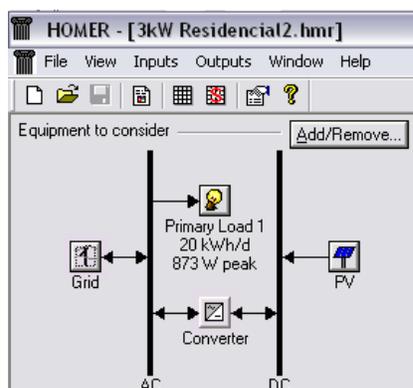


Figura 6.2 Esquemático de HOMER[®] del sistema escogido

6.2.2.1 Grid

Para entrar la información de la red de la AEE se presiona el icono de “Grid” del esquemático mostrado en la Figura 6.2. En esta pantalla el programa pide datos como el costo de electricidad en kilovatio-hora (Tabla 6.5), el precio de la venta de electricidad no consumida por medio de la medición neta y el costo por demanda por la carga contratada si aplica. En la Figura 6.3 se muestra los resultados de “Grid”. Presionando el botón de “edit” se abre la pantalla donde se entran los datos a ser utilizados por la red, Figura 6.4. Al lado derecho del icono de “grid power price” se puede observar un corchete con un número 3, estos es debido a que se introdujo el precio promedio residencial más dos valores de \$0.25/kW-hr y \$0.30/kW-hr para comparar como cambia el análisis según sube el precio de la electricidad.

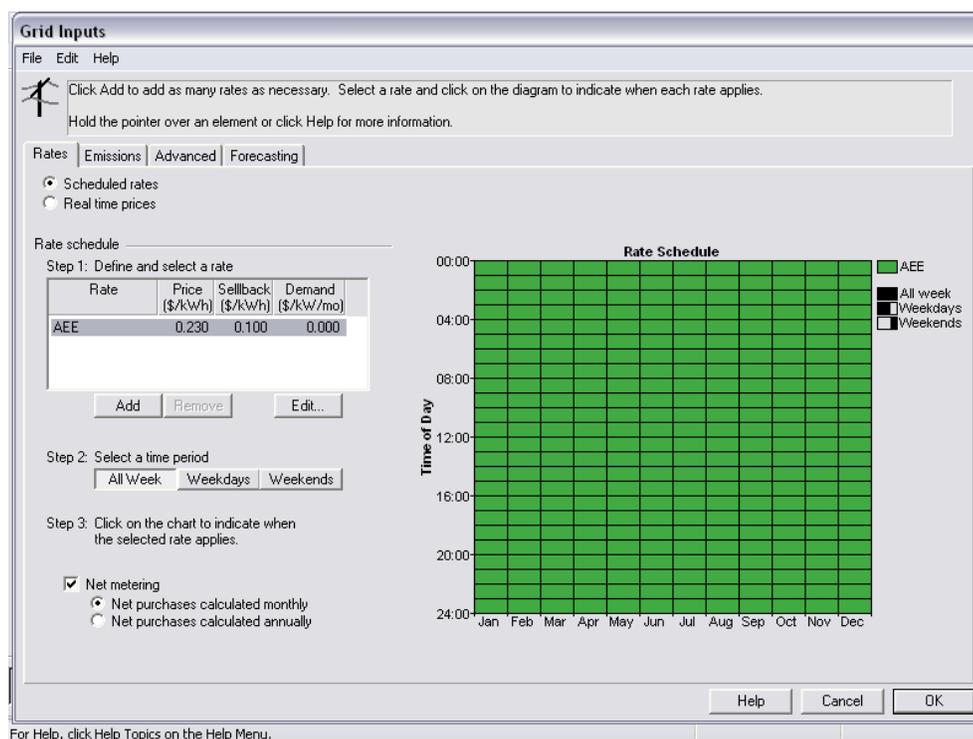


Figura 6.3 Resumen de datos de la red de HOMER®

Rate Properties

Enter a name for this rate period, and the corresponding power price, sellback rate, and demand rate.
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: Color:

Grid power price (\$/kWh): {3}

Sellback rate (\$/kWh): {..}

Demand rate (\$/kW/month): {..}

This rate applies:

Months	Days	Hours
Jan-Dec	All week	00:00-24:00

Help Cancel OK

Figura 6.4 Hoja de entrada de datos de la red de HOMER[®]

6.2.2.2 *Primary Load*

El concepto de carga primaria significa que las cargas eléctricas deben ser suplidas según la demanda. En este caso es la carga eléctrica promedio consumida mensualmente por el cliente. En el caso del sector residencial se asumió una carga promedio mensual de 600kW-hr, en el caso comercial e industrial se asumieron las cargas descritas en la Tabla 6.1. En la Figura 6.5 se muestra la hoja de entrada de “*Primary Load*” donde se introdujeron los valores de la carga promedio por hora para los distintos meses del año que serían obtenidos de una auditoría energética tanto para los días de la semana como los fines de semana. En una auditoría energética se evalúan los equipos de la propiedad que se encuentran encendidos y a las horas que estos son utilizados. Para propósitos de este proyecto, se escogió una carga promedio por hora en base al consumo promedio mensual y se mantuvo constante durante todas las horas del día. En base a los datos entrados el programa calcula la carga promedio diaria y la carga pico.

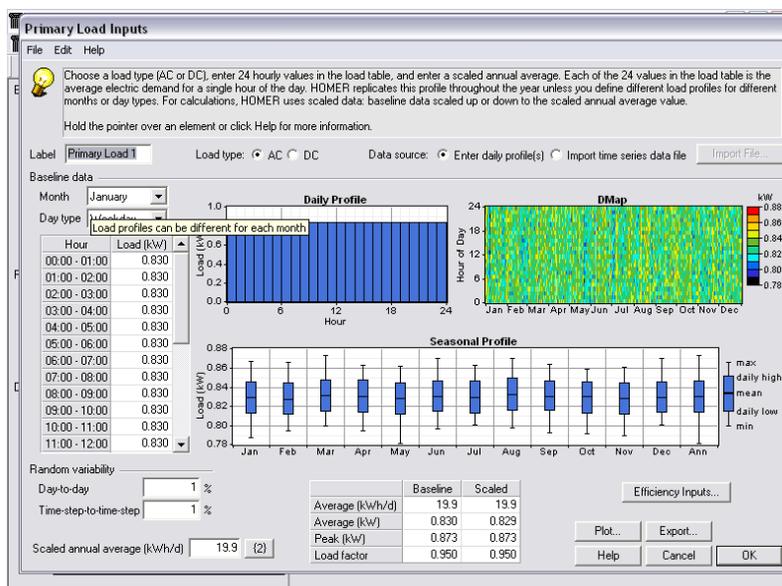


Figura 6.5 Hoja de entrada de datos de carga primaria en HOMER[®]

6.2.2.3 PV

Al seleccionar el icono de PV se abre una pantalla como la mostrada en la Figura 6.6 donde se entran los datos de costos, los cuales incluyen los datos de compra e instalación del equipo luego de aplicado el incentivo estatal del 60% para el sector residencial y el 50% para el sector comercial e industrial (Sección 4.8.9). El cálculo se hizo para un equipo genérico de 1 kW para así ser multiplicado por cualquier tamaño dependiendo del caso en estudio. Ésto es una presunción realizada para el estudio pero cabe señalar que éstos precios no serán tan precisos como si se calcularan para cada caso individual porque los precios de los fotovoltaicos no varían linealmente, mientras más grande menor el precio por vatio. En tamaño a considerar se entra el tamaño del equipo que se está considerando o si son más de un tamaño se entran en esta opción. En propiedades se entran la vida útil del equipo que son 25 años (garantía del fabricante), la devaluación energética estimada (la devaluación se espera sufra el panel a lo largo de su vida útil que se considera es un 80%), el ángulo

al que se va a instalar los paneles, y otros datos característicos de todo panel fotovoltaico.

PV Inputs
File Edit Help

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the PV (photovoltaic) system, including modules, mounting hardware, and installation. As it searches for the optimal system, HOMER considers each PV array capacity in the Sizes to Consider table.

Note that by default, HOMER sets the slope value equal to the latitude from the Solar Resource Inputs window.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	D&M (\$/yr)
1.000	2315	0	0

Buttons: {..} {..} {..}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
3.000

Cost Curve

Graph showing Cost (000 \$) vs Size (kW). The x-axis ranges from 0.0 to 3.0 kW, and the y-axis ranges from 0 to 6 (000 \$). A red line represents Capital cost, and a blue line represents Replacement cost. The Capital cost line starts at (0,0) and increases linearly to approximately (3.0, 6.0). The Replacement cost line is a horizontal line at approximately 0.5 (000 \$).

Properties

Output current: AC DC

Lifetime (years): 25 {..}

Derating factor (%): 80 {..}

Slope (degrees): 18.2 {..}

Azimuth (degrees W of S): 0 {..}

Ground reflectance (%): 20 {..}

Advanced

Tracking system: No Tracking

Consider effect of temperature

Temperature coeff. of power (%/°C): -0.5 {..}

Nominal operating cell temp. (°C): 47 {..}

Efficiency at std. test conditions (%): 13 {..}

Buttons: Help Cancel OK

Figura 6.6 Hoja de entrada de fotovoltaico en HOMER®

6.2.2.4 Converter

El programa le llama convertidor (“*converter*”) tanto a los inversores como a los rectificadores (“*rectifier*”). La diferencia está en que el primero es un equipo que cambia la electricidad DC a AC mientras el segundo cambia la electricidad de AC a DC. En el caso de éste proyecto sólo se utilizarán inversores. Presionando el icono de “*converter*” en el esquemático del sistema se entra a la hoja de datos donde se introdujeron el costo del equipo, que incluye costo del equipo e instalación, y reemplazo si alguno. En tamaño del equipo se entraron los tamaños de inversores a considerar, en los datos del inversor se entraron la vida útil del equipo y la eficiencia del mismo. Los datos se muestran en la Figura 6.7, se puede observar que en reemplazo se puso un costo igual al costo inicial pero la vida útil se puso igual a la del

panel fotovoltaico. Por lo tanto, en este estudio el reemplazo del inversor no está siendo considerado para el análisis económico. Se está presumiendo que el equipo durará los 25 años de garantía del fotovoltaico.

Converter Inputs

File Edit Help

A converter is required for systems in which DC components serve an AC load or vice-versa. A converter can be an inverter (DC to AC), rectifier (AC to DC), or both.

Enter at least one size and capital cost value in the Costs table. Include all costs associated with the converter, such as hardware and labor. As it searches for the optimal system, HOMER considers each converter capacity in the Sizes to Consider table. Note that all references to converter size or capacity refer to inverter capacity.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/yr)
6.000	4244	4244	0

{.} {.} {.}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
3.000
6.000

Cost Curve

Cost (\$)

Size (kW)

— Capital — Replacement

Inverter inputs

Lifetime (years) {.}

Efficiency (%) {.}

Inverter can operate simultaneously with an AC generator

Rectifier inputs

Capacity relative to inverter (%) {.}

Efficiency (%) {.}

Help Cancel OK

Figura 6.7 Hoja de entrada de inversor en HOMER®

Existen otros parámetros de entrada que se discutieron al principio de la sección como los son los recursos financieros, las emisiones, limitaciones y control del sistema si alguno de ellos se considera. En el caso de este estudio se entraron datos en el icono financiero como se muestra en la Figura 6.8. En esta ventana se introduce la tasa de interés real que proviene de la siguiente fórmula:

$$\text{interés real} = \left(\frac{i' - f}{1 + f} \right) \% \quad [\text{HOMER, 2009}]$$

donde;

i' : interés nominal, préstamo personal al 7% o préstamo rotativo al 4.95%

f : tasa de inflación al 6%

Por lo tanto, para el caso del préstamo personal;

$$i = \left(\frac{0.07 - 0.06}{1 + 0.06} \right) = 0.0094 = 0.94\%$$

Figura 6.8 Hoja de entrada de datos financieros en HOMER[®]

El programa utiliza este interés para considerar el cambio del dólar en el valor del mercado año a año.

Una vez introducido todos los valores de entrada, se puede proseguir a oprimir el icono de “*calculate*”. Esto le da la instrucción al programa de que haga los cálculos de análisis económico y ambiental con los datos entrados por el usuario. Luego de hacer la corrida, el programa hace todas las combinaciones posibles de los equipos escogidos y los coloca de menor costo presente neto¹¹⁸ (NPC, por sus siglas en inglés) a mayor. Calcula el costo inicial del equipo, el costo de operación, que es el costo de

¹¹⁸ NPC: Net Present Cost

compra de electricidad a la AEE, y el costo de energía¹¹⁹ (COE, por sus siglas en inglés) que es el costo promedio por kilovatio de electricidad al utilizar el sistema fotovoltaico. La hoja de resultados se muestra en la Figura 6.9.

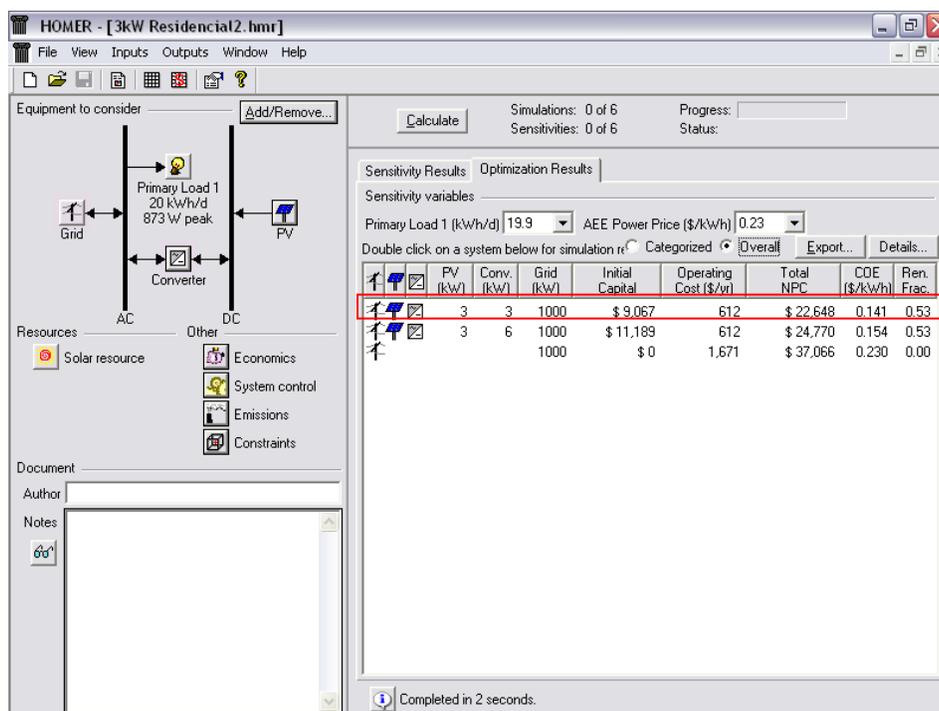


Figura 6.9 Resultados de optimización en HOMER®

Una vez realizados los cálculos, se puede escoger de la pantalla de resultados de optimización cualquiera de las alternativas para se comparada con cualquiera de las alternativas adicionales. Esto se puede hacer presionando dos veces sobre la alternativa seleccionada, el programa entonces abre otra pantalla como la que se muestra en la Figura 6.10 llamada resultados de simulación. Aquí se muestra un resumen de costos basados en el costo presente neto o anualizado, como el usuario escoja, y por componente o tipo de costo. Es en esta misma pantalla donde se pueden observar, en detalle, los resultados del análisis económico realizado por el programa.

¹¹⁹ COE: Cost of Energy,

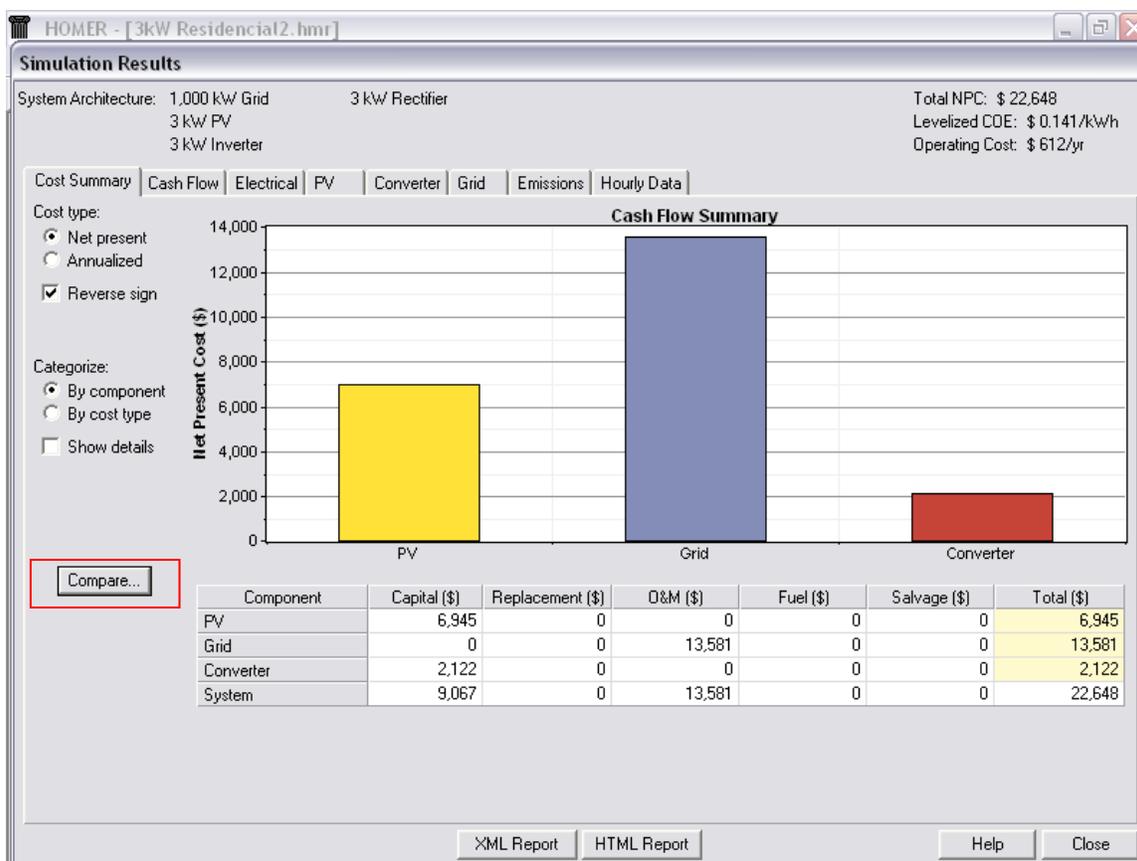


Figura 6.10 Resultados de simulación de HOMER[®]

Incluye una hoja de “*cash flow*” (Figura 6.11) donde se pueden apreciar los desembolsos realizados a lo largo de la vida útil del equipo, específicamente, costo inicial y de operación. Una hoja de “*electrical*” (Figura 6.12) donde se muestra la cantidad de la carga que es producida por el sistema y la producida por la AEE, al igual que el consumo. Una hoja de “*PV*” (Figura 6.13) donde se muestra la capacidad de sistema, la media del sistema, lo que produce al año, las horas de operación, el por ciento de penetración y el costo nivelado, entra otras cosas. En la hoja de “*converter*” (Figura 6.14) muestra valores como la pérdida de energía producida por el inversor y otros detalles. En la hoja de “*grid*” (Figura 6.15) se puede apreciar si el cliente le supe o no electricidad a la AEE y el cálculo de compras netas que es el que la

Autoridad le envía al cliente en su factura mensual y cual sería el costo que conllevarían las mismas. Por último, esta la hoja de “*emissions*” (Figura 6.16) donde se puede apreciar cual sería la cantidad de emisiones producidas en la propiedad al utilizar el sistema en estudio. El programa calcula este valor multiplicando las compras netas a la AEE por el factor de emisiones obtenido de la base de datos de la EIA para los distintos estados de E.U. Para Puerto Rico, HOMER[®] utiliza el promedio de E.U. que es 632 g/kW-hr. Este resultado se puede comparar con las emisiones si no tuviera paneles (Figura 6.17), escogiendo la alternativa de red y abriendo el ícono de emisiones.

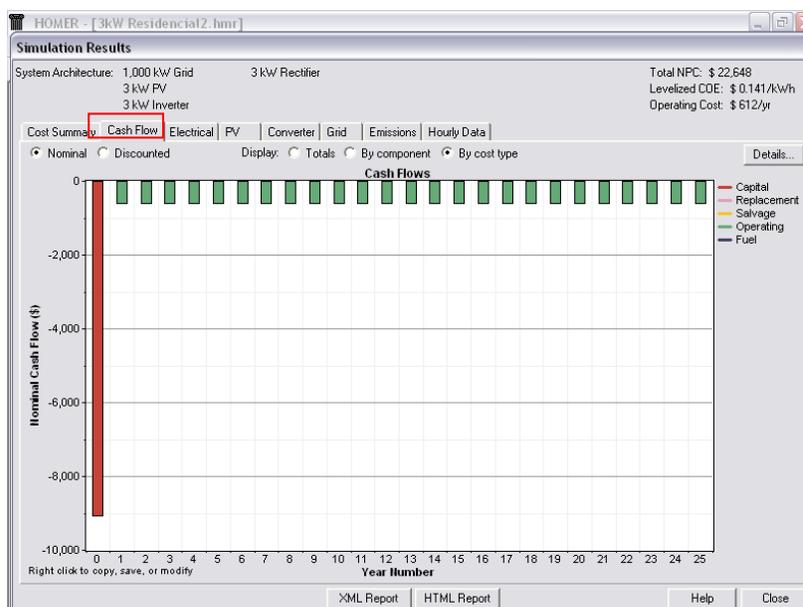


Figura 6.11 Diagrama de flujo de efectivo en HOMER[®]

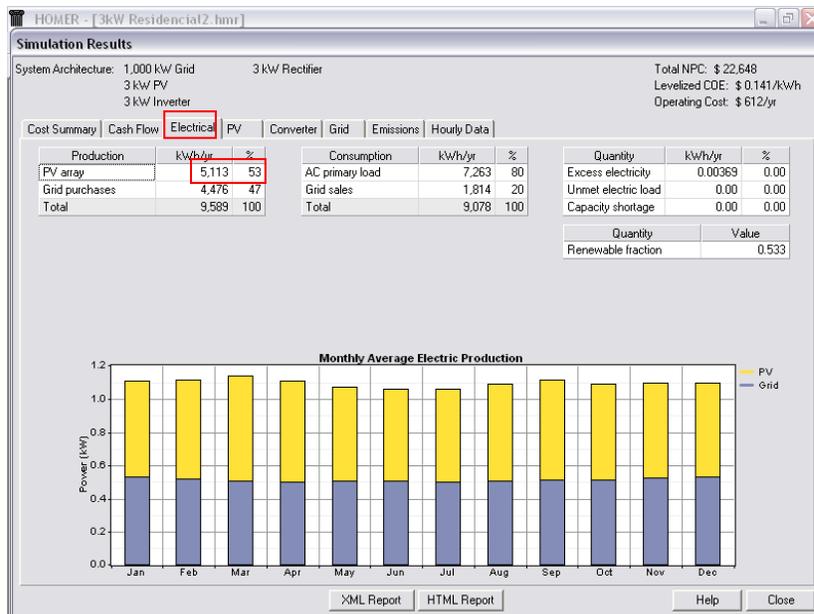


Figura 6.12 Resultados eléctricos HOMER®



Figura 6.13 Resultados PV en HOMER®

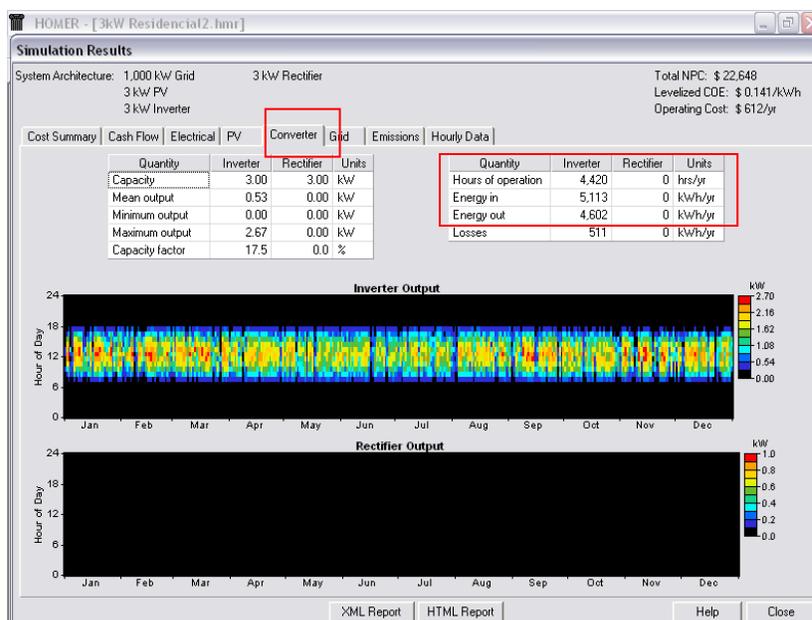


Figura 6.14 Resultados inverter en HOMER[®]

También se puede observar en el lado inferior de la pantalla de la Figura 6.10 un ícono llamado “compare”, al presionarlo abre una nueva pantalla (Figura 6.18) donde mostrará los resultados del análisis de alternativas al comparar las alternativas seleccionadas.

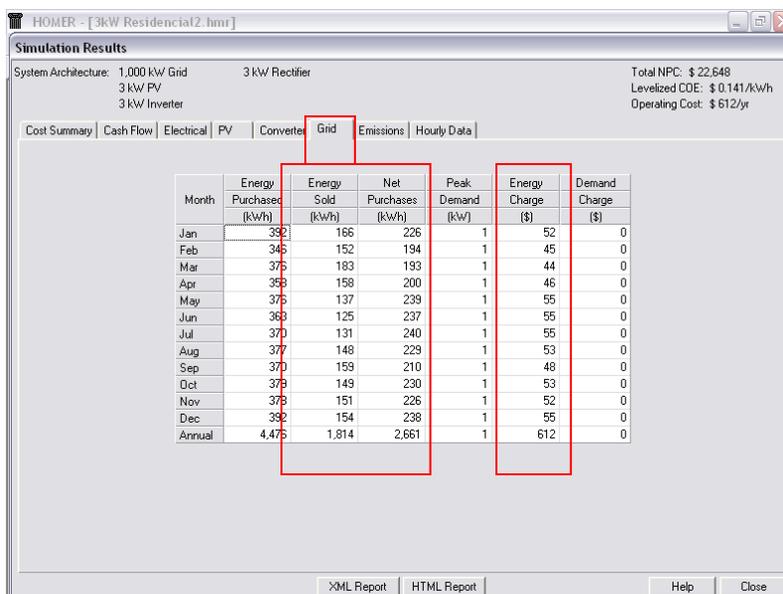


Figura 6.15 Resultados de la red en HOMER[®]

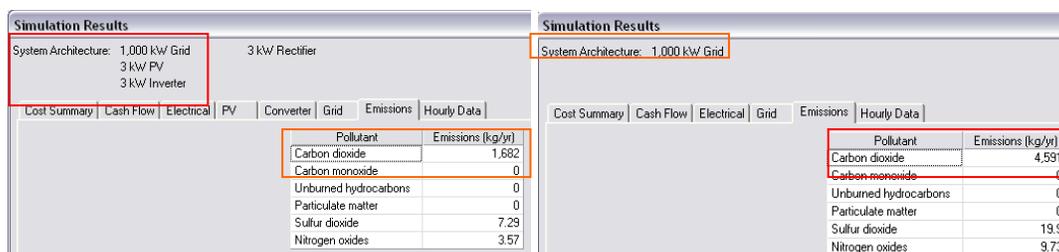


Figura 6.16 Emisiones con PV en HOMER®

Figura 6.17 Emisiones sin PV en HOMER®

En el caso del ejemplo el sistema actual es el panel fotovoltaico de 3 kW conectado a la red, para compararlo se escogió la alternativa de la red sólo como caso base. Luego el sistema los compara entre si y le da al usuario resultados como la tasa de retorno de la inversión, es la tasa de descuento en la cual el valor presente neto del caso base y el sistema actual se igualan, al igual que el valor de recuperación simple, una métrica muy importante para los usuarios ya que pueden determinar cuando recuperaran la inversión y el de descuento. También, da el valor presente, que el programa lo define como la diferencia del costo presente neto del caso base y el sistema actual. El signo indica si el sistema actual compara favorablemente como una opción de inversión con el sistema base. Si es positivo se debe hacer la inversión.

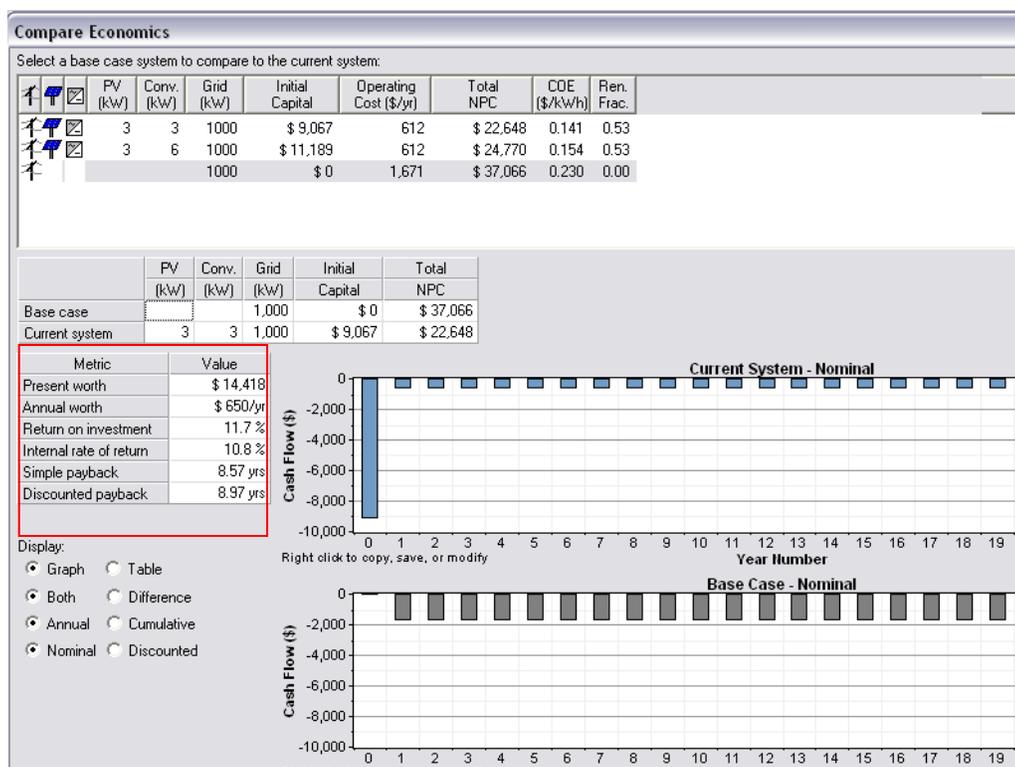


Figura 6.18 Resultado de análisis de alternativa en HOMER[®]

6.2.3 Resultados del análisis económico realizado en todos los sectores

En la sección anterior se mostró un ejemplo de cuales fueron los datos introducidos en HOMER[®] y cuales fueron los resultados obtenidos para el caso de una instalación en una residencia promedio. Este mismo proceso se realizó para cada uno de los casos propuestos para el sector comercial e industrial si se hiciera la instalación en una propiedad del tipo correspondiente. Al realizar el análisis con el programa se comprobó que los sistemas calculados en la Sección 6.2.1 para el sector comercial e industrial, que estaban en el rango de 10kW a 100kW dependiendo del área promedio que ocupará la propiedad (Tabla 6.1 y 6.3), eran suficientes para cubrir la métrica establecida de cubrir cerca del 50% de la carga eléctrica de la propiedad. En la siguiente tabla se mostrarán los datos más relevantes obtenidos del programa.

Tabla 6.4 Resumen de resultados en HOMER[®]

Clasificación	Tamaño Sistema (kW)	Costo Inicial (\$)	Reducción en Costo Operación (\$)	% Producción	Reducción Emisiones CO ₂ (kg/año)	Valor Actual (\$)	Tasa Retorno Inversión (%)	Recuperación Simple (años)
Residencial	3	9,067	1,059	53	2,909	14,418	11.7	8.57
Comercial 1 ¹²⁰	10	30,223	4,019	39	10,764	58,956	13.3	7.52
Comercial 2 ¹²¹	21.6	64,151	8,682	39	23,249	128,473	13.5	7.39
Comercial 3 ¹²²	21.6	64,151	8,435	23	23,169	123,008	13.1	7.6
	43.2	128,302	16,867	42	46,338	245,935	13.1	7.61
Comercial4/ Industrial ¹²³	20	60,446	6,464	5	21,452	82,989	10.7	9.35
	40	120,891	12,914	10	42,905	165,640	10.7	9.36
	100	302,226	32,262	26	107,264	413,593	10.7	9.37

Se puede observar que el por ciento de producción se aleja del 50% en el caso de comercial 3 con instalación de 21.6 kW y comercial 4 con instalación de 20kW y 40kW. Como quiera se incluyeron en el análisis por que en estas dos categorías el rango de áreas de techo incluidas es bien amplia, desde 10,000 – 24,999 pies cuadrados y 25,000 – 100,000 pies cuadrados. Significa que los establecimientos cerca del límite inferior pueden utilizar estos sistemas y tener beneficios. Como quiera el tiempo de recuperación de la inversión fue el mismo para la clasificación aunque las inversiones fueran menores. En las Figuras 6.19-6.23 se muestra de manera gráfica el flujo de dinero acumulado a lo largo de la vida útil del equipo. Estas gráficas están basadas en la diferencia en costos entre el tener el sistema fotovoltaico y no tenerlo. El año en que cambian de un valor negativo a positivo denotan el momento en el que la inversión es recuperada en comparación a la inversión en el sistema eléctrico.

¹²⁰ Área construcción: 1,000-5,000 p²

¹²¹ Área construcción: 5,001-10,000 p²

¹²² Área construcción: 10,001-24,999 p²

¹²³ Área construcción: 25,000-100,000 p²

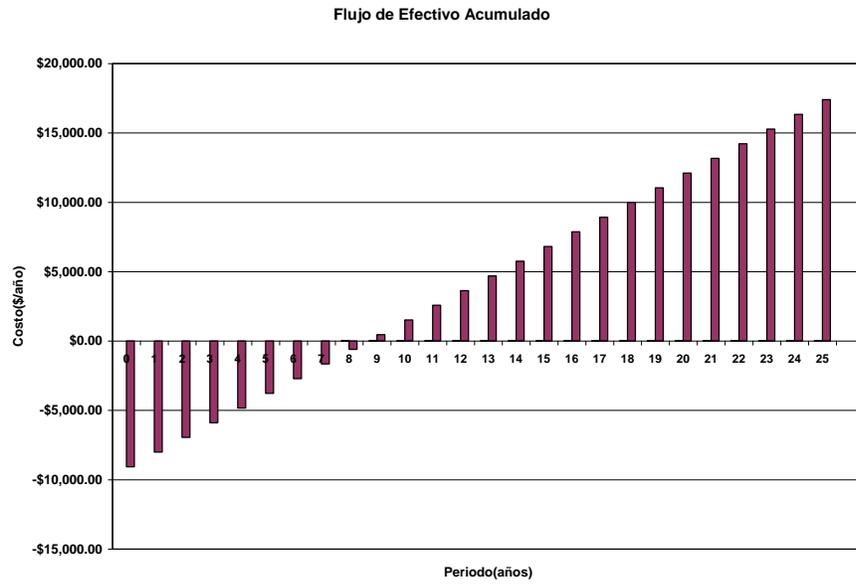


Figura 6.19 Flujo de efectivo acumulado en proyecto residencial

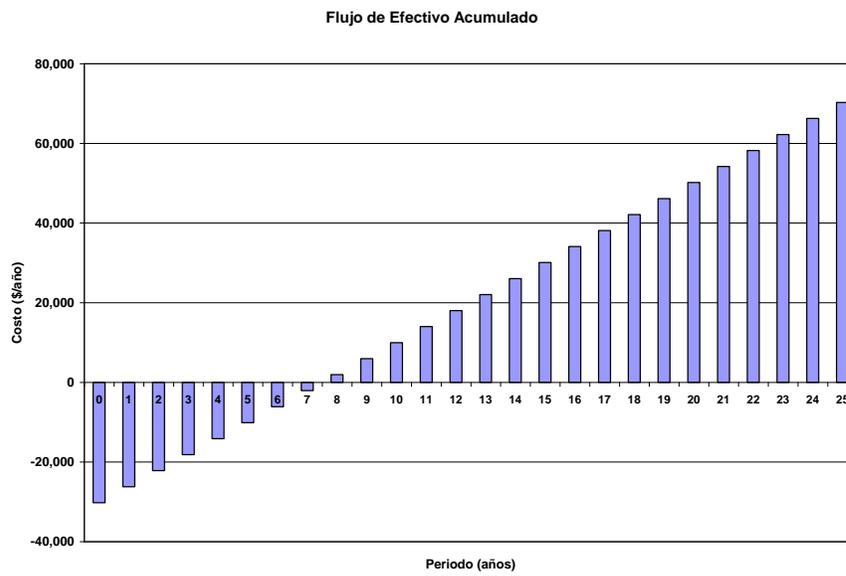


Figura 6.20 Flujo de efectivo acumulado en proyecto comercial 1(1,000-5,000 p²)

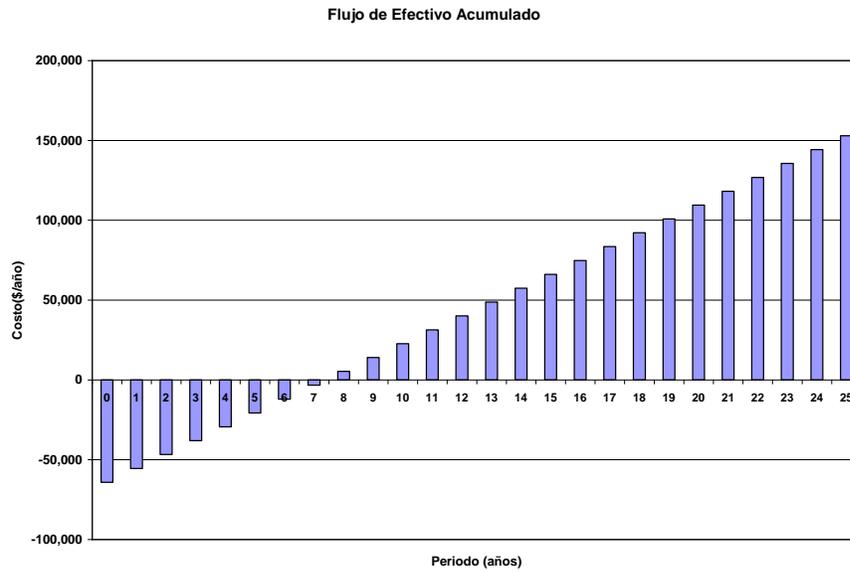


Figura 6.21 Flujo de efectivo acumulado proyecto comercial 2 (5,001-10,000 p²)

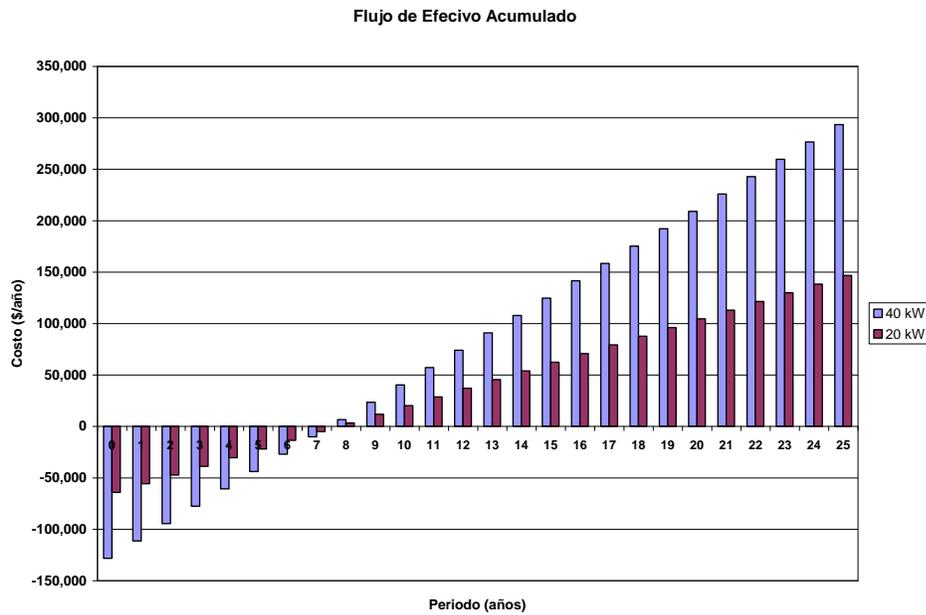


Figura 6.22 Flujo de efectivo acumulado proyecto comercial 3 (10,000-24,999 p²)

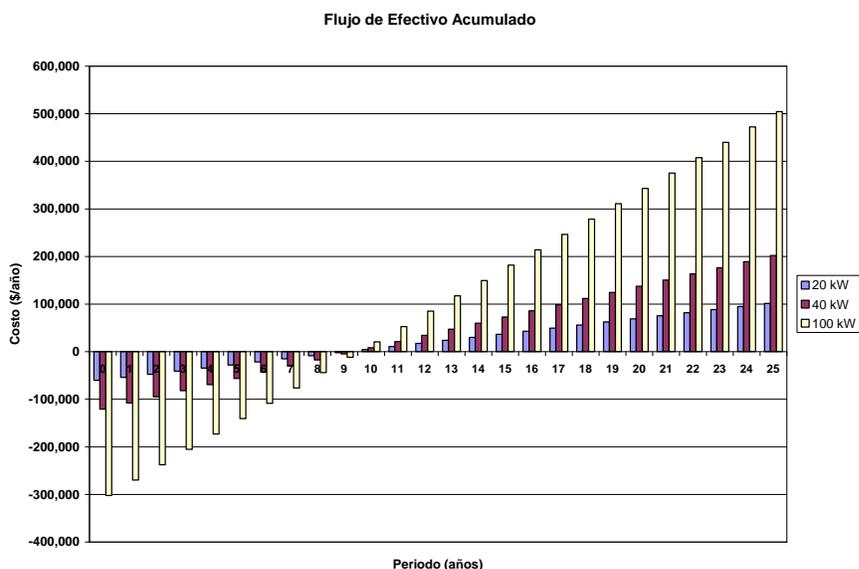


Figura 6.23 Flujo de efectivo acumulado proyecto comercial 4/ industrial (25,000-100,000 p²)

Ya calculados estos valores para cada caso en particular, se prosiguió a extrapolar los datos a nivel del municipio (Tabla 6.6) para realizar el análisis económico del potencial calculado para cada sector en la ciudad. Este análisis está basado en la presunción de que no es posible saber cuántos y que tipo de edificios harán las instalaciones solares. Se utilizó la producción por área del sistema como resultado del análisis realizado por HOMER para determinar el potencial de producción por sector. Se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$Pr od \text{ \acute{a}rea} = \frac{producci\acute{o}n \text{ sistema}(kW.hr / a\acute{n}o)}{\acute{a}rea \text{ sistema}(p^2)}$$

$$Potencial \text{ prod} = \acute{a}rea \text{ total a utilizar}(p^2) \times Pr od \text{ \acute{a}rea}(kW.hr / a\acute{n}o / p^2)$$

Utilizando como ejemplo el sector residencial 1 se obtiene que la producci3n por \acute{a}rea es:

$$Pr od \text{ \acute{a}rea} = \frac{5,113}{252.3} = 20.3kW.hr / a\acute{n}o / p^2$$

Entonces el potencial de producci3n ser3a:

$$\text{Potencial prod} = 11,871,000 \times 20.3 = 238,748,526 \text{ kW.hr / año}$$

A continuación se resumen los resultados obtenidos para cada sector.

Tabla 6.6 Potencial de Producción Anual por Sector

Sector	Sistema (kW)	Producción por Sistema (kW-hr/año)	Producción por Área (kW-hr/año/p ²)	Potencial de Producción (kW-hr/año)
Residencial 1 ¹²⁴	3	5,113	20.3	238,748,526
Residencial 2 ¹²⁵				132,685,694
Residencial 3 ¹²⁶				185,717,110
Comercial 1 ¹²⁷	10	17,834	21.2	10,147,546
Comercial 2 ¹²⁸	21.6	38,521	21.2	29,815,253
Comercial 3 ¹²⁹	21.6	38,387	21.1	268,711
	43.2	76,775	21.2	11,116,770
Comercial 4/Industrial ¹³⁰	20	35,544	21.1	604,248
	40	71,088	21.1	3,270,048
	100	177,720	21.1	11,729,520

Cabe señalar que en la Sección 5.2 se estableció la metodología para determinar la posible meta, en esta sección se presentará el panorama completo en base a los porcentajes de áreas cubiertas por los sistemas con sus respectivas producciones anuales y costos de inversión. Esta es una manera con la cual el municipio y el grupo a cargo del programa pueden establecer la meta a seguir.

La producción anual de electricidad en Puerto Rico para el 2009 era de 22, 700, 000,000 kW-hr [BGF, 2010]. Si se compara esto con el porcentaje poblacional que

¹²⁴ Instalaciones en el 100% de las viviendas para sistemas PV y SWH

¹²⁵ Instalaciones PV en el 50% de las residencias, SWH en el restante 50%

¹²⁶ Instalaciones PV en el 75% de las residencias, SWH en el restante 25%

¹²⁷ Área construcción: 1,000-5,000 p²

¹²⁸ Área construcción: 5,001-10,000 p²

¹²⁹ Área construcción: 10,001-24,999 p²

¹³⁰ Área construcción: 25,000-100,000 p²

representa cada municipio tenemos que la producción de electricidad aproximada de Mayagüez podría ser:

$$\text{Prod anual electricidad Mayagüez} = (22,700,000,000) \times 2.58\% = 585,660,000 \text{ kW-hr}$$

Con esta presunción se puede analizar cuanto de la energía producida por la AEE se puede desplazar por la energía producida por los sistemas solares en los distintos sectores de la ciudad dependiendo del por ciento de área de techo disponible.

A continuación, en las Figuras 6.24-6.33, se presentan las gráficas que muestran cual sería la producción solar y el costo de la inversión en base al área cubierta por los sistemas solares en el municipio para cada sector y escenario.

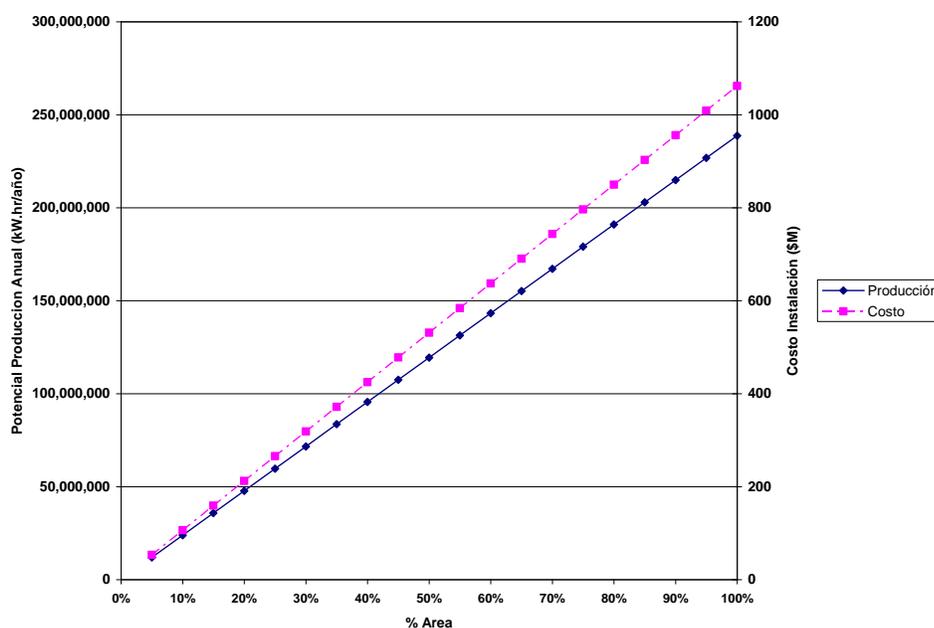


Figura 6.24 Potencial de producción anual para el sector residencial 1(100% instalación PV)

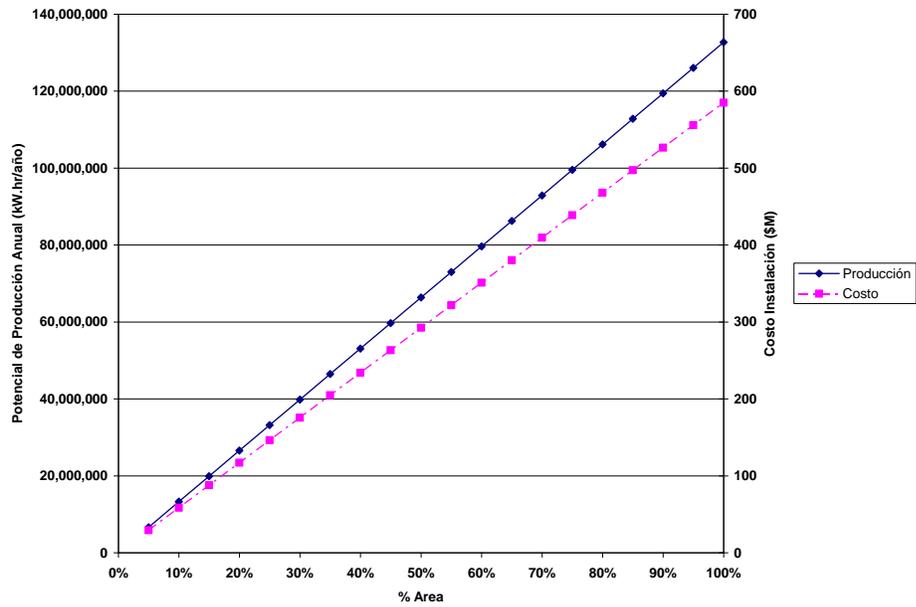


Figura 6.25 Potencial de producción anual para el sector residencial 2 (50% instalación PV)

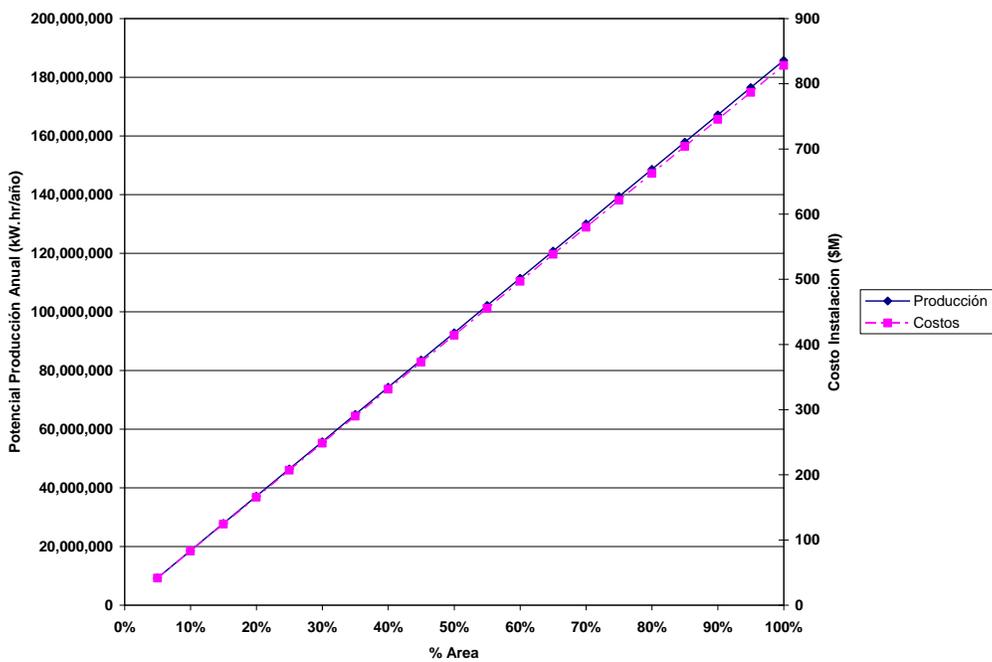


Figura 6.26 Potencial de producción anual para el sector residencial 3 (75% instalación PV)

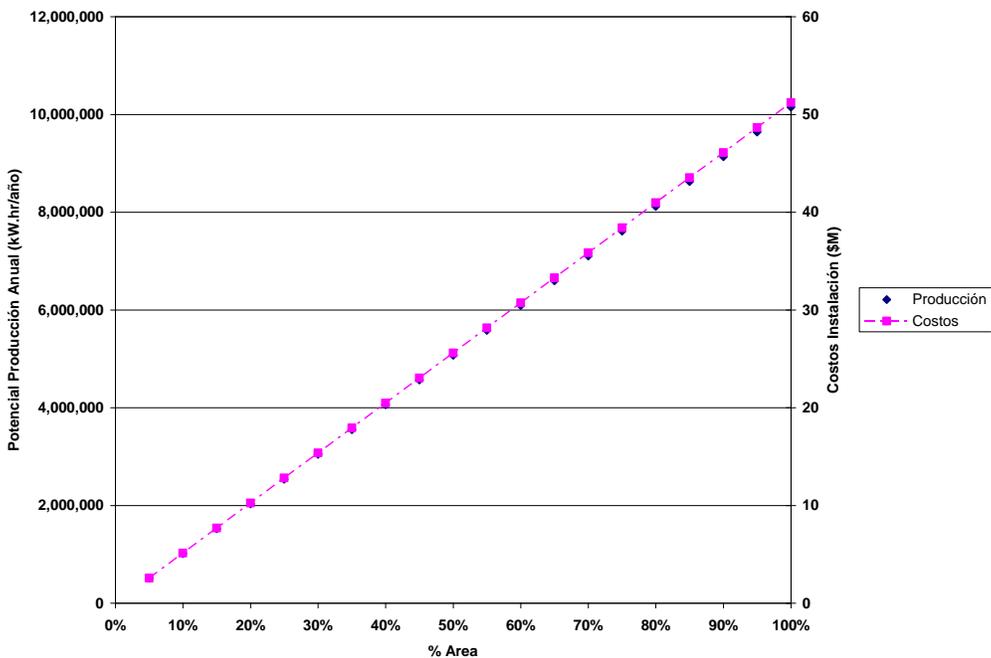


Figura 6.27 Potencial de producción anual para el sector comercial 1(1,000-5,000 p²)

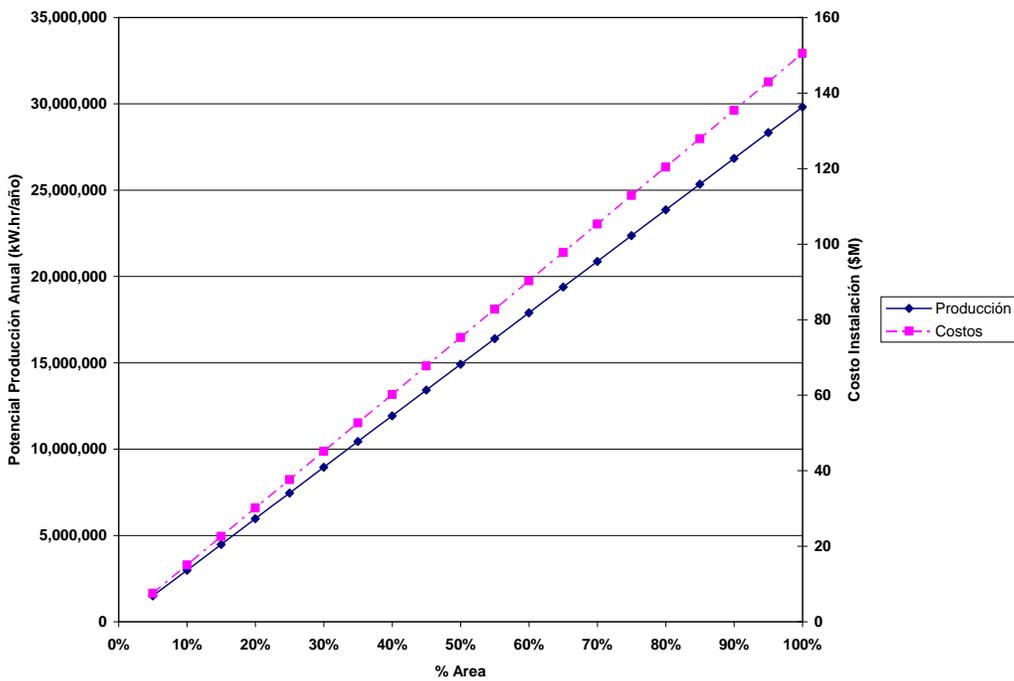


Figura 6.28 Potencial de producción anual para el sector comercial 2 (5,001-10,000 p²)

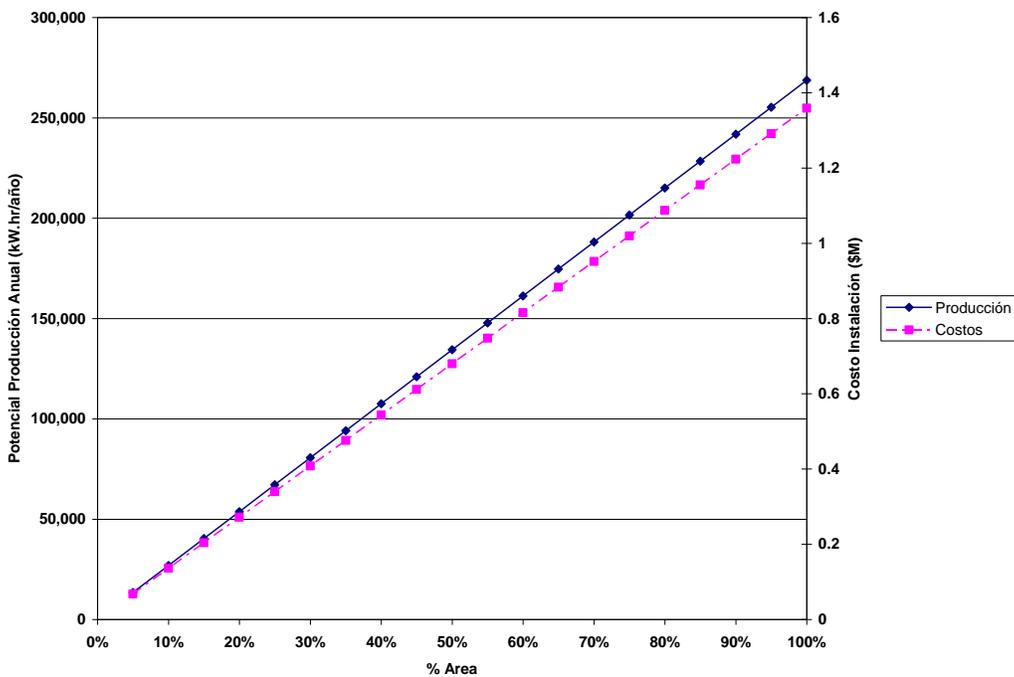


Figura 6.29 Potencial de producción anual para el sector comercial 3, 21.6kW (10,000-24,999 p²)

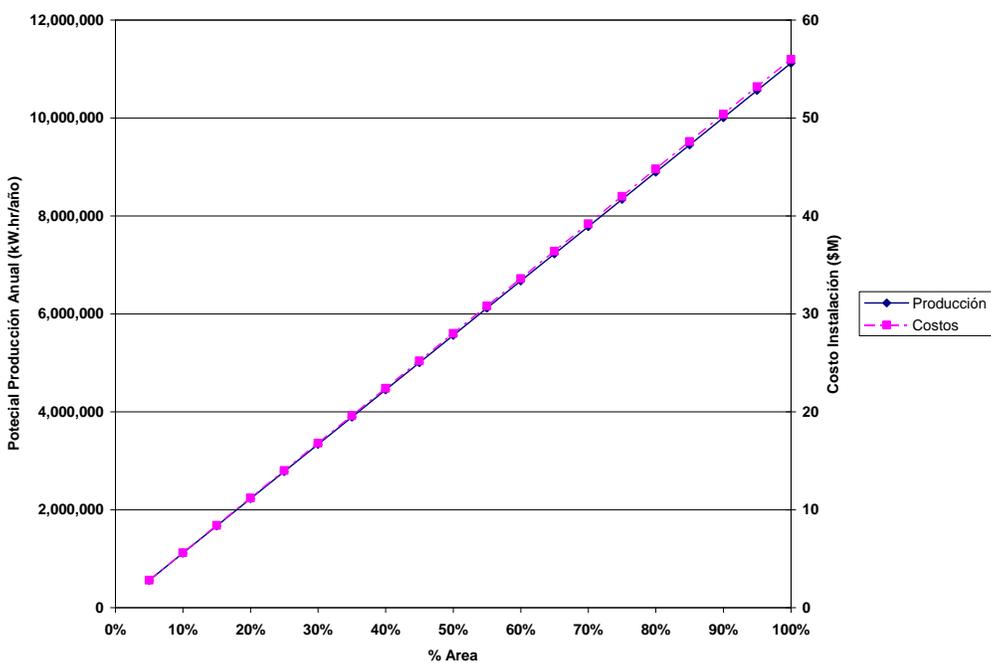


Figura 6.30 Potencial de producción anual para el sector comercial 3, 43.2 kW

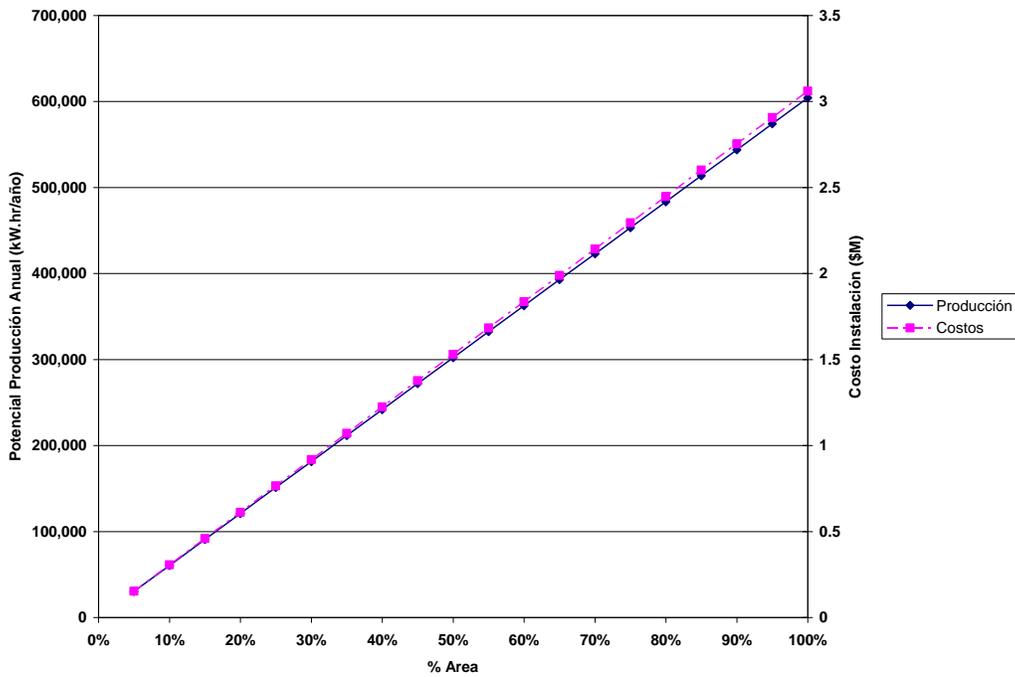


Figura 6.31 Potencial de producción anual para el sector comercial 4/ industrial,
20 kW (25,000-100,000 p²)

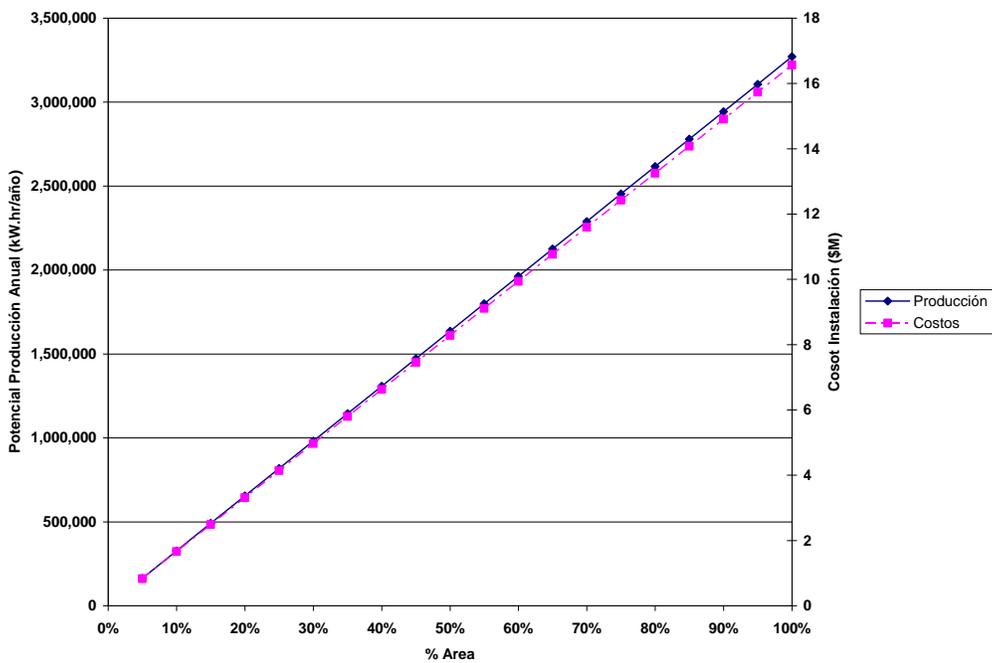


Figura 6.32 Potencial de producción anual para el sector comercial 4/ industrial, 40kW

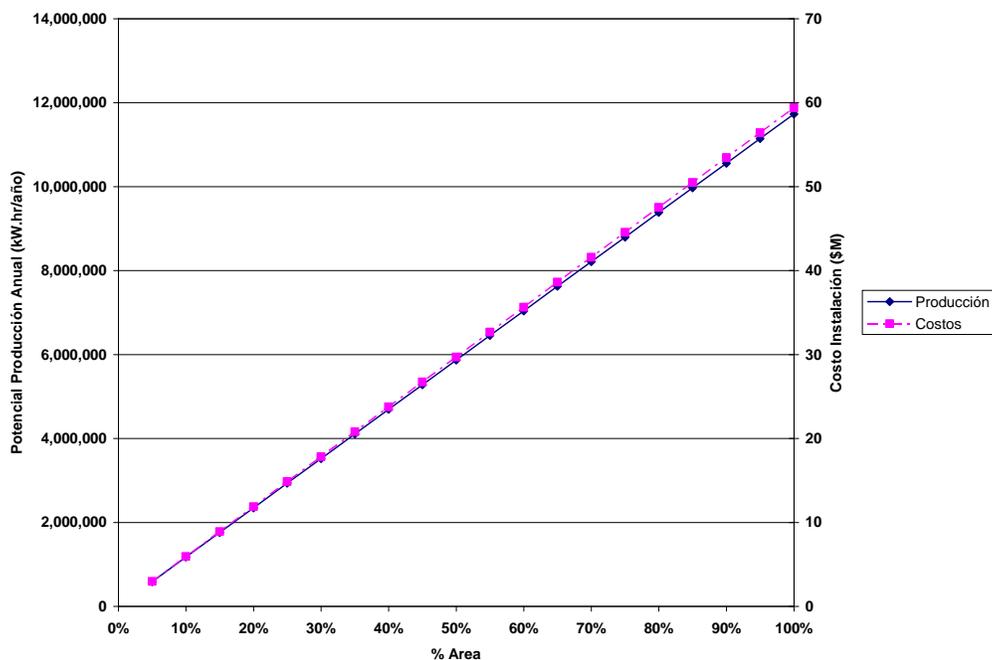


Figura 6.33 Potencial de producción anual para el sector comercial 4/ industrial, 100kW

Este tipo de gráfica le permite al municipio determinar cual sería la combinación apropiada, entre los sectores, para llevar a la meta de la ciudad. Pueden determinar cual de los sectores deben incentivar más, en que sector tienen más potencial cubriendo menos área, entre otras cosas. Es importante definir que el costo de la inversión utilizado para estas gráficas es el costo total sin incluir ningún tipo de incentivo. La razón por la cual se generaron estas gráficas con el costo total de inversión es porque están diseñadas para ser analizadas por el municipio. Como ente gubernamental, aunque los incentivos sean a nivel estatal, el municipio debe saber cual es el costo real de la inversión porque al final para proyectos privados lo que les interesa saber es el valor de la inversión y como aumentará el valor de las propiedades en la ciudad.

Una vez cubiertos todos los aspectos económicos de la implementación del programa de ciudad solar se puede proseguir a determinar cuales son los beneficios ambientales

que conlleva el programa. En la siguiente sección se discutirá brevemente el efecto de las emisiones de gases tanto a nivel ambiental como en la salud humana y se presentará la reducción en emisiones que se puede lograr con el potencial de la ciudad para cada sector.

6.3 Beneficios Ambientales

El primer beneficio ambiental se obtiene por que los sistemas fotovoltaicos no liberan contaminantes al aire ni desperdicios peligrosos debido a que no necesitan de combustibles líquidos o gaseosos para su operación. Pero, al estar interconectados a la red todavía quedan los contaminantes emitidos por la combustión del petróleo utilizado para generar la energía eléctrica de la AEE. Estas emisiones, en su mayoría dióxido de carbono (CO₂), son responsables del 82% de la emisión de gases de invernadero en los E.U. [EIA, 2008]. Los gases de invernadero son los principales responsables del calentamiento global que tanto está afectando la temperatura y condiciones climáticas a nivel mundial.

En cuestión a la salud, el aumento en temperatura está llevando a la inmigración de insectos y plagas hacia los polos, muchos de estos insectos llevan enfermedades como el dengue y la malaria, lo que está causando un aumento en muertes por éstas enfermedades. También, el aumento en temperatura está llevando a muertes por insolación y ataques al corazón debido a los olas de calor que afectan los continentes. Por último, este aumento en temperatura puede causar que las partículas de humo y los gases nocivos permanezcan en la atmósfera y creen otros contaminantes, llevando a un aumento en el riesgo de padecer enfermedades respiratorias como el asma y la bronquitis. [N. Hopwood et al., 1998]

Con la implementación de un programa de ciudad solar ya se está dando un paso adelante para combatir el calentamiento global al diversificar la energía local utilizando como fuente de generación de electricidad los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Las emisiones de gases producto de la quema de combustibles fósiles se reducirá en algún por ciento al cubrir parte de la necesidad eléctrica con los sistemas fotovoltaicos. En esta sección se mostrará un ejemplo de cuanto podría ser la reducción en emisiones para cada sector como resultado de este proyecto.

En la sección 6.2.2 se mostraron los resultados de emisiones para una instalación residencial de 3kW utilizando el programa HOMER. Este programa calcula las emisiones emitidas por todas las alternativas energéticas a considerarse lo que permite calcular la reducción en emisiones debido a la instalación solar. Presumiendo que estos números representan la cantidad de emisiones generados en cada uno de las clasificaciones, se utilizaron para determinar cual sería el total de emisiones generadas por cada sector y sus respectivas reducciones para cada clasificación como se muestra en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7 Potencial de Reducción de Emisiones CO₂

Sector	Sistema (kW)	Emisiones por Sistema (kg/año)	Emisiones por Area Sistema (kg/año/sf)	Potencial de Emisiones (kg/año)	Emisiones sin PV por unidad (kg/año)	Emisiones sin PV (kg/año)	Reduccion Emisiones (kg/año)	% Reducción
Residencial	3	1,682	6.67	78,540,000	4,591	180,288,570	101,748,570	56.4
				43,649,000		80,094,586	36,445,586	45.5
				61,094,500		120,137,288	59,042,788	49.1
Comercial 1	10	15,764	18.74	8,969,716	26,528	15,094,432	6,124,716	40.6
Comercial 2	21.6	34,421	18.95	26,641,853	57,670	44,636,580	17,994,727	40.3
Comercial 3	21.6	80,637	44.39	564,463	103,806	726,642	162,179	22.3
	43.2	57,468	15.82	8,275,372		14,948,064	6,672,692	44.6
Comercial 4/Industrial	20	405,306	240.97	6,890,202	426,758	7,254,886	364,684	5.0
	40	383,853	114.11	17,657,238		19,630,868	1,973,630	10.1
	100	319,494	37.99	21,086,604		28,166,028	7,079,424	25.1

Residencial 1:	Instalación PV y SWH en 100% de las residencias
Residencial 2:	Instalación PV en 50% de las residencias y 50% SWH en en el restante
Residencial 3:	Instalación PV en 75% de las residencias y 25% SWH en en el restante
Comercial 1:	Área construcción 1,000-5,000 p2
Comercial 2:	Área construcción 5,001-10,000 p2
Comercial 3:	Área construcción 10,001-24,999 p2
Comercial 4/Ind:	Área construcción 25,000-100,000 p2

El análisis de reducción de emisiones sólo se basó en las reducciones en CO₂ a pesar de que existen otros contaminantes por la quema de combustible y que son calculados por HOMER[®]. Esto es, porque es el dióxido de carbono el de mayor contribución al calentamiento global y el más perjudicial por sus altas concentraciones en la atmósfera.

El potencial de emisiones se obtuvo con la siguiente fórmula tomando en consideración el área de instalación potencial por sector:

$$\text{Potencial emisiones} = \text{emisiones por área} \times \text{área potencial instalación en sector}$$

$$\text{Emisiones por área} = \frac{\text{emisiones por sistema}}{\text{área sistema}}$$

Para el sector residencial, Escenario 1 sería;

$$\text{Emisiones por área} = \frac{1,682}{252.3} = 6.67 \text{ kg / año / p}^2$$

$$\text{Potencial emisiones} = 6.67 \times 11,781,000 = 78,540,000 \text{ kg / año}$$

De la misma manera, se calculó el potencial sin instalación fotovoltaica, o sea, la cantidad de emisiones generadas utilizando sólo electricidad proveniente de la AEE.

En este caso, en vez de utilizar área se utilizó la cantidad de propiedades consideradas en cada sector. Con estos datos se obtuvo la reducción en emisiones CO₂ por año y se calculó el por ciento de reducción con la siguiente formula:

$$\% \text{reducción} = \left(\frac{\text{emisiones sin PV} - \text{potencial emisiones}}{\text{emisiones sin PV}} \right) \%$$

Siguiendo el ejemplo se obtendría;

$$\% \text{reducción} = \left(\frac{180,288,570 - 78,540,000}{180,288,570} \right) \% = 56.4\%$$

Una vez calculados estos valores se prosiguió a calcular cual sería la reducción en emisiones dependiendo del por ciento de área cubierta por las instalaciones solares, como se realizó para el potencial de producción anual de electricidad por sector en la sección anterior. En las Figuras 6.34-6.43 se muestran las gráficas como resultado de este análisis.

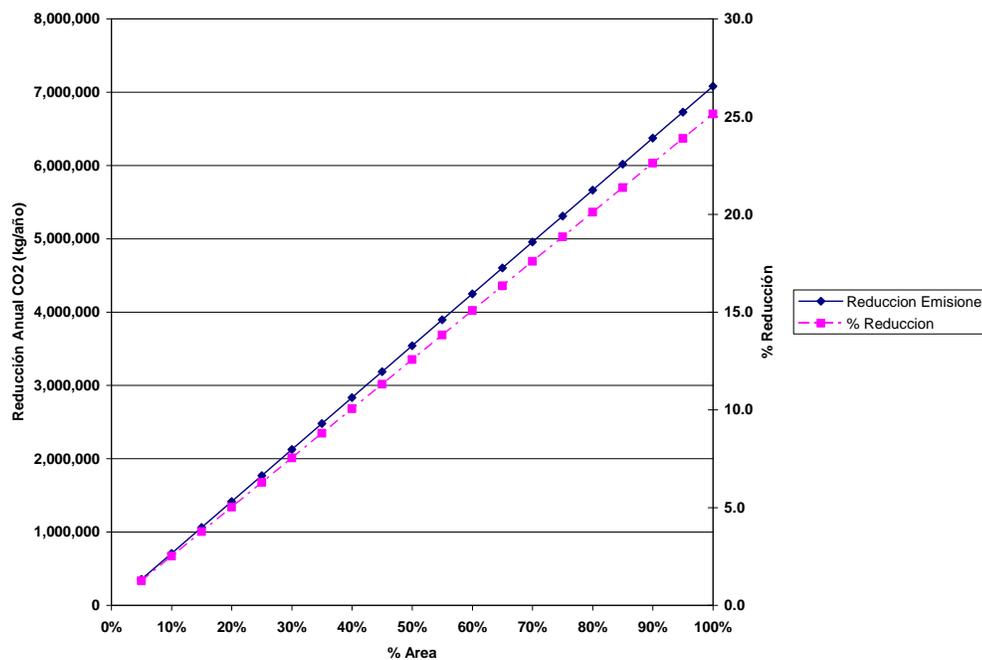


Figura 6.34 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector residencial 1(100% instalación PV)

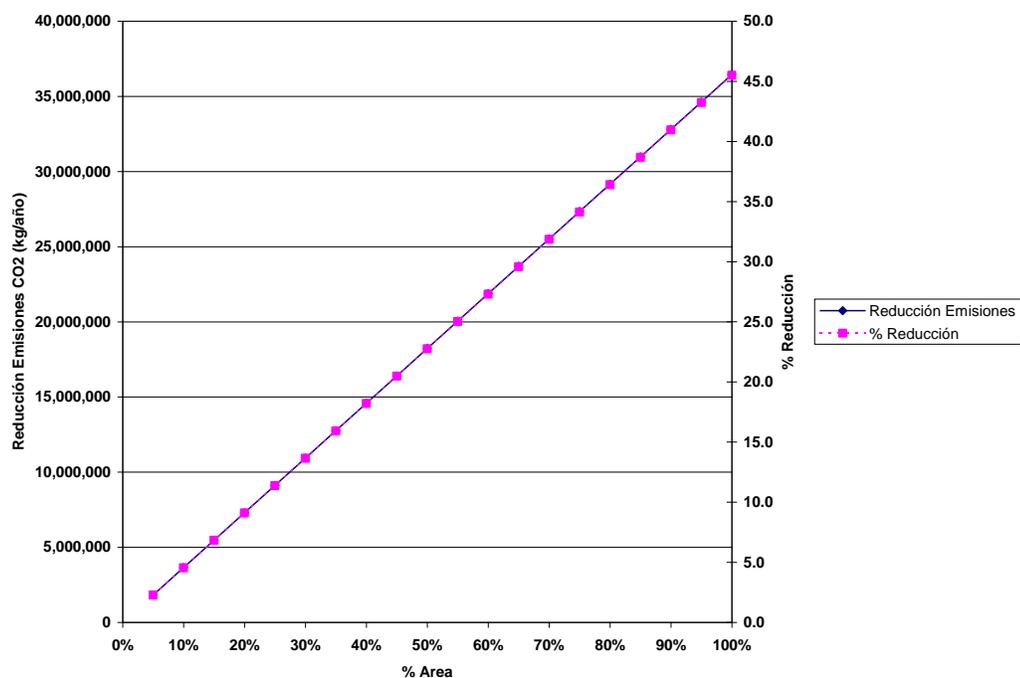


Figura 6.35 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector residencial 2 (50% instalación PV)

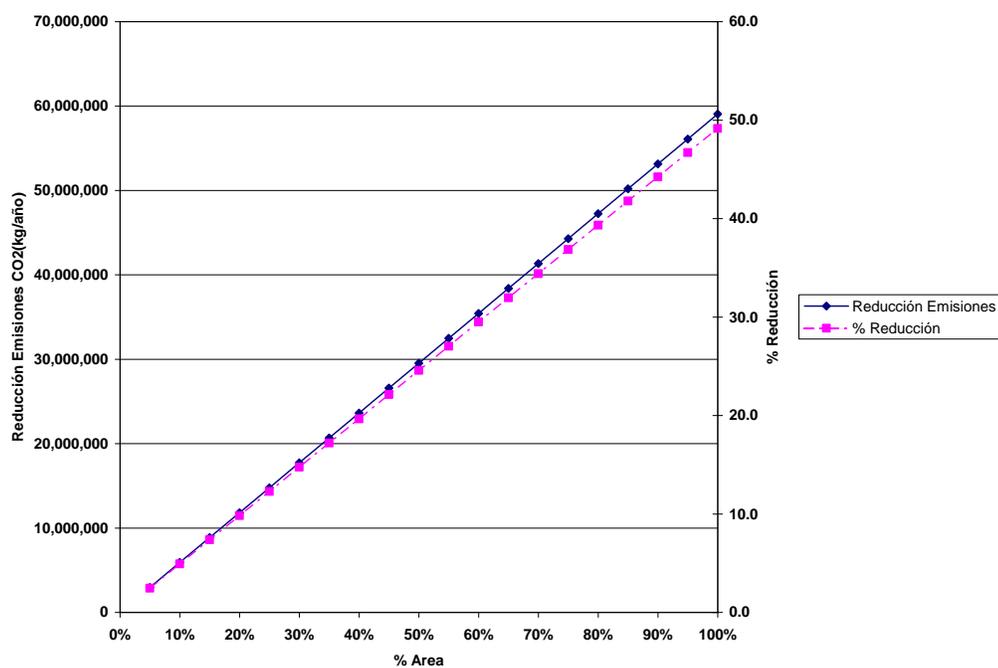


Figura 6.36 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector residencial 3 (75% instalación PV)

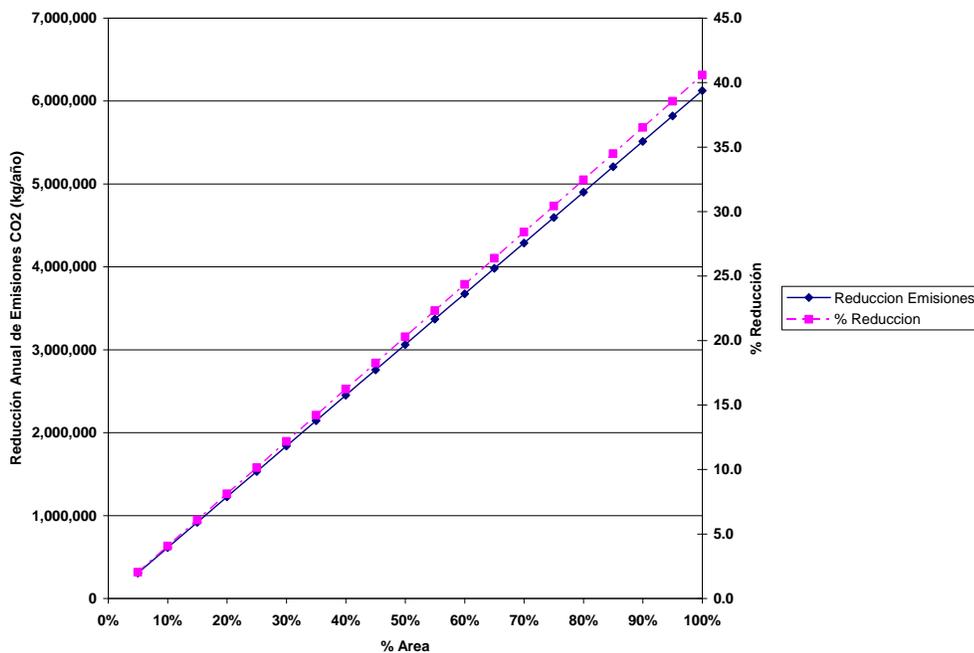


Figura 6.37 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 1 (1,000-5,000 p²)

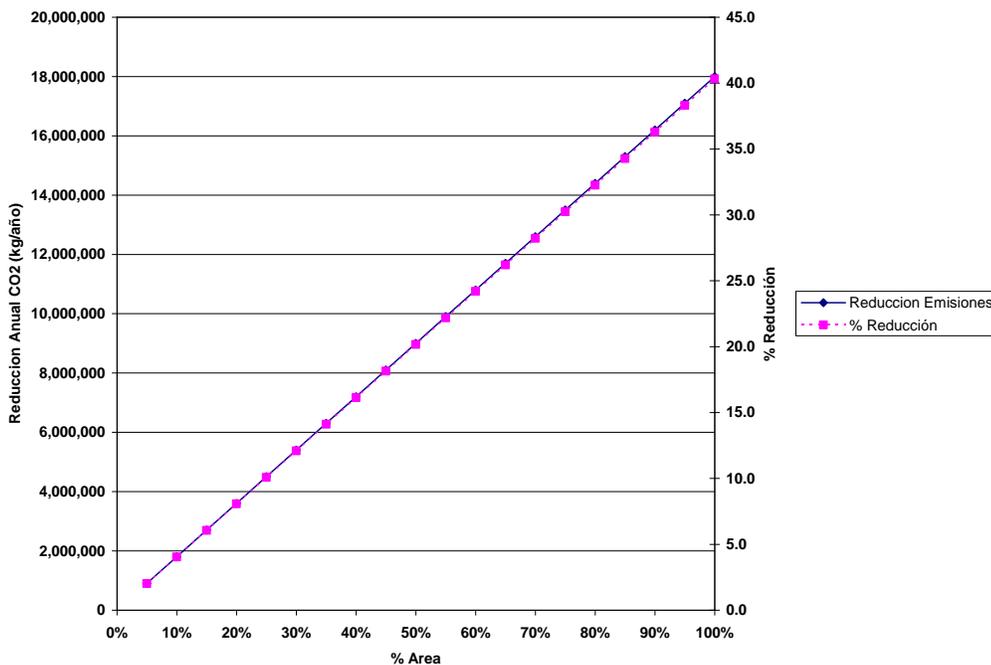


Figura 6.38 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 2 (5,001-10,000 p²)

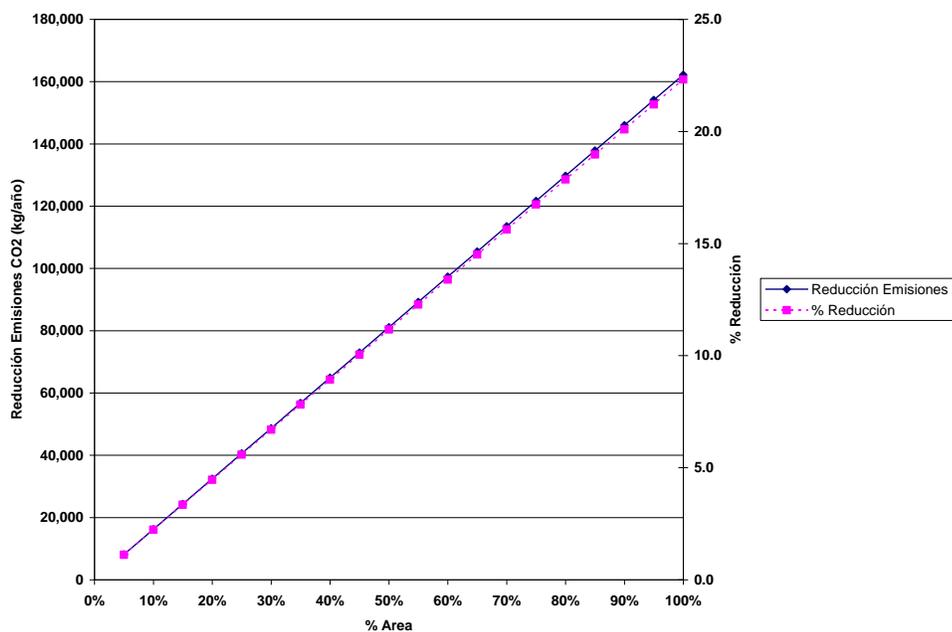


Figura 6.39 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 3, 21.3kW(10,000-24,999 p²)

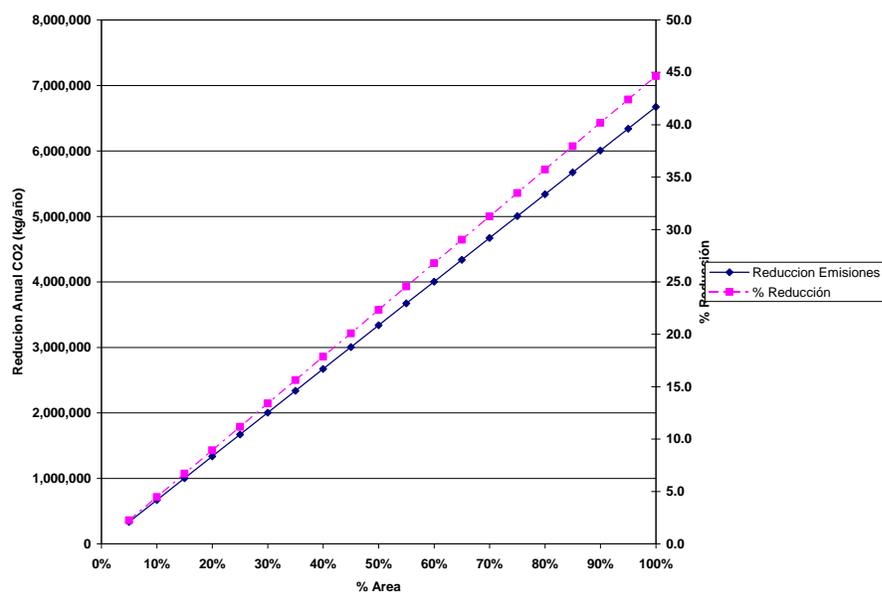


Figura 6.40 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 3 (43.2 kW)

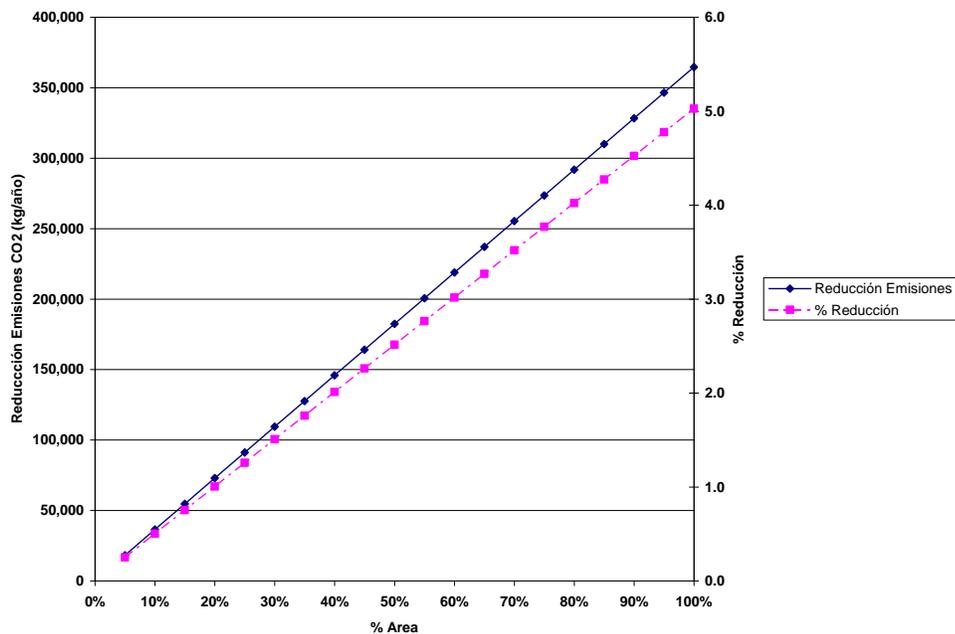


Figura 6.41 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 4/ industrial, 20kW
(25,000-100,000 p²)

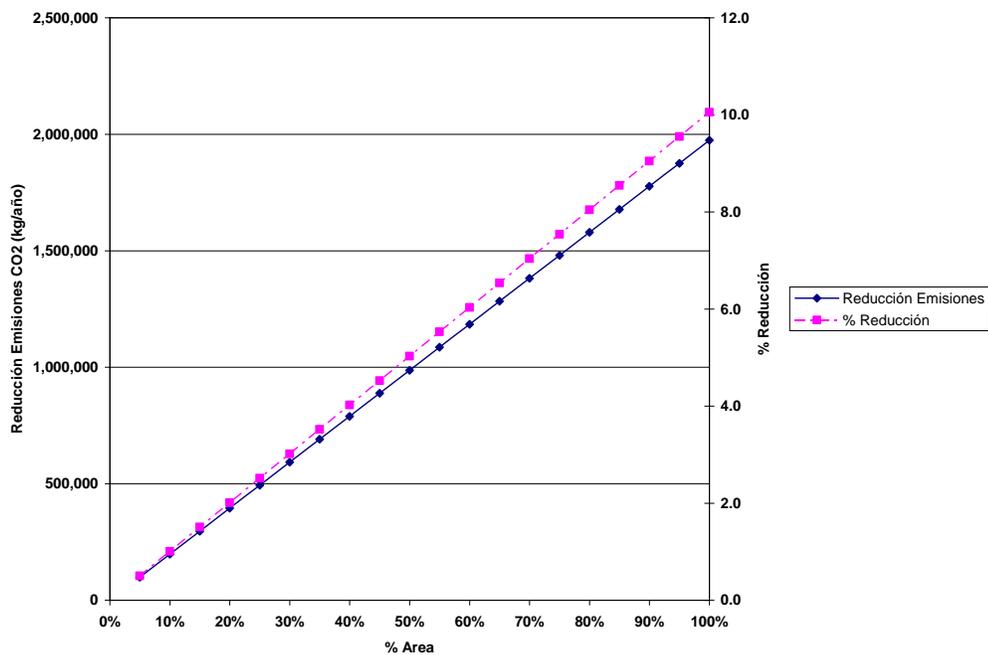


Figura 6.42 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 4/ industrial (40kW)

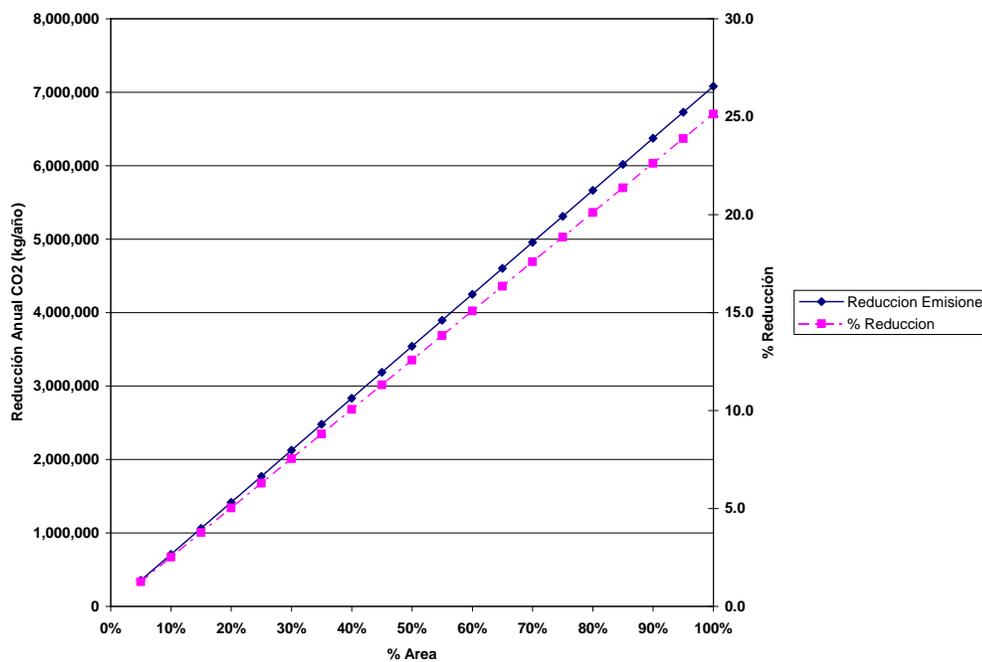


Figura 6.43 Potencial en reducción de emisiones anual en el sector comercial 4/ industrial (100kW)

Con estas gráficas, para el mismo por ciento de área determinado para cumplir con la instalación solar a establecer, se puede determinar cual sería la reducción de emisiones debido a la aplicación del programa.

7 Modelo de Aplicación

7.1 Introducción

En este capítulo se estarán aplicando los conceptos presentados anteriormente en un proyecto del municipio donde se escogerán dos facilidades para instalarles sistemas fotovoltaicos. En las siguientes secciones se describirán las facilidades escogidas, se presentará un estimado de costo y finalmente se realizará un análisis económico utilizando como recurso el programa HOMER.

7.2 Descripción de Proyectos de Demostración

Las propuestas a ser analizadas serán las instalaciones de paneles fotovoltaicos en el área de techo disponible para la Alcaldía de Mayagüez y el Palacio de Recreación y Deportes. Ambas facilidades están bajo la administración del Municipio de Mayagüez.

La Alcaldía es el ayuntamiento del municipio, esta ubicado en el centro del pueblo frente a la Plaza Colón y tiene un área total aproximada de 12, 660 pies cuadrados y en ella se encuentran la oficina del Honorable Alcalde José Guillermo Rodríguez y el Departamento de Administración Municipal. El departamento incluye las oficinas de Gerencia y Presupuesto, Finanzas, Prensa y Comunicaciones, entre otras.



Figura 7.1 Vista frontal de la Alcaldía de Mayagüez

El sistema propuesto fue de paneles fotovoltaicos de 200W con área de 16.82 pies cuadrados. Para determinar la cantidad de paneles se utilizó el área total de techo disponible. Luego de evaluar el área disponible se determinó que estaba cerca de 3,400 pies cuadrados por lo que se calculó instalar 181 paneles para un total de área de instalación aproximado de 3,280 pies cuadrados (Figura 7.2).

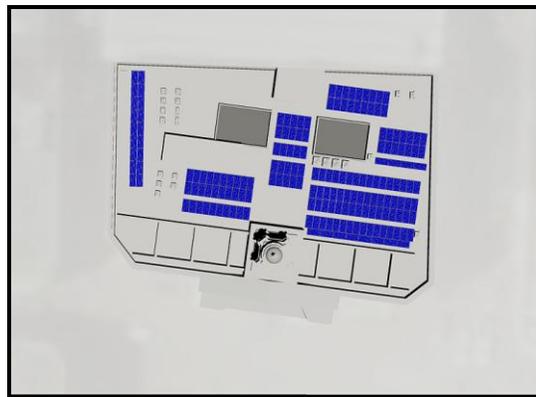


Figura 7.2 Distribución de paneles en el techo de la Alcaldía

El segundo edificio analizado fue el Palacio de Recreación y Deportes que se encuentra en el Barrio París frente al Parque de los Próceres el cual tiene un área total de techo de 41,288 pies cuadrados.



Figura 7.3 Vista frontal y aérea del Palacio de Recreación y Deportes

El sistema propuesto fue un sistema de paneles fotovoltaicos de 200 W al igual que para la Alcaldía. En esta ocasión por la forma irregular del techo que es uno inclinado compuesto de 10 lados iguales libres de obstáculos, se consideró cubrir el techo completo tomando en consideración que se dejaría cierto espacio en las esquinas de cada lado por su forma particular que no es recta. Restando estas esquinas el área de techo disponible fue de cerca de 34, 380 pies cuadrados teniendo capacidad así para instalar 2044 paneles (Figura 7.4).

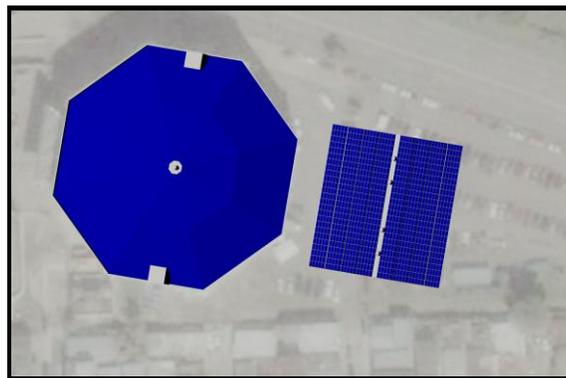


Figura 7.4 Distribución de paneles en el techo del Palacio de Recreación y Deportes

7.3 Estimado de Costos

Una vez determinada la posible cantidad de paneles fotovoltaicos de 200W a instalar en ambos edificios, se prosiguió a realizar el estimado de costo para las instalaciones. Los estimados incluyen el costo de adquirir los paneles fotovoltaicos, inversores y

todos los materiales necesarios para su buen funcionamiento. También, incluye los costos de instalación.

Para propósitos de este estudio, el estimado de costo, aunque menciona todas las partidas que componen los componentes principales en que se divide el mismo, se basó en los por cientos que representan cada uno de estos componentes del costo total. Los componentes a los que se hace referencia son los paneles fotovoltaicos, la instalación solar y trabajo eléctrico, e inversores y cables. La distribución de los por cientos es la siguiente:

Tabla 7.1 Distribución de los por cientos del costo total del sistema [Natures Power Tech, 2010]

Componente	Por Ciento del Costo
Paneles PV	50%
Instalación Solar y Trabajo Eléctrico	15%-20%
Inversor y Cables	30%-35%

Para realizar el estimado se buscó el costo más económico de los paneles fotovoltaicos marca Evergreen ES-A 200W¹³¹, de los inversores Fronius IG Plus 10.0-1¹³² y PV Powered 260 kW-480¹³³, y del montaje de techo Iron Ridge UNI-GR/01A Universal Ground/Roof Mount¹³⁴. A las demás partidas no se les dio precio porque para el alcance de este estudio no se realizó un diseño detallado del sistema. Por tal motivo, no se puede determinar el costo de los cables, brakers, entre otras cosas. De todos modos, se hace mención de estas partes porque son necesarias para que el sistema opere de manera apropiada.

¹³¹ Costo de acuerdo al proveedor Wholesaler.com

¹³² Costo de acuerdo al proveedor Solarhome.org

¹³³ Costo de acuerdo al proveedor Affordable-solar.com

¹³⁴ Costo de acuerdo al proveedor Affordable-solar.com

Partiendo del costo total se le asignó una parte del mismo a cada componente como se muestra en las siguientes tablas. El costo total se presumió a \$ 7/watt, incluyendo costo de equipo e instalación, para el sistema propuesto para la Alcaldía para un total de \$253, 400 y \$6/watt, incluyendo costo de equipo e instalación, para el sistema del Palacio para un costo total de \$2, 452, 800. La variación en precios se debe a que mientras más grandes los sistemas, el costo por vatio tiende a disminuir según se observa en las referencias [DOE. EERE, 2003a; DOE. EERE, 2008a].

Tabla 7.2 Estimado de Costo de la Alcaldía de Mayagüez

Estimado de Costo del Sistema Solar de la Alcaldía de Mayagüez			
Item	Descripción	Total	% Total
1	Instalación Eléctrica	\$12,670.00	5%
2	Inversor y Equipo Solar	\$76,020.00	30%
3	Paneles PV	\$126,700.00	50%
4	Instalación de Sistema Solar	\$38,010.00	15%
	Costo Total Directo	\$253,400.00	100%

Tabla 7.3 Estimado de Costo Palacio de Recreación y Deportes Mayagüez

Estimado de Costo del Sistema Solar del del Palacio de Recreación y Deportes de Mayagüez			
Item	Descripción	Total	% Total
1	Instalación Eléctrica	\$122,640.00	5%
2	Inversor y Equipo Solar	\$735,840.00	30%
3	Paneles PV	\$1,226,400.00	50%
4	Instalación de Sistema Solar	\$367,920.00	15%
	Costo Total Directo	\$2,452,800.00	100%

Una vez calculados los costos totales para cada sistema, partiendo del costo por vatio de equipo e instalación expuesto anteriormente, se determinó el costo que representaría cada uno de los componentes principales como se muestra en las Tablas 7.2 y 7.3, asignándole el por ciento mayor (50%) a la compra de los paneles

fotovoltaicos. En los por cientos asignados a los componentes de inversor y la de paneles fotovoltaicos también se incluye el costo de transportación.

El siguiente paso a seguir es realizar el análisis económico para cada una de las facilidades en estudio. En la siguiente sección se aplicarán los conceptos introducidos de análisis económico, utilizando el programa de optimización HOMER[®], en el Capítulo 6.

7.4 Análisis Económico

Ya determinada la cantidad de paneles a instalar tanto en la Alcaldía como en el Palacio y realizado el estimado de costos para ambas instalaciones, se prosiguió a realizar el análisis económico para cada facilidad utilizando HOMER[®].

El análisis se realizó de forma individual para cada instalación. Pero hay datos que se compartieron en ambos análisis. Estos datos son el recurso solar, debido a que el cambio en longitud y latitud es sólo de segundos y el programa sólo acepta grados y minutos; la temperatura, que se escogió la promedio por mes para la ciudad [WDT, 2010]; y el recurso económico. Con una irradiación promedio de 5.61 kW-hr/m²/día, una temperatura promedio de 30.67°C y utilizando el interés nominal del 7% e inflación del 6%, se prosiguió a entrar los datos particulares de cada instalación creando dos archivos. Primero se analizará el caso de la Alcaldía de Mayagüez y luego el Palacio de Recreación y Deportes.

7.4.1 Análisis económico para la Alcaldía de Mayagüez

Lo primero que se hizo fue entrar la configuración del sistema para el caso en estudio, que consta de sistema de paneles fotovoltaicos de 200W cada uno con inversores interconectado a la red. Según el cálculo de paneles se pueden instalar 181 paneles de

200W para un total de 36.2 kW, con este número se prosiguió a determinar la capacidad del inversor necesaria para que el sistema opere de manera funcional y se escogió instalar 4 inversores de 10 kW para un total de 40kW. Se entró la información de la red que consistía en indicar el precio de la electricidad y el de medición neta, si alguno. El precio de la electricidad se calculó obteniendo un promedio de el consumo de electricidad y la cantidad facturada para el año 2007 por la AEE a la Alcaldía (los datos fueron suministrados por Natures Power Tech). Este precio fue de \$0.217/kW-hr y se entraron dos datos adicionales de \$0.25/kW-hr y \$0.30/kW-hr para ver como variaba el análisis. El precio de medición neta fue de \$0.10/kW-hr según lo indica el Reglamento de Medición Neta de la AEE en cumplimiento con la Ley 114 (sección 4.4.2). Luego, se entraron los datos de la carga eléctrica utilizando el resumen de facturación por mes de la AEE a la Alcaldía para el año 2007. Con estos cálculos se determinó un consumo de 1046 kW-hr/día con una carga pico de 53kW.

Se entraron la características del sistema fotovoltaico propuesto de 36.2 kW y un costo total de \$6, 407 por cada kilovatio que incluye los precios asociados al mismo más la instalación, materiales y cables. Se incluyen estos costos en este renglón porque HOMER no tiene partidas para materiales y demás cálculos sólo para el equipo en si. Cabe señalar que aunque según las especificaciones de los paneles se garantiza el 100% de la potencia nominal y que se puede obtener hasta 5kW más de los especificado se decidió dejar el factor de reducción de potencia ¹³⁵ presumido por HOMER de 80% para tomar en cuenta factores como el sucio, pérdidas en los cables y la sombra que afecte en ciertas horas del día a los paneles debido a la torre del reloj.

¹³⁵ Derating Factor

En la hoja de datos de los inversores se entraron las características del sistema Fronius IG Plus 10.0-1 y su costo de \$5,364, en el sistema a considerar se entraron los 40kW en total que se estaban estudiando. Como resultado se obtuvo la siguiente configuración:

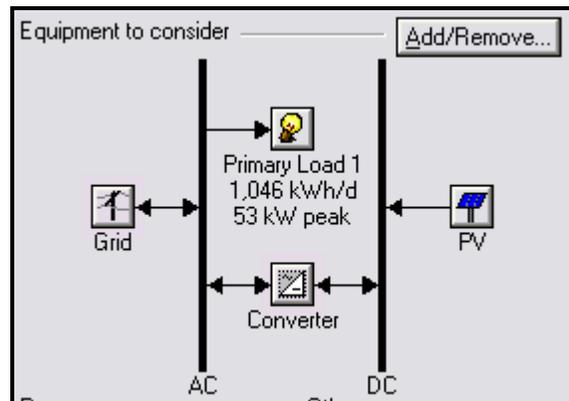


Figura 7.5 Esquemático del sistema para la Alcaldía de HOMER[®]

El siguiente paso fue que el programa evaluara todas las variables e hiciera el cálculo del análisis económico. El programa determinó que los costos operacionales se podrían reducir entre \$12,000 - \$16,000 al año dependiendo del precio de la electricidad teniendo el ahorro de \$12,000 con el precio de la electricidad a \$0.216/kW-hr. El costo presente neto de la instalación fue de \$6,188,991 lo que significa \$833,957 menos que si operara sólo el sistema eléctrico de la AEE. Comparando el sistema propuesto con la red de energía eléctrica se obtiene que el menor tiempo de recuperación de la inversión era de 15.8 años, como se muestra en la Figura 7.6, si el precio de la electricidad estuviera en \$0.30/kW-hr, con tasa de retorno del 6.33%. Con los resultados obtenidos y las tablas de flujo de efectivo calculadas por HOMER[®] se obtuvo la grafica de flujo de efectivo acumulado de la Figura 7.7, donde se muestra cuando la inversión es recuperada.

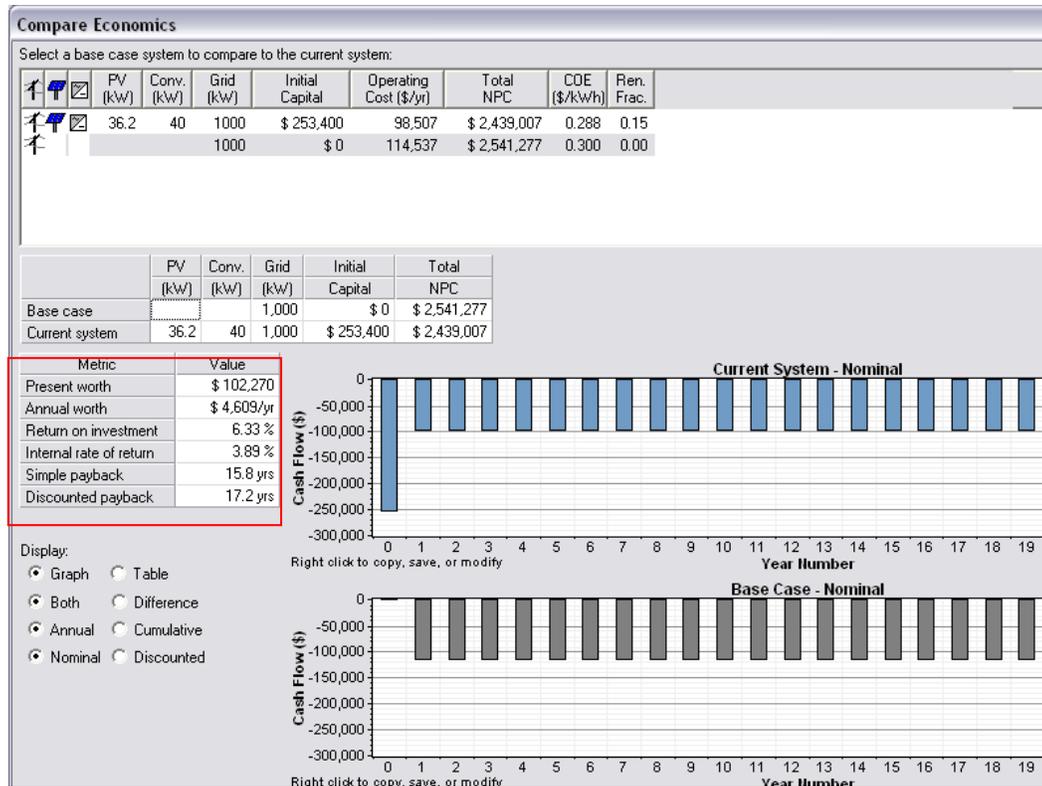


Figura 7.6 Resultado de análisis económico de la Alcaldía en HOMER[®]

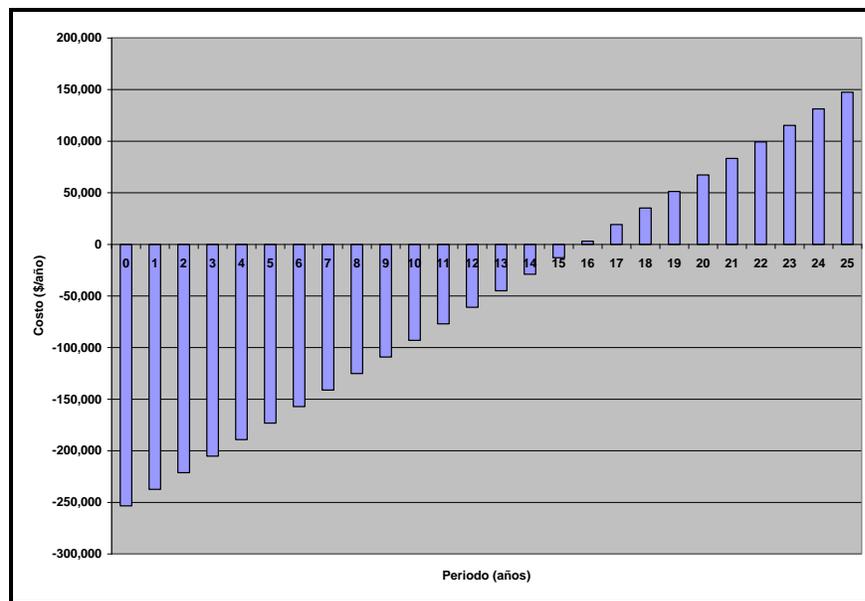


Figura 7.7 Flujo de efectivo acumulado en el proyecto de la Alcaldía

Este tiempo no es razonable porque representa más de la mitad de la vida útil del sistema. Pero, hay que considerar que la limitación de espacio afecta grandemente al

tiempo de recuperación y los beneficios que se puedan obtener por que el sistema propuesto sólo puede reemplazar el 15% de la energía producida. Por lo tanto, en ningún momento produce más de la energía que consume y como resultado no se beneficia del programa de medición neta. En cuanto a la reducción de emisiones de CO₂ se puede conseguir una reducción de cerca de 33, 771 kg/año ó 14%.

Aunque los beneficios no son tan marcados como se esperaba, el proyecto sigue siendo viable y es una buena inversión según la cantidad obtenida de \$102,270 de valor presente según el programa, que indica que si el valor es positivo la inversión es una buena opción.

7.4.2 Análisis Económico para el Palacio de Recreación y Deportes

Al igual que para la Alcaldía, lo primero que se hizo fue entrar la configuración del sistema para el caso en estudio, que consta de sistema de paneles fotovoltaicos de 200W con inversores interconectado a la red. Para el Palacio se propuso un sistema de paneles fotovoltaicos que cubren todo el techo del edificio menos las esquinas, por su característica en ángulo. Para el área calculada, se determinó instalar 2044 paneles que equivalen a un sistema de 408.8 kW y dos inversores de 260 kW para un total de 520 kW. En la información de la red se consideró la medición neta a \$0.10/kW-hr y un precio de electricidad de \$0.244/kW-hr obtenido del promedio anual en un periodo de estudio entre agosto de 2007 a julio de 2008 (datos suministrados por Natures Power Tech), y dos valores adicionales de \$0.25/kW-hr - \$0.30/kW-hr.

Luego se entraron los datos de la carga eléctrica utilizando el resumen de facturación por mes de la AEE para el Palacio para el periodo evaluado. Con estos cálculos, se determinó un consumo de 3.5 MW-hr/día con una carga pico de 192 kW.

Se entraron la características del sistema fotovoltaico propuesto de 408.8 kW y un costo total de \$5, 544 por cada kilovatio que incluye los precios asociados al mismo más la instalación, materiales y cables. Para los inversores, se entraron las características del sistema PV Powered 260 kW-480 y su costo de \$93, 125, en el sistema a considerar se entraron los 520 kW en total que se estaban estudiando. La configuración obtenida es la siguiente:

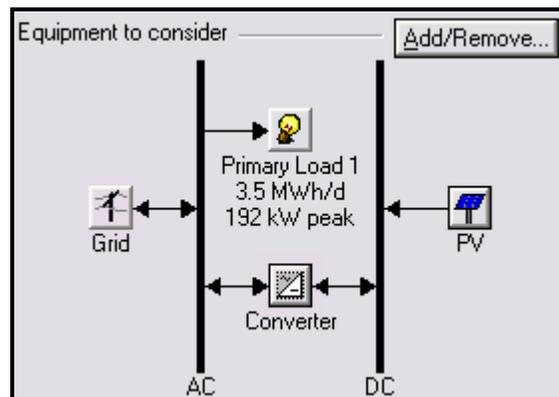


Figura 7.8 Esquemático del sistema para el Palacio de Recreación y Deportes en HOMER[®]

Con estos datos, el programa prosiguió a realizar el cálculo del análisis económico. El programa determinó que el costo operacional se podría reducir en un poco más del 50%. También, calculó que el costo presente neto sería de \$7, 046, 477, comparado con utilizar sólo el sistema eléctrico de la AEE resultaría en un ahorro de \$1, 563, 705. Haciendo la comparación en HOMER se obtuvo que el tiempo menor de recuperación de la inversión era de 13.5 años si el precio de la electricidad estuviera en \$0.30/kW-hr, con una tasa de retorno de 7.38% (Figura 7.9). El tiempo de recuperación se puede observar gráficamente en la Figura 7.10 obtenida de las tablas de flujo de efectivo acumulado que calcula HOMER[®].

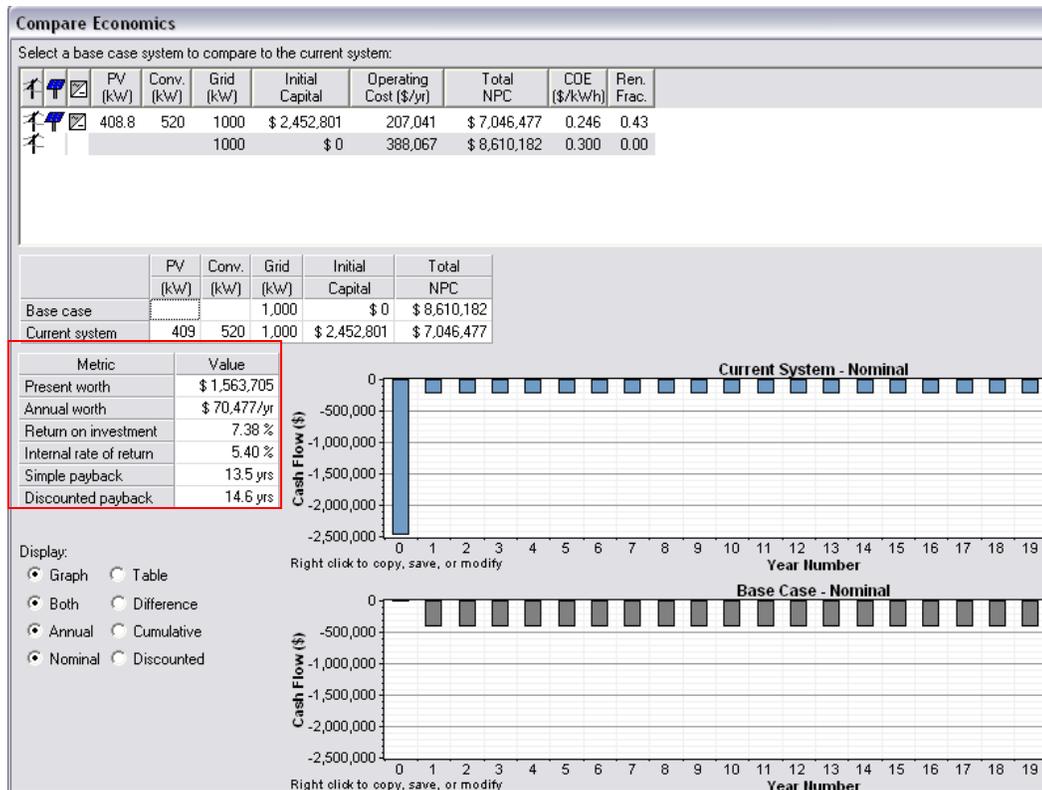


Figura 7.9 Resultado de análisis económico del Palacio en HOMER®

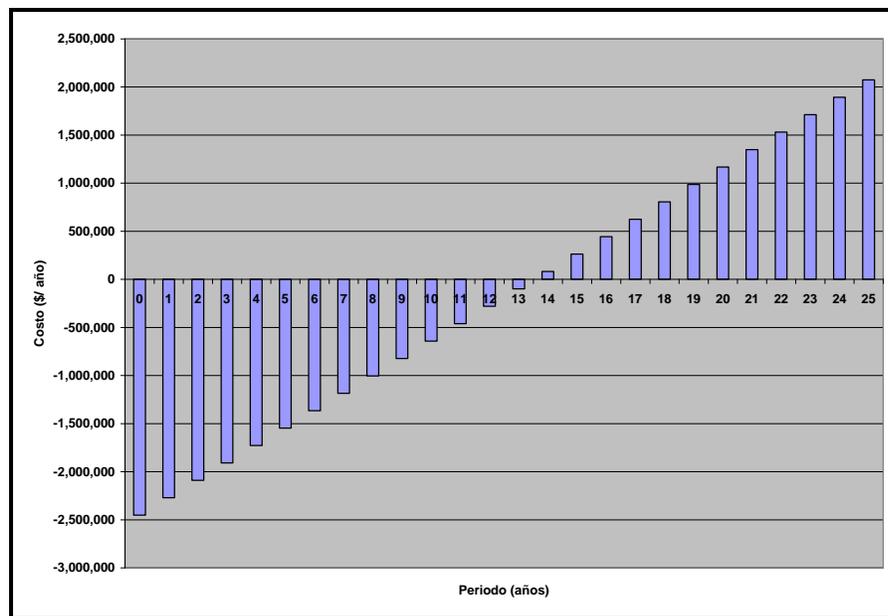


Figura 7.10 Flujo de efectivo acumulado en el proyecto del Palacio de Recreación y Deportes

Al igual que en el caso de la Alcaldía, este tiempo no es el más atractivo porque representa un poco más de la mitad de la vida útil del sistema. Aun así, el sistema es

muy beneficioso porque primeramente produce casi la mitad (43%) de la producción necesaria para operar el sistema eléctrico de la facilidad. Segundo, se pueden beneficiar del programa de medición neta como se muestra en la siguiente figura.

1,000 kW Grid		520 kW Rectifier		Total NPC: \$ 6,188,991		
409 kW PV		520 kW Inverter		Levelized COE: \$ 0.216/kWh		
				Operating Cost: \$ 168,393/yr		
Cash Flow Electrical PV Converter Grid Emissions Hourly Data						
Month	Energy	Energy	Net	Peak	Energy	Demand
	Purchased	Sold	Purchases	Demand	Charge	Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	72,485	14,171	58,313	154	14,228	0
Feb	48,177	18,476	29,701	120	7,247	0
Mar	89,062	9,522	79,540	191	19,408	0
Apr	87,427	6,870	80,557	192	19,656	0
May	72,838	9,507	63,331	158	15,453	0
Jun	76,049	7,022	69,027	169	16,843	0
Jul	61,676	11,714	49,962	138	12,191	0
Aug	53,364	17,080	36,284	121	8,853	0
Sep	60,439	15,470	44,969	137	10,972	0
Oct	57,763	15,672	42,090	128	10,270	0
Nov	78,992	10,367	68,625	169	16,744	0
Dec	78,763	11,028	67,735	166	16,527	0
Annual	837,036	146,901	690,135	192	168,393	0

Figura 7.11 Resultados de la Red para el Palacio de Recreación y Deportes

Por último, la reducción en emisiones de CO₂ es considerable con 382, 136 kg/año menos o 47% del total de emisiones generadas por el sistema eléctrico de la facilidad. Cabe señalar que los beneficios presentados en este capítulo no incluyen ningún tipo de incentivo, por que hasta el momento los incentivos locales disponibles en Puerto Rico no incluyen al sector gubernamental. Uno de los incentivos que podría utilizar el municipio es el incentivo federal Programa de Subvenciones en Bloque para la Conservación y Eficiencia Energética que le asignó al municipio \$941, 200 para proyectos de eficiencia y energía renovables en las facilidades del gobierno. También esta disponible el Bono Calificado por Conservación de Energía (QECBs) que son bonos calificados de crédito fiscal que ofrecen un tipo de préstamo a 0% de interés para realizar proyectos en eficiencia energética y energía renovable en facilidades del gobierno. A Puerto Rico se le asignaron \$41, 021, 000 para estos fines. Utilizando

estas ayudas el costo de estas inversiones se reduciría en gran medida y como consecuencia los beneficios y el tiempo de recuperación serían menores.

8 Conclusiones y Recomendaciones

8.1 Conclusiones

En este trabajo se han estudiado los programas existentes para promover la energía solar a nivel de ciudad y cuales son las tecnologías que aplican. Se han estudiado diferentes leyes, reglamentos, políticas e incentivos tanto en el nivel local como en los Estados Unidos con el fin de entender cuales son los parámetros que facilitan la promoción de estos programas. Con estos conocimientos se creó una metodología para convertir a la ciudad en estudio, Mayagüez, en una ciudad solar. De manera que el estudio se enfocó en realizar un análisis económico para demostrar la capacidad que tiene la ciudad de cumplir con el programa y cuales serían los beneficios que conllevaría tanto para la ciudadanía como para el gobierno. Para propósitos de aplicación se realizó un ejemplo con dos facilidades del municipio para que las partes interesadas puedan sentirse más familiarizados con los equipos y los factores económicos que se necesitan tomar en consideración al momento de proponer un proyecto de esta índole.

De los resultados del trabajo, se pueden resaltar varias conclusiones:

1. A pesar de que existe una guía publicada para ayudar a las ciudades a crear sus propios programas de ciudad solar, su contenido es muy genérico, lo que hacia necesario desarrollarla en un contexto real para entender los pasos necesarios a seguir y ver si las asunciones que se realizaron a lo largo del proyecto eran las correctas.
2. A raíz de la revisión de las piezas legislativas aprobadas por el gobierno de Puerto Rico se reconoce que el país cuenta con un conjunto bastante completo de

3. leyes, reglamentos, políticas e incentivos tanto a nivel local como federal que promueven la diversificación energética y buscan facilitar la adopción de, entre otras tecnologías, la solar.
4. Un punto determinante durante el proceso de revisión literaria fue el hallazgo de la reciente aprobación de la Ley 82 “Ley de Política Pública de Diversificación Energética por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico” que entre otras cosas reconoce la meta de producción solar para el 2015 de 20MW del 12% de producción mediante energías renovables y el 15% en energías renovables para el 2020. Esto ayudó a verificar las posibles metas para la ciudad de Mayagüez.
5. Del análisis de las características geográficas y poblacionales de la ciudad de Mayagüez se concluyó que de las tecnologías solares propuestas, los sistemas solares concéntricos no era necesario considerarlos en los cálculos de potencial porque sólo con los sistemas fotovoltaicos se alcanzó una cantidad considerable de producción solar. Además de la revisión literaria, se encontró que estos sistemas implican una inversión considerable y se utilizan en proyectos más de nivel regional.
6. Del análisis de potencial de los sectores residencial como comercial e industrial se infirió que el área disponible de techo no era un factor limitante para establecer un programa de ciudad solar. Se demostró que sólo con un 15 – 30 por ciento de las estructuras se podría alcanzar la meta nacional de instalación solar de 20 MW. Comprobando así que la instalación de sistemas solares sobre

techo es la tecnología más atractiva sin sacrificar la limitación de recursos naturales disponibles.

7. La meta de instalación solar se puede determinar utilizando las instalaciones existentes y los por cientos de crecimiento en el mercado, y determinando la producción por área de un sistema fotovoltaico para las características del lugar en estudio.
8. Del análisis económico realizado para cada sector se deduce que el valor de la producción por área para los sistemas fotovoltaicos en estudio para la ciudad de Mayagüez se encuentra cerca de 20 kW-hr/año/p².
9. También, como resultado del análisis realizado para los distintos sectores, se concluye que la creación de un programa de ciudad solar en Mayagüez tiene el potencial para producir un total de 302 GW-hr/año de energía solar a un costo de \$1.4 billones consiguiendo una reducción en emisiones de CO₂ de aproximadamente 140 millones kg/año.
10. A raíz del análisis económico, bajo las condiciones bases establecidas para cada sector, se determinó que la utilización de sistemas fotovoltaicos es la mejor opción comparada con el sistema eléctrico tradicional aunque los ahorros no se vean inmediatamente. El tiempo de recuperación es menor de la mitad de la vida útil del sistema. El cambio en el costo de la energía tiende a disminuir mientras menor sea el precio de la electricidad y mayor el costo del sistema. Por lo tanto, mientras más alto el precio de la electricidad más cercano a la paridad de costos se encuentra el mercado, al igual que mientras más capacidad tenga el sistema más económico es el precio por vatio del mismo.

11. También, se infiere que el beneficio económico aumentará una vez aplicados los créditos contributivos al final de cada año.

Este trabajo se caracteriza por ser uno de los pocos estudios dirigido al desarrollo en el mercado de las tecnologías solares como fuentes de energía alterna al ofrecer una propuesta amplia de enfoque urbano hacia la tecnología que facilite su adopción. Esto se logra a través del desarrollo de una metodología que le sirva a las partes interesadas para crear un plan piloto de cómo convertir una ciudad en una Ciudad Solar. Es aquí donde radica la principal contribución de este estudio en respuesta a las demandas de mayor sostenibilidad al campo de la ingeniería civil en y fuera de Puerto Rico ante las consecuencias del crecimiento desmedido en el siglo XXI.

8.2 Recomendaciones

De los resultados del estudio se determinaron varias recomendaciones para futuros trabajos que no eran parte del alcance del proyecto. Las recomendaciones son las siguientes:

1. Se debe legislar a favor de leyes e incentivos existentes en Estados Unidos para mejorar la propuesta que el gobierno de Puerto Rico le tiene a la ciudadanía. Algunas de estas leyes e incentivos son la Ley de Acceso Solar y la Iniciativa Financiera para las Tecnologías Renovables y Solares (FIRST) del estado de California.
2. Se deben evaluar proyectos de sistemas solares concéntricos a nivel regional para el beneficio de todos los ciudadanos.

3. Se debe realizar un estudio de gases de invernadero en la ciudad para así fijar métricas más certeras de reducción de emisiones e incluirlos en la meta de producción solar de la ciudad.
 4. Algunas de las metas que se sugirieron están basadas en la presunción de que la contribución a la meta nacional sería según el por ciento poblacional que representa cada ciudad. Si el gobierno central legislara para que cada ciudad tenga su aportación proporcional a la población en la meta nacional de producción solar, se debe evaluar cuánto más podrían aportar las ciudades grandes en alcanzar la meta nacional para compensar la falta de capacidad financiera y las limitaciones geográficas que pueden confrontar las ciudades más pequeñas.
-
-

Bibliografía

Administración de Asuntos Energéticos, AEE. 2009a. Ley de Recuperación y Reinversión Norteamericana: Programa de Ayuda para la Climatización, Plan Estatal. 22pp.

Administración de Asuntos Energéticos, AEE. 2009b. Se dirige el gobierno a la eficiencia energética y la energía renovable. En: El Energético, AEE, San Juan, Puerto Rico. Septiembre, 2009.

Administración de Asuntos Energéticos, AEE. 2009c. Acuerdos. Comité de Política Pública Energética. Septiembre 15, 2009.

A.R. Gómez. 2010. Seguimos líderes en desempleo. Primera Hora, San Juan, Puerto Rico, Julio 7, 2010.

ASTM International. 2005. Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems. E 917-05, pp.4-5.

Autoridad de Energía Eléctrica, AEE. 2009. La AEE es.
www.aeepr.com

Autoridad de Infraestructura Financiera, AFI. 2010. State Energy Program: Revolving Loan Regulation. 65pp.

Banco Gubernamental de Fomento, BGF, Oficina de Análisis y Estudios Económicos. 2010. Compendio de Datos
www.gdb-pur.com

California Civil Code, 2009. Chapter 3 Servitudes, Section 801-813.
<http://law.justia.com/california/codes/2009/civ/801-813.html>

California Public Utilities Commission. 2008. California Solar Initiative. 122pp.

Dávila J. 2008. Desarrollo de un Modelo para el Diseño de Sistemas de Energía Renovable para Acueductos Comunitarios en Puerto Rico. Proyecto M.E. Universidad de Puerto Rico, Mayaguez, P.R. pp. 40-47

Energy Information Administration, EIA. 2008. Greenhouse Gases, Climate Change & Energy. EIA Brochure #DOE/EIA-X012. Mayo, 2008.

Green Power Depot, 2009. Velux Solar Collectors.
<http://www.greenoverdepot.com/solar-hot-water-heating.htm>

J. Colluci, A. Irizarry y E. O'Neill. 2008. Achievable Renewable Energy Targets for Puerto Rico's Renewable Portfolio Standards. pp. 1-13.

Clean Energy Group. 2008. States Advancing Solar: Solar Technologies.
<http://www.statesadvancingsolar.org/technologies>

DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE. 2003a. Get Your Power from the Sun. DOE/GO 102003-1844: pp 8-10.

DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE. 2003b. Heat Your Water with the Sun. DOE/GO 102003-1824: 6pp.

DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE. 2008a. Planning for PV. The Value and Cost of Solar Electricity. DOE/GO 102008-2555.

DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE. 2008b. Solar America Cities.
<http://www.solaramericacities.energy.gov/>

DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE. 2009a. Solar Powering Your Community: A Guide for Local Governments. DOE/GO 102009-2758: 152pp.

DOE Energy Efficiency and Renewable Energy, EERE. 2009b. Database of State Incentives for Renewables and Efficiency, DSIRE Solar.
www.dsireusa.org/solar/

DOE Solar Energy Technology Program, SETP. 2007. A Plan for the Integrated Research, Development and Market Transformation of Solar Energy Technologies. DOE/GO 102006-0010: 44pp.

DOE Solar Energy Technology Program, SETP. 2008b. Solar America Initiative.
http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/index.html

DOE Solar Energy Technology Program, SETP. 2009a. Solar America Cities
www.solaramericacities.energy.gov

DOE Solar Energy Technology Program, SETP. 2009b. Why PV is important to the Economy.
<http://www1.eeres.energy.gov/solar/technologies.html>

DOE Solar Energy Technology Program, SETP. 2009c. Solar America Cities: Accelerating Solar Energy Adoption at a Local Level.

Energy Information Administration, EIA. 2006. Electricity Consumption and Expenditure Intensities for Non- Mall Buildings, 2003.
www.eia.doe.gov

- Evergreen Solar Inc. 2010. Serie ES-A Paneles Fotovoltaicos, Especificaciones.
www.evergreensolar.com
2000. Energy Alternatives and Jobs. Renewable Energy World, 3(6):
Noviembre/Diciembre, pp.26-32
- Garcia Pelatti. 2010. En alza la demanda de electricidad. El Vocero, San Juan, Puerto Rico. Agosto 15, 2010.
- G. Strahs and C. Tombari. 2006. Laying the Foundation for a Solar America. The Million Solar Roofs Initiative.
http://www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/pdfs/40483.pdf.
- Hebert, H.J. 2008. No end seen on reliance on oil, fossil fuels. Associated Press, Washington, United States. Junio 2008
- Junta de Planificacion. Oficina del Censo. 2010. Censo de Población y Vivienda de 2000, Puerto Rico.
www.censo.gobierno.pr
- Lluch. 2000. Capítulo X: Análisis de alternativas desde el punto de vista de economía ingeniería. En: Introducción a la Gerencia de Construcción. Segunda Edición, pp. 251-262. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico.
- Mejor Precio. 2010. Calentador de Agua.
www.mejorprecio.com.mx
- N. Hopwood and J. Cohen, 1998. Greenhouse Gases and Society. University of Michigan, Geological Sciences 265.
www.umich.edu/~gs265
- Navigant Consulting Inc. 2008. Economic Impacts of Extending Federal Solar Tax Credits.
www.navigantconsulting.com
- Northern California Solar Energy Association. 2007. Solar Energy Resource Guide. 7ma Edicion 2006-2007.
- National Renewable Energy Laboratory, NREL. 2009. The Solar America Cities Award. DOE/GO 102009-2825
- National Renewable Energy Laboratory, NREL. 2010. Concentrating Solar Power Projects.
www.nrel.gov/csp/solarpaces
- Oficina de Servicios Legislativos, OSL. 2010. Leyes de Puerto Rico por año.

<http://www.oslpr.org>

Parker B. 2002. Planning Analysis: Calculating Growth Rates.
www.uoregon.edu

Pepper. T, 2007. Seeing the Light: The Incredible Fresnel Lens.
<http://www.terrypepper.com/Lights/closeups/illumination/fresnel/fresnel.htm>
Diciembre 2007

Reed Construction Data. 2007. Square Foot Project Size Modifier. En: RS Means Building Construction Cost Data. 65 Edition, p. 766. RS Means Construction Publishers & Consultants, Kingston, MA.

Solarbuzz, 2010. Solar Water Heating.
www.solarbuzz.com

Short, Packey and Holt. 1995. Economic Measures. En: A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies. pp. 39-46. NREL/TP-462-5173

Sierra Club. 2008. Ciudades Cool: Solucionando el Calentamiento Global Pueblo por Pueblo.
<http://www.puertorico.sierraclub.org>

US Census Bureau. 2009. 2004 County Business Patterns, Mayagüez P.R.
censtats.census.gov

World Energy Council. 2009. Survey of Energy Resources 2007. Solar Thermal Power Plants. Fig. 10-13: Schematic diagrams of the four types of Concentrating Solar Power (CSP) systems
http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/solar/724.asp

Apéndice 1

Cálculo de Potencial Comercial e Industrial después de HOMER

Cálculo del Potencial Comercial e Industrial						
Establecimiento	Cantidad	Area Total(sf)	Sistema a Utilizar (kW)	Area a Utilizar (sf)	Total de Energía Generada (kW)	Costo (\$)
				16.82		
Compañía Eléctrica	1	7,500	21.6	1,817	22	64,151
Compañía Construcción	72	187,200	10	60,552	720	2,176,056
Comercio al por Mayor	78	1,404,000	43.2	283,383	3,370	10,007,556
Comercio al por Menor	319	2,296,800	21.6	579,483	6,890	20,464,169
Concesionarios de Autos	44	880,000	43.2	159,857	1,901	5,645,288
Supermercados	20	420,000	43.2	72,662	864	2,566,040
Emisoras (radio y televisión)	16	80,000	10	13,456	160	483,568
Bancos, Fiancieras y Aseguradoras	72	302,400	10	60,552	720	2,176,056
Inmobiliarias y Arrendamiento	81	405,000	10	68,121	810	2,448,063
Servicios profesionales, técnicos	136	680,000	10	114,376	1,360	4,110,328
Administración de Empresas y Compañías	2	40,000	43.2	7,266	86	256,604
Administración y Apoyo, Manejo de Desperdicios Sólidos y Servicios de Remediación	53	265,000	10	44,573	530	1,601,819
Servicios de Atención Médica Ambulatoria	284	1,704,000	21.6	515,903	6,134	18,218,884
Oficinas de asistencia al hogar, enfermeras	12	72,000	21.6	21,799	259	769,812
Asistencia Social	8	48,000	21.6	14,532	173	513,208
Cuidos Diurnos	15	22,500	10	12,615	150	453,345
Arte, Entretenimiento y Recreación	5	47,000	21.6	9,083	108	320,755
Hoteles Pequeños (alojamiento)	7	110,600	21.6	12,716	151	449,057
Restaurantes	124	545,600	10	104,284	1,240	3,747,652
Garajes de Reparación y Mantenimiento	45	418,500	21.6	81,745	972	2,886,795
Servicios de Lavandería y Personales	46	331,200	21.6	83,562	994	2,950,946
Organizaciones Religiosas, Civiles, Profesionales	54	540,000	21.6	98,094	1,166	3,464,154
Total	1494	10,807,300		2,420,432	28,780	85,774,306
						28.8 MW

Tabla 5.6 Cálculo del Potencial Comercial e Industrial II						
Establecimiento	Cantidad	Area Total(sf)	Sistema a Utilizar (kW)	Area a Utilizar (sf)	Total de Energía Generada (kW)	Costo (\$)
Tiendas por Departamento	12	1,080,000	40	40,368	480	1,450,692
Almacenes	25	625,000	40	84,100	1,000	3,022,275
Colegios Privados	7	644,000	20	11,774	140	423,122
Institutos Técnicos	7	350,000	20	11,774	140	423,122
RUM	1	820,013	100	8,410	100	302,226
Católica	1	41,272	20	1,682	20	60,446
Adventista	1	*****	*****	*****	*****	*****
Hospitales	9	495,000	40	30,276	360	1,088,019
Holiday Inn	1	23,460	20	1,682	20	60,446
Mayaguez Resort	1	65,591	20	1,682	20	60,446
Fabricas	65	1,716,000	100	546,650	6,500	30,226
Total	130	5,860,336		738,398	8,780	6,921,020
						8.8 MW

Apéndice 2

Tablas de Análisis Económico y Ambiental

Flujo de Efectivo Anual por Categoría								
Periodo (años)	Costo (\$/año)							
	Residencial	Comercial 1	Comercial 2	Comercial 3		Comercial4/Industrial		
				20 kW	40 kW	20 kW	40 kW	100 kW
0	-9,067	-30,223	-64,151	-64,151	-128,302	-60,446	-120,891	-302,226
1	-8,009	-26,204	-55,469	-55,716	-111,435	-53,981	-107,977	-269,964
2	-6,950	-22,184	-46,788	-47,280	-94,568	-47,517	-95,063	-237,701
3	-5,892	-18,165	-38,106	-38,845	-77,701	-41,052	-82,148	-205,439
4	-4,833	-14,146	-29,424	-30,409	-60,833	-34,587	-69,234	-173,176
5	-3,775	-10,126	-20,742	-21,974	-43,966	-28,122	-56,320	-140,914
6	-2,716	-6,107	-12,061	-13,538	-27,099	-21,658	-43,406	-108,651
7	-1,658	-2,087	-3,379	-5,103	-10,232	-15,193	-30,492	-76,389
8	-599	1,932	5,303	3,332	6,635	-8,728	-17,578	-44,126
9	459	5,951	13,984	11,768	23,502	-2,263	-4,663	-11,864
10	1,518	9,971	22,666	20,203	40,369	4,201	8,251	20,399
11	2,576	13,990	31,348	28,639	57,236	10,666	21,165	52,661
12	3,635	18,009	40,030	37,074	74,104	17,131	34,079	84,924
13	4,693	22,029	48,711	45,509	90,971	23,595	46,993	117,186
14	5,752	26,048	57,393	53,945	107,838	30,060	59,907	149,449
15	6,810	30,068	66,075	62,380	124,705	36,525	72,822	181,711
16	7,869	34,087	74,756	70,816	141,572	42,990	85,736	213,974
17	8,927	38,106	83,438	79,251	158,439	49,454	98,650	246,236
18	9,986	42,126	92,120	87,687	175,306	55,919	111,564	278,499
19	11,044	46,145	100,802	96,122	192,173	62,384	124,478	310,761
20	12,103	50,164	109,483	104,557	209,041	68,849	137,392	343,024
21	13,161	54,184	118,165	112,993	225,908	75,313	150,307	375,286
22	14,220	58,203	126,847	121,428	242,775	81,778	163,221	407,549
23	15,278	62,223	135,528	129,864	259,642	88,243	176,135	439,811
24	16,337	66,242	144,210	138,299	276,509	94,707	189,049	472,074
25	17,395	70,261	152,892	146,735	293,376	101,172	201,963	504,336

Potencial de Producción Anual por Sector				
Sector	Sistema (kW)	Producción por Area Sistema (kW.hr/año)	Producción por Area (kW.hr/año/sf)	Potencial de Producción (kW.hr/año)
Residencial	3	5,113	20.3	238,748,526
				132,685,694
				185,717,110
Comercial 1	10	17,834	21.2	10,147,546
Comercial 2	21.6	38,521	21.2	29,815,253
Comercial 3	21.6	38,387	21.1	268,711
	43.2	76,775	21.2	11,116,770
Comercial 4/Industrial	20	35,544	21.1	604,248
	40	71,088	21.1	3,270,048
	100	177,720	21.1	11,729,520

Potencial de Producción Anual (kW.hr/año)										
% Area	Residencial			Comercial 1	Comercial 2	Comercial 3		Comercial 4/Industrial		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3							
5%	11,937,426	6,634,285	9,285,855	507,377	1,490,763	13,436	555,838	30,212	163,502	586,476
10%	23,874,853	13,268,569	18,571,711	1,014,755	2,981,525	26,871	1,111,677	60,425	327,005	1,172,952
15%	35,812,279	19,902,854	27,857,566	1,522,132	4,472,288	40,307	1,667,515	90,637	490,507	1,759,428
20%	47,749,705	26,537,139	37,143,422	2,029,509	5,963,051	53,742	2,223,354	120,850	654,010	2,345,904
25%	59,687,131	33,171,423	46,429,277	2,536,887	7,453,813	67,178	2,779,192	151,062	817,512	2,932,380
30%	71,624,558	39,805,708	55,715,133	3,044,264	8,944,576	80,613	3,335,031	181,274	981,014	3,518,856
35%	83,561,984	46,439,993	65,000,988	3,551,641	10,435,339	94,049	3,890,869	211,487	1,144,517	4,105,332
40%	95,499,410	53,074,278	74,286,844	4,059,018	11,926,101	107,484	4,446,708	241,699	1,308,019	4,691,808
45%	107,436,837	59,708,562	83,572,699	4,566,396	13,416,864	120,920	5,002,546	271,912	1,471,522	5,278,284
50%	119,374,263	66,342,847	92,858,555	5,073,773	14,907,627	134,355	5,558,385	302,124	1,635,024	5,864,760
55%	131,311,689	72,977,132	102,144,410	5,581,150	16,398,389	147,791	6,114,223	332,336	1,798,526	6,451,236
60%	143,249,115	79,611,416	111,430,266	6,088,528	17,889,152	161,226	6,670,062	362,549	1,962,029	7,037,712
65%	155,186,542	86,245,701	120,716,121	6,595,905	19,379,915	174,662	7,225,900	392,761	2,125,531	7,624,188
70%	167,123,968	92,879,986	130,001,977	7,103,282	20,870,677	188,097	7,781,739	422,974	2,289,034	8,210,664
75%	179,061,394	99,514,270	139,287,832	7,610,660	22,361,440	201,533	8,337,577	453,186	2,452,536	8,797,140
80%	190,998,820	106,148,555	148,573,688	8,118,037	23,852,203	214,969	8,893,416	483,398	2,616,038	9,383,616
85%	202,936,247	112,782,840	157,859,543	8,625,414	25,342,965	228,404	9,449,254	513,611	2,779,541	9,970,092
90%	214,873,673	119,417,124	167,145,399	9,132,791	26,833,728	241,840	10,005,093	543,823	2,943,043	10,556,568
95%	226,811,099	126,051,409	176,431,254	9,640,169	28,324,490	255,275	10,560,931	574,036	3,106,546	11,143,044
100%	238,748,526	132,685,694	185,717,110	10,147,546	29,815,253	268,711	11,116,770	604,248	3,270,048	11,729,520

Inversión por Por ciento de Area Cubierta										
% Area	Residencial			Comercial 1	Comercial 2	Comercial 3		Comercial 4/ Industrial		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3							
5%	53.1	29.25	41.4	2.5605	7.5231	0.06795	2.79945	0.153	0.828	2.97
10%	106.2	58.5	82.8	5.121	15.0462	0.1359	5.5989	0.306	1.656	5.94
15%	159.3	87.75	124.2	7.6815	22.5693	0.20385	8.39835	0.459	2.484	8.91
20%	212.4	117	165.6	10.242	30.0924	0.2718	11.1978	0.612	3.312	11.88
25%	265.5	146.25	207	12.8025	37.6155	0.33975	13.99725	0.765	4.14	14.85
30%	318.6	175.5	248.4	15.363	45.1386	0.4077	16.7967	0.918	4.968	17.82
35%	371.7	204.75	289.8	17.9235	52.6617	0.47565	19.59615	1.071	5.796	20.79
40%	424.8	234	331.2	20.484	60.1848	0.5436	22.3956	1.224	6.624	23.76
45%	477.9	263.25	372.6	23.0445	67.7079	0.61155	25.19505	1.377	7.452	26.73
50%	531	292.5	414	25.605	75.231	0.6795	27.9945	1.53	8.28	29.7
55%	584.1	321.75	455.4	28.1655	82.7541	0.74745	30.79395	1.683	9.108	32.67
60%	637.2	351	496.8	30.726	90.2772	0.8154	33.5934	1.836	9.936	35.64
65%	690.3	380.25	538.2	33.2865	97.8003	0.88335	36.39285	1.989	10.764	38.61
70%	743.4	409.5	579.6	35.847	105.3234	0.9513	39.1923	2.142	11.592	41.58
75%	796.5	438.75	621	38.4075	112.8465	1.01925	41.99175	2.295	12.42	44.55
80%	849.6	468	662.4	40.968	120.3696	1.0872	44.7912	2.448	13.248	47.52
85%	902.7	497.25	703.8	43.5285	127.8927	1.15515	47.59065	2.601	14.076	50.49
90%	955.8	526.5	745.2	46.089	135.4158	1.2231	50.3901	2.754	14.904	53.46
95%	1008.9	555.75	786.6	48.6495	142.9389	1.29105	53.18955	2.907	15.732	56.43
100%	1062	585	828	51.21	150.462	1.359	55.989	3.06	16.56	59.4

Potencial de Reduccion de Emisiones (CO2)								
Sector	Sistema (kW)	Emisiones por Sistema (kg/año)	Emisiones por Area Sistema (kg/año/sf)	Potencial de Emisiones (kg/año)	Emisiones sin PV por unidad (kg/año)	Emisiones sin PV (kg/año)	Reduccion Emisiones (kg/año)	% Reducción
Residencial	3	1,682	6.67	78,540,000	4,591	180,288,570	101,748,570	56.4
				43,649,000		80,094,586	36,445,586	45.5
				61,094,500		120,137,288	59,042,788	49.1
Comercial 1	10	15,764	18.74	8,969,716	26,528	15,094,432	6,124,716	40.6
Comercial 2	21.6	34,421	18.95	26,641,853	57,670	44,636,580	17,994,727	40.3
Comercial 3	21.6	80,637	44.39	564,463	103,806	726,642	162,179	22.3
	43.2	57,468	15.82	8,275,372		14,948,064	6,672,692	44.6
Comercial 4/Industrial	20	405,306	240.97	6,890,202	426,758	7,254,886	364,684	5.0
	40	383,853	114.11	17,657,238		19,630,868	1,973,630	10.1
	100	319,494	37.99	21,086,604		28,166,028	7,079,424	25.1

Potencial en Reducción de Emisiones Anual (kg/año) y % de Reducción Sector Residencial						
% Area	Residencial					
	Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	(kg/año)	%	(kg/año)	%	(kg/año)	%
5%	5,087,429	2.8	1,822,279	2.3	2,952,139	2.5
10%	10,174,857	5.6	3,644,559	4.6	5,904,279	4.9
15%	15,262,286	8.5	5,466,838	6.8	8,856,418	7.4
20%	20,349,714	11.3	7,289,117	9.1	11,808,558	9.8
25%	25,437,143	14.1	9,111,397	11.4	14,760,697	12.3
30%	30,524,571	16.9	10,933,676	13.7	17,712,836	14.7
35%	35,612,000	19.8	12,755,955	15.9	20,664,976	17.2
40%	40,699,428	22.6	14,578,234	18.2	23,617,115	19.7
45%	45,786,857	25.4	16,400,514	20.5	26,569,255	22.1
50%	50,874,285	28.2	18,222,793	22.8	29,521,394	24.6
55%	55,961,714	31.0	20,045,072	25.0	32,473,533	27.0
60%	61,049,142	33.9	21,867,352	27.3	35,425,673	29.5
65%	66,136,571	36.7	23,689,631	29.6	38,377,812	31.9
70%	71,223,999	39.5	25,511,910	31.9	41,329,952	34.4
75%	76,311,428	42.3	27,334,190	34.1	44,282,091	36.9
80%	81,398,856	45.1	29,156,469	36.4	47,234,230	39.3
85%	86,486,285	48.0	30,978,748	38.7	50,186,370	41.8
90%	91,573,713	50.8	32,801,027	41.0	53,138,509	44.2
95%	96,661,142	53.6	34,623,307	43.2	56,090,649	46.7
100%	101,748,570	56.4	36,445,586	45.5	59,042,788	49.1

Potencial en Reducción de Emisiones Anual (kg/año) y % de Reducción												
Sector Comercial e Industrial												
% Area	Comercial 1		Comercial 2		Comercial 3				Comercial 4/Industrial			
	(kg/año)	%	(kg/año)	%	(kg/año)	%	(kg/año)	%	(kg/año)	%	(kg/año)	%
5%	306,236	2.0	899,736	2.0	8,109	1.1	333,635	2.2	18,234	0.3	98,682	0.5
10%	612,472	4.1	1,799,473	4.0	16,218	2.2	667,269	4.5	36,468	0.5	197,363	1.0
15%	918,707	6.1	2,699,209	6.0	24,327	3.3	1,000,904	6.7	54,703	0.8	296,045	1.5
20%	1,224,943	8.1	3,598,945	8.1	32,436	4.5	1,334,538	8.9	72,937	1.0	394,726	2.0
25%	1,531,179	10.1	4,498,682	10.1	40,545	5.6	1,668,173	11.2	91,171	1.3	493,408	2.5
30%	1,837,415	12.2	5,398,418	12.1	48,654	6.7	2,001,808	13.4	109,405	1.5	592,089	3.0
35%	2,143,651	14.2	6,298,154	14.1	56,763	7.8	2,335,442	15.6	127,639	1.8	690,771	3.5
40%	2,449,886	16.2	7,197,891	16.1	64,872	8.9	2,669,077	17.9	145,874	2.0	789,452	4.0
45%	2,756,122	18.3	8,097,627	18.1	72,981	10.0	3,002,712	20.1	164,108	2.3	888,134	4.5
50%	3,062,358	20.3	8,997,363	20.2	81,090	11.2	3,336,346	22.3	182,342	2.5	986,815	5.0
55%	3,368,594	22.3	9,897,100	22.2	89,199	12.3	3,669,981	24.6	200,576	2.8	1,085,497	5.5
60%	3,674,830	24.3	10,796,836	24.2	97,308	13.4	4,003,615	26.8	218,810	3.0	1,184,178	6.0
65%	3,981,065	26.4	11,696,572	26.2	105,417	14.5	4,337,250	29.0	237,045	3.3	1,282,860	6.5
70%	4,287,301	28.4	12,596,309	28.2	113,526	15.6	4,670,885	31.2	255,279	3.5	1,381,541	7.0
75%	4,593,537	30.4	13,496,045	30.2	121,635	16.7	5,004,519	33.5	273,513	3.8	1,480,223	7.5
80%	4,899,773	32.5	14,395,781	32.3	129,744	17.9	5,338,154	35.7	291,747	4.0	1,578,904	8.0
85%	5,206,009	34.5	15,295,518	34.3	137,853	19.0	5,671,788	37.9	309,981	4.3	1,677,586	8.5
90%	5,512,244	36.5	16,195,254	36.3	145,962	20.1	6,005,423	40.2	328,216	4.5	1,776,267	9.0
95%	5,818,480	38.5	17,094,990	38.3	154,070	21.2	6,339,058	42.4	346,450	4.8	1,874,949	9.6
100%	6,124,716	40.6	17,994,727	40.3	162,179	22.3	6,672,692	44.6	364,684	5.0	1,973,630	10.1

Apéndice 3

Resultados del Programa HOMER para los Ejemplos de Aplicación

System Report - Alcaldía

Sensitivity case

Primary Load 1 Scaled Average: 1,046 kWh/d

AEE Power Price: 0.217 \$/kWh

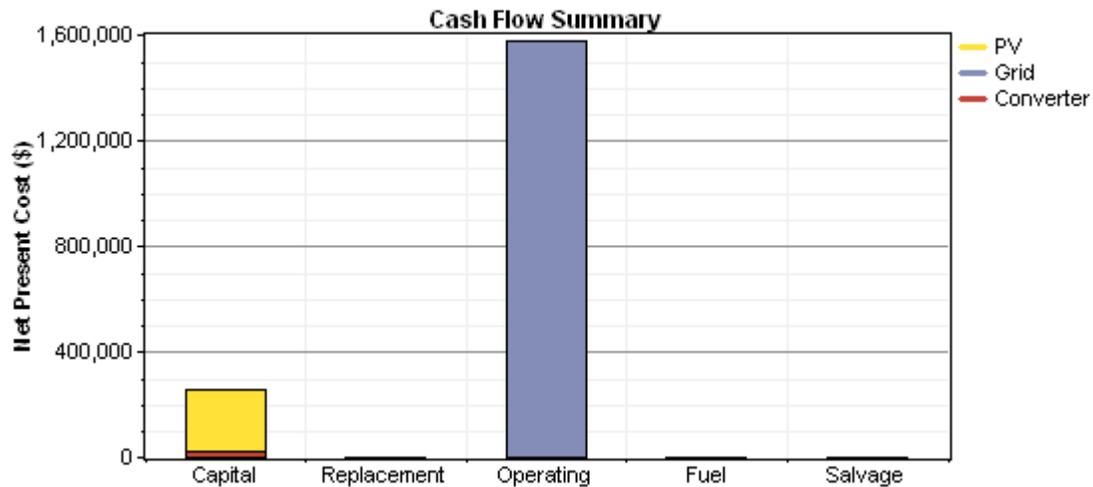
Annual Real Interest Rate: 0.94 %

System architecture

PV Array	36.2 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	40 kW
Rectifier	40 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 1,834,322
Levelized cost of energy	\$ 0.217/kWh
Operating cost	\$ 71,253/yr

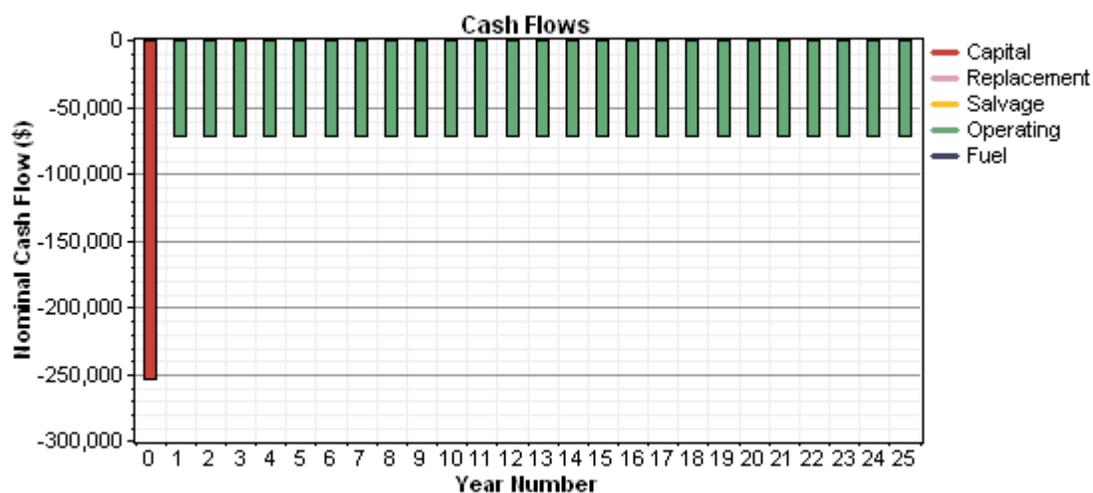


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	231,945	0	0	0	0	231,945
Grid	0	0	1,580,923	0	0	1,580,923
Converter	21,455	0	0	0	0	21,455
System	253,400	0	1,580,923	0	0	1,834,322

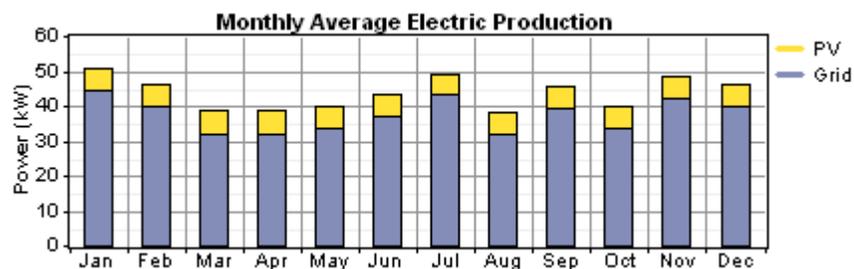
Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	10,454	0	0	0	0	10,454
Grid	0	0	71,253	0	0	71,253
Converter	967	0	0	0	0	967
System	11,421	0	71,253	0	0	82,674



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	55,952	15%
Grid purchases	328,357	85%
Total	384,309	100%

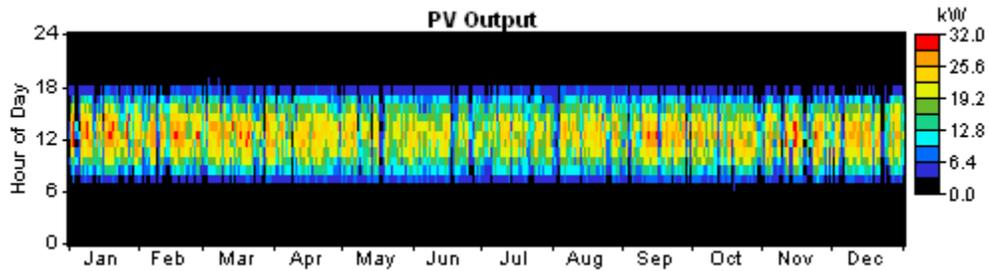


Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	381,790	100%

Total	381,790	100%
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.00140	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.146	

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	36.2	kW
Mean output	6.39	kW
Mean output	153	kWh/d
Capacity factor	17.6	%
Total production	55,952	kWh/yr
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	30.7	kW
PV penetration	14.7	%
Hours of operation	4,420	hr/yr
Levelized cost	0.187	\$/kWh

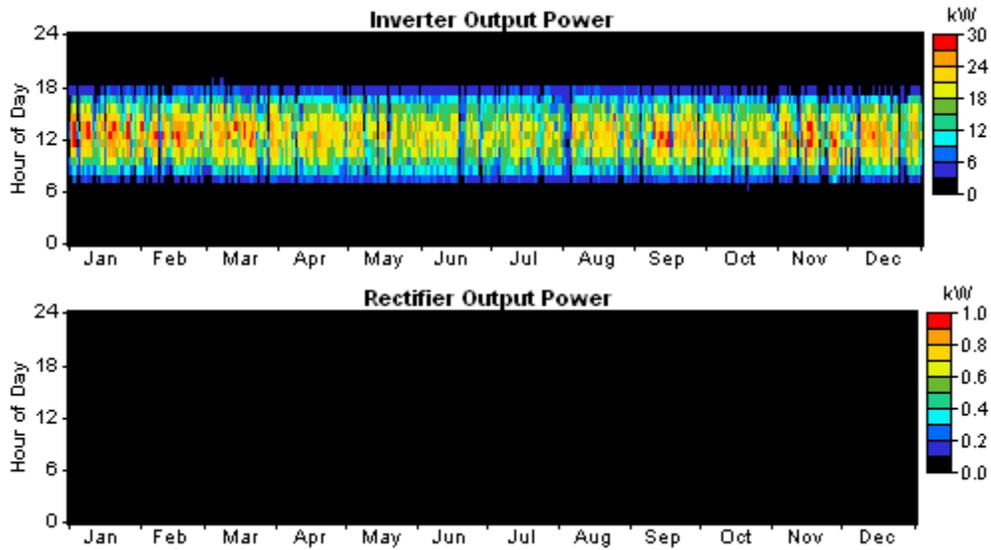


Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	40.0	40.0	kW
Mean output	6.1	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW

Maximum output	29.3	0.0	kW
Capacity factor	15.2	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,420	0	hrs/yr
Energy in	55,952	0	kWh/yr
Energy out	53,434	0	kWh/yr
Losses	2,518	0	kWh/yr



Grid

Rate: AEE

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	32,951	0	32,951	53	7,150	0
Feb	26,840	0	26,840	48	5,824	0
Mar	23,793	0	23,793	41	5,163	0
Apr	23,123	0	23,123	40	5,018	0
May	25,232	0	25,232	41	5,475	0
Jun	26,888	0	26,888	45	5,835	0
Jul	32,115	0	32,115	51	6,969	0
Aug	23,916	0	23,916	40	5,190	0

Sep	28,271	0	28,271	47	6,135	0
Oct	25,217	0	25,217	41	5,472	0
Nov	30,322	0	30,322	50	6,580	0
Dec	29,691	0	29,691	48	6,443	0
Annual	328,357	0	328,357	53	71,253	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	207,521
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	900
Nitrogen oxides	440

System Report – Palacio de Recreación y Deportes, Mayagüez

Sensitivity case

Primary Load 1 Scaled Average: 3,544 kWh/d

AEE Power Price: 0.244 \$/kWh

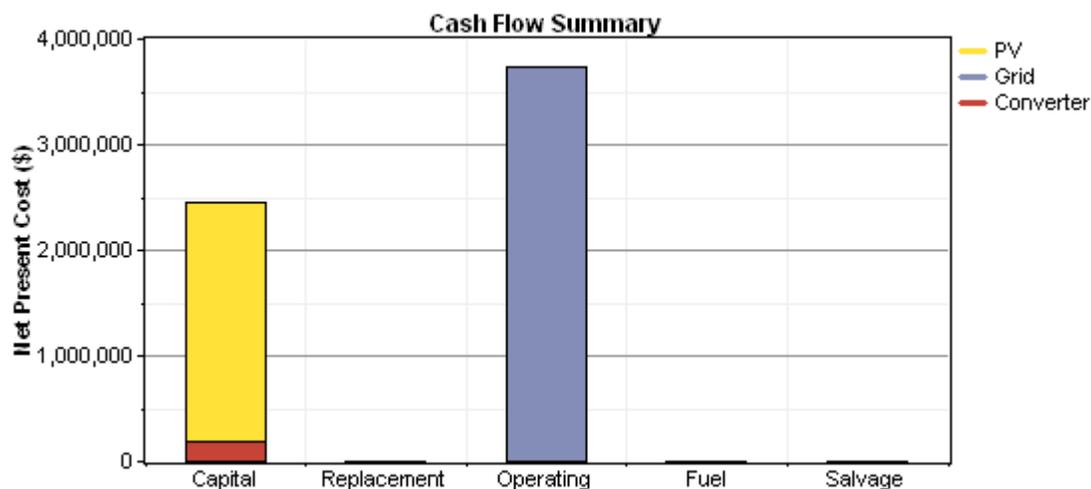
Annual Real Interest Rate: 0.94 %

System architecture

PV Array	409 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	520 kW
Rectifier	520 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 6,188,991
Levelized cost of energy	\$ 0.216/kWh
Operating cost	\$ 168,393/yr

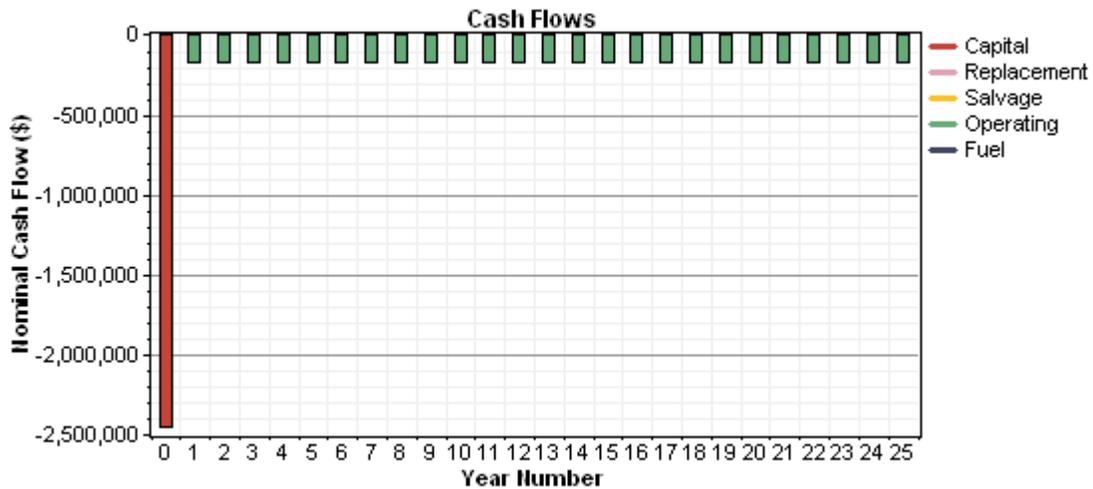


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	2,266,551	0	0	0	0	2,266,551
Grid	0	0	3,736,190	0	0	3,736,190
Converter	186,250	0	0	0	0	186,250
System	2,452,801	0	3,736,190	0	0	6,188,991

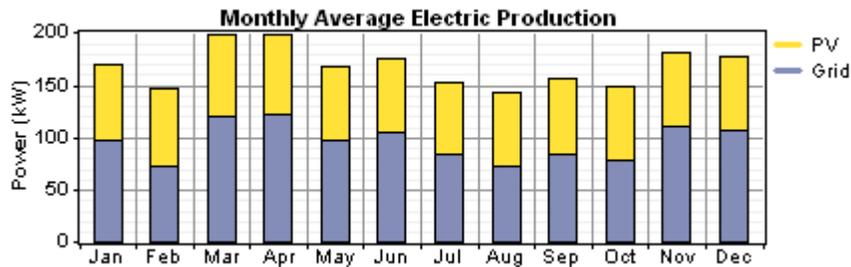
Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	102,155	0	0	0	0	102,155
Grid	0	0	168,393	0	0	168,393
Converter	8,394	0	0	0	0	8,394
System	110,550	0	168,393	0	0	278,943



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	631,856	43%
Grid purchases	837,036	57%
Total	1,468,892	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	1,293,559	90%

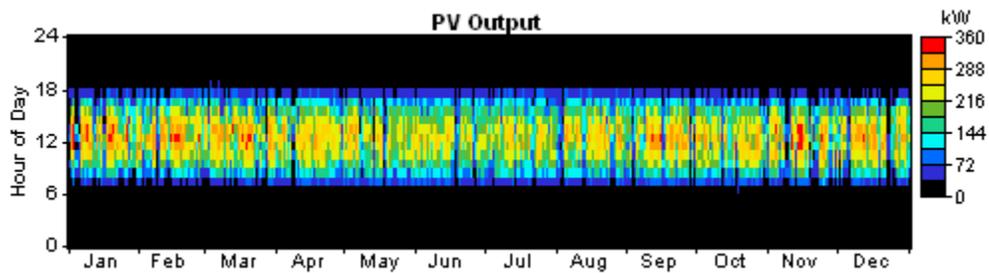
Grid sales	146,901	10%
Total	1,440,460	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.00205	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.430	

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	409	kW
Mean output	72.1	kW
Mean output	1,731	kWh/d
Capacity factor	17.6	%
Total production	631,856	kWh/yr

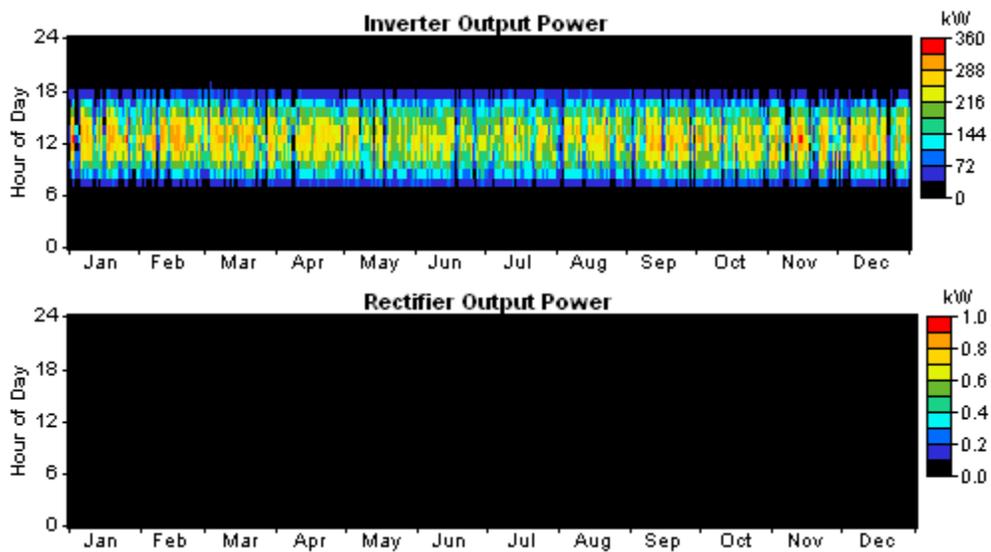
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	347	kW
PV penetration	48.8	%
Hours of operation	4,420	hr/yr
Levelized cost	0.162	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	520	520	kW
Mean output	69	0	kW

Minimum output	0	0	kW
Maximum output	331	0	kW
Capacity factor	13.2	0.0	%
Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,420	0	hrs/yr
Energy in	631,856	0	kWh/yr
Energy out	603,424	0	kWh/yr
Losses	28,432	0	kWh/yr



Grid

Rate: AEE

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	72,485	14,171	58,313	154	14,228	0
Feb	48,177	18,476	29,701	120	7,247	0
Mar	89,062	9,522	79,540	191	19,408	0
Apr	87,427	6,870	80,557	192	19,656	0
May	72,838	9,507	63,331	158	15,453	0
Jun	76,049	7,022	69,027	169	16,843	0
Jul	61,676	11,714	49,962	138	12,191	0

Aug	53,364	17,080	36,284	121	8,853	0
Sep	60,439	15,470	44,969	137	10,972	0
Oct	57,763	15,672	42,090	128	10,270	0
Nov	78,992	10,367	68,625	169	16,744	0
Dec	78,763	11,028	67,735	166	16,527	0
Annual	837,036	146,901	690,135	192	168,393	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	436,165
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	1,891
Nitrogen oxides	925

Apéndice 4

Cálculo de Áreas Aproximadas Potencial Comercial
E Industrial utilizando Google Earth

Establecimiento	Largo	Ancho	Area	Area Total
Holiday Inn	110	86	9460	23460
	75	72	5400	
	100	86	8600	
Mayaguez Resort	198	63	12474	65591
	207	113	23391	
	67	34	2278	
	147	87	12789	
	177	43	7611	
	111	22	2442	
	98	47	4606	
Pontificia Universidad Catolica	320	77	24640	41272
	198	84	16632	
RUM				
Edif. Banda	120	50	6000	6000
INME	100	50	5000	17870
	165	78	12870	
Antiguo Biologia	215	82	17630	17630
Monzon	158	54	8532	12820
	67	64	4288	
ROTC	196	39	7644	11004
	105	32	3360	
Piñero	125	50	6250	21226
	133	38	5054	
	136	29	3944	
	122	49	5978	
Biblioteca	243	50	12150	49408
	202	147	29694	
	122	62	7564	
Centro de Estudiantes	108	85	9180	24322
	226	67	15142	
Chardon	146	37	5402	27202
	180	42	7560	
	128	42	5376	
	148	38	5624	
	60	54	3240	
Stefani	156	50	7800	38920
	212	50	10600	
	195	50	9750	
	200	50	10000	
	35	22	770	
ININ	101	60	6060	25102
	75	50	3750	
	140	80	11200	
	93	44	4092	
Terrats	170	42	7140	7140
Recaudaciones	150	25	3750	3750
Fisica	139	128	17792	37163
	133	62	8246	
	125	65	8125	
	60	50	3000	
Antiguo ADMI	254	50	12700	12700
Adjunto ADMI	270	58	15660	15660
Enfermeria	194	122	23668	23668
Gimnasio	197	93	18321	18321
Mangual	208	131	27248	27248
Quimica	460	56	25760	25760
Biologia	325	145	47125	47125
Ingenieria Agricola	192	86	16512	16512

Edificios y Terreno	298	60	17880	
	91	36	3276	
	342	56	19152	40308
INQU	222	135	29970	29970
INCI	215	167	35905	
	55	40	2200	38105
ADMI	40	37	1480	
	42	41	1722	
	50	44	2200	
	54	38	2052	
	57	44	2508	
	65	26	1690	
	65	32	2080	
	80	38	3040	
	77	35	2695	
	90	33	2970	
	101	45	4545	
	250	45	11250	38232
Arte	217	108	23436	
Registraduria y edificios aledaños				56524
Total RUM				820013