

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA  
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES  
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**PLAN PARA LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR EN UNA  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA**

Requisito parcial para la obtención del  
Grado de Maestría en Planificación  
en Planificación Ambiental

Por  
Javier Colón Félix

7 de mayo de 2009

## **DEDICATORIA**

*A todas las personas que dedican sus vidas  
a la protección del medioambiente  
y a aquellos que se preocupan por educar  
al pueblo sobre este tema*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar esta sección agradeciendo la ayuda brindada por mi comité de tesis compuesto por los profesores Carlos M. Padín, José Villamil y Orlando García. Gracias por creer en este trabajo, por dedicar de su tiempo y por siempre orientarme en la dirección correcta. Su ayuda indudablemente fue muy valiosa y necesaria para poder culminar este trabajo.

También quiero agradecer la ayuda brindada por la oficina de Planta Física de la Universidad Metropolitana en especial al Ingeniero Caballero por dedicar de su tiempo hacia mi persona y por la información brindada referente al consumo y las facturas de energía, proyectos de conservación y uso eficiente de energía implantados en la institución y medidas de los edificios entre otras. Sin esta información el trabajo estaría incompleto y no tendría sentido.

También quiero agradecer a las diferentes compañías que trabajan con sistemas de energía renovable por brindarme información técnica y por las diferentes cotizaciones realizadas para este trabajo.

También quiero agradecer la ayuda brindada por mis compañeros de trabajo y de estudio por siempre apoyarme y ayudarme de una u otra forma a completar mis estudios y en especial este trabajo.

Por último, quiero agradecer a mis amistades y a mi familia por siempre brindarme su apoyo, sus consejos y recomendaciones para poder completar este capítulo en mi vida. En especial a dos personas bien importantes en mi vida: mi madre Nilsa I. Félix por enseñarme con tu ejemplo el significado de las palabras compromiso,

dedicación, entrega, esfuerzo, perseverancia y sacrificio; y a mi esposa Lisamarie A. Lebrón por su ayuda incondicional, por ser la crítica principal en la lectura de este documento y por ceder de tu tiempo durante este periodo para ayudarme a completar esta etapa de mi vida. Sabes lo especial e importante que eres para mí. A todos, muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE APÉNDICES.....	ix
ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema de planificación.....	1
Problema de planificación.....	5
Justificación del problema de planificación.....	8
Metas y objetivo.....	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
Trasfondo histórico.....	13
Marco conceptual o teórico.....	17
Estudio de casos.....	34
Marco legal.....	46
CAPÍTULO III: METODOLOGIA.....	55
.....Área de estudio.....	55
.....Fuente de datos.....	57
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	59
CAPÍTULO V: ESTRATEGIAS Y PLAN DE ACCIÓN.....	66
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
LITERATURA CITADA.....	84

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de energía edificio Ana G Méndez año 2008.....	91
Tabla 2. Cotizaciones sistemas fotovoltaicos según consumo energético edificio Ana G. Méndez.....	92
Tabla 3. Consumo de energía de la Institución y del edificio Ana G. Méndez por mes.....	93
Tabla 4. Factura mensual por consumo de energía en la Institución y en el edificio Ana G Méndez.....	94
Tabla 5. Comparación sistema fotovoltaico propuesto para edificio AGM de la UMET y el sistema de la Universidad de Harvard.....	95
Tabla 6. Comparación consumo energético en la Institución durante los años 2007 y 2008.....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Foto aérea del área y de los edificios en la Universidad Metropolitana.....	98
Figura 2. Foto aérea del techo del edificio Ana G. Méndez en al UMET.....	99
Figura 3. Matrícula de estudiantes por año en la Universidad Metropolitana.....	100
Figura 4. Consumo energético por año en la UMET.....	101
Figura 5. Factura por el consumo energético anual en la Institución.....	102
Figura 6. Consumo energético por estudiante en la Institución.....	103

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Cálculos para determinar tamaño del sistema fotovoltaico edificio Ana G. Méndez.....	105
Apéndice 2. Cálculos para determinar número de módulos a instalarse en el techo del edificio Ana G. Méndez.....	107



## ABREVIATURAS

AC – Corriente alterna

A.E.E – Autoridad de Energía Eléctrica

ASUME – Centro de Recaudaciones de Ingresos Municipales

BIPV – Celdas fotovoltaicas integradas a edificios

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

DC – Corriente directa

DOE – *Department of Energy*

EPA – Agencia de Protección Ambiental

HBS – *Harvard Business School*

HGCI – *Harvard Green Building Initiative*

KW – *Kilowatts*

KWh – *Kilowatts-horas*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

MW - *Megawatts*

NREL – *National Renewable Energy Laboratory*

PURPLA – *Public Utility Regulatory Policies Act*

PV – Fotovoltaico

UB – Universidad del estado de Nueva York en Buffalo

UMET – Universidad Metropolitana

USGBC – *United State Green Building Council*

UV – Rayos ultravioletas

## RESUMEN

Por los pasados años la Universidad Metropolitana (UMET) del Sistema Universitario Ana G. Méndez ha visto como su costo operacional en términos de energía ha aumentado continuamente. Esto a pesar de que el consumo energético y la matrícula de estudiantes en la Institución han disminuido, y de que se han implantado algunas medidas de conservación y uso eficiente de energía en la institución. Esto demuestra que la factura de energía en Puerto Rico no depende solamente del consumo, sino que hay otros factores que la afectan como por ejemplo, el tipo de combustible que se utiliza para generar la electricidad. Con el fin de disminuir el consumo energético de la Institución, el costo operacional relacionado a este consumo, además de su impacto ambiental, se realizó un estudio para conocer cuán eficiente se está utilizando la energía en la Institución y qué se ha realizado para mejorar esta situación. Este estudio también incluyó un análisis del consumo energético de la Institución por los pasados años y su factura asociada, análisis de las medidas de conservación y uso eficiente de energías implantadas en la Institución y sus proyectos futuros, además de estudiar si la Institución tiene un plan relacionado a la conservación de energía o si tiene planeado desarrollar uno. Para recopilar esta información, realizamos visitas de campo, estudiamos imágenes aéreas y revisamos documentos relacionados a la Institución. A base de los resultados obtenidos, desarrollamos estrategias relacionadas a la conservación y al uso eficiente de energía para disminuir el consumo energético en la institución además de recomendar la utilización de la energía solar para producir parte de la energía requerida para operar el edificio Ana G. Méndez en la institución. El fin de estos resultados es exhortar a la Institución a realizar estos proyectos y utilizar los mismos para crear conciencia en el estudiantado, la facultad y la comunidad sobre los beneficios relacionados a la conservación y al uso eficiente de energía además de utilizar fuentes de energía renovable para producir electricidad.

## ABSTRACT

For the past years, the Metropolitan University of Ana G. Méndez University System has seen how its operational costs for energy have increased continuously although the energy consumption and students quota in the institution have decreased and some conservation and energy efficient measures have been implemented. This shows the electricity bill in Puerto Rico does not depend only from the consumption, but from other factors, for example, combustible type used to generate electricity. With the purpose to reduce energy consumption in the institution, operational costs related to this and environmental impact, a study was realized to know how efficient the energy have been used in the institution and what has been done to improve this situation. Energy consumption analysis for the past years and associated costs, analysis of conservation and energy efficient measures already implemented, and the institution plans in long term have supplemented this study. Field visits, aerial images and related documentation to the institution helped to compile this information. From the obtained results, new strategies related to conservation and efficient energy use were developed to reduce energy consumption of the institution in which the solar energy was recommended to produce part of the required energy to operate the Ana G Mendez building inside the campus. The purpose of these results is to encourage the institution to realize these projects and use them to keep environmental consciousness within students, faculty and community about the related benefits of conservation and energy efficient use and renewable sources to produce energy.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del problema de planificación**

Actualmente Puerto Rico se caracteriza por un uso intensivo de electricidad, con una red de electrificación altamente densa que cuenta con aproximadamente 5.4 líneas de distribución por kilómetro cuadrado (López & Villanueva, 2006). Esta red provee energía a sectores industriales, comerciales y residenciales. Hoy día superamos en consumo de energía per cápita a la mayoría de nuestros vecinos de la región del Caribe (López & Villanueva, 2006). El consumo total de energía eléctrica en Puerto Rico ha crecido a un ritmo de 3% anual desde el año 1990 (Ley # 248, 2008). Este alto consumo puede estar relacionado a que gran parte de la energía en el planeta es desperdiciada, debido en gran parte a tecnologías ineficientes y prácticas derrochadoras (Chiras, 2001). Según datos de la Autoridad Energía Eléctrica (AEE), Puerto Rico es uno de los países que más energía consume en el mundo. En el renglón de consumo por kilómetro cuadrado, la isla alcanzó 2,600 megavatios por año, la calificación más alta en relación con países de economías mucho más desarrolladas que la nuestra, como Estados Unidos que consume 500 megavatios por año (Díaz, 2008). En el renglón de consumo energético por habitante, Puerto Rico tiene un consumo de 5,802.5 kWh al año, lo que compara con países de poblaciones muy parecidas a la nuestra y que compiten con Puerto Rico en términos económicos como por ejemplo Irlanda e Israel que consumen 5,807.6 y 6,435.69 kWh al año respectivamente y un poco por debajo de otros países como Nueva Zelanda y Singapur que consumen 9,282.52 y 7,857.14 kWh respectivamente.

Gran parte de la producción de energía a nivel global depende de dos fuentes no renovables: el petróleo y el gas (López & Villanueva, 2006). Otras fuentes que se utilizan en menor grado son la energía hidrológica, la energía solar, la energía eólica, la energía termal (vapor de géiser), el oleaje y la energía nuclear.

En Puerto Rico, la producción de energía depende en gran medida del petróleo, el cual es una fuente de energía no renovable. Aunque el precio del petróleo en el mercado siempre ha estado variando, en los pasados años su valor ha aumentado en una forma descontrolada, afectando la economía de los países de diferentes maneras. Este aumento ha sido por situaciones alrededor del mundo lo que ha creado una inestabilidad en los mercados. Una variable que juega en contra de una posible estabilización o reducción de los precios del petróleo es que hay dos países con economías emergentes: China e India. Una cuarta parte del aumento en el precio del petróleo se debe al consumo de estos dos países (Alameda e Irizarry, 2006).

Los precios del petróleo en los pasados 5 años aumentaron de \$31.08 dólares el barril al cierre del año 2003, hasta el precio de \$100.09 dólares en el año 2008 (Hermosilla, 2008). Para el mes de junio del año 2008, el precio del petróleo llegó a alcanzar los \$148 dólares el barril (Lama, 2008). Los expertos estiman como muy posible que para fines de este año el precio del barril de petróleo alcance la cifra récord de \$200.00 dólares el barril (Cruz, 2008). En nuestro caso, el aumento del precio del petróleo afecta directamente la producción de energía debido a que dependemos en gran medida de éste. Esto a su vez, afecta la economía del país debido a que el gasto por energía del consumidor y de las industrias es mayor. Además, los altos precios del petróleo tienen un severo impacto en la economía local al perderse un capital que, en vez

de permanecer en la isla para generar actividad económica, se transfiere e ingresa en las economías de los países exportadores de petróleo.

En los pasados años, la Autoridad de Energía Eléctrica en busca de diversificar sus medios de producir energía, ha comenzado a reducir la importación del petróleo mediante un plan que busca reducir la utilización de petróleo para producir electricidad en la isla a un 32% al cabo de nueve años. Esta movida busca ahorrar aproximadamente un 40% en la compra de combustible (Cruz, 2008). Entre las opciones que tiene la Autoridad de Energía Eléctrica para producir energía se encuentran la utilización del carbón y el gas natural, los cuales son combustibles fósiles, fuentes de energía no renovables y ambos impactan la calidad del aire cuando son utilizados para producir electricidad. En ese sentido, el cambio más significativo ha sido la incorporación de operaciones privadas que producen electricidad con carbón y gas natural como son los casos de Ecoeléctrica en Guayanilla, una planta de gas natural, y AES en Guayama, la cual utiliza el carbón para producir electricidad. Para el año 2005, el 80.2% de la energía eléctrica en el país provino del petróleo, 9.4% del gas natural, 8.2% del carbón y solamente un 2% de fuentes hidroeléctricas (López & Villanueva, 2006). En total, la isla depende de un 98% de combustibles fósiles para la generación de electricidad (Lama, 2008).

Esto aunque reduce la dependencia del petróleo, fomenta el uso de fuentes de energía no renovables las cuales no están exentas de efectos nocivos a la salud y al ambiente. La comunidad científica sostiene que las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural utilizados para obtener energía, contribuyen al calentamiento global causando, a su vez, el efecto de invernadero.

Entre los gases que son producidos en la quema de estos combustibles se encuentra el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que es uno de los gases relacionados con el efecto de invernadero. La concentración atmosférica de este gas ha aumentado desde la industrialización de la sociedad sobre los pasados 150 años y hoy en día está en los niveles más altos medidos durante los pasados 500,000 años (Kemp, 2005). En los últimos años los países han desarrollado programas y acuerdos los cuales persiguen la disminución de las emisiones de estos gases para ayudar a reducir el calentamiento global. Por ejemplo, el congreso de los Estados Unidos así como organizaciones internacionales están abogando por establecer límites en las emisiones de dióxido de carbono, producto de la quema de combustibles fósiles (Lama, 2008). Además la Unión Europea se ha comprometido a reducir las emisiones en 20%, esto a niveles menores que los producidos en 1990, lo cual proyectan lograr para el 2020 (Mignucci, 2008). Al utilizar las fuentes de energía no renovables, la AEE no está contribuyendo a la reducción de las emisiones de los gases de invernadero además que seguirá contribuyendo a la contaminación ambiental del país. Además, si se establecen límites en las emisiones de dióxido de carbono en el país, la AEE no podrá cumplir con los mismos si no comienza a diversificar mejor sus fuentes de energía (Lama, 2008).

Aunque el gobierno de Puerto Rico ha establecido en su política pública la diversificación de las fuentes de energía, la cual está centrada en la utilización de combustibles fósiles, hay muchos sectores de la sociedad que reclaman el desarrollo de otras fuentes que sean renovables como por ejemplo la solar y la eólica. Estas fuentes además de ser renovables y ambientalmente limpias, son alternativas que resultan económicamente viables y las mismas ofrecen una oportunidad única de ser utilizadas en

el país. El gobierno ha fallado en brindar incentivos al ciudadano o a las empresas para que utilicen fuentes de energía renovable para producir parte de la electricidad que ellos consumen y así reducir sus gastos. Esta estrategia del gobierno podría estar dirigida a evitar que se afecte la estabilidad del sistema eléctrico en el país además de evitar pérdidas económicas en la empresa.

### **Problema de planificación**

El problema de planificación con respecto a la energía se caracteriza por tener varios protagonistas entre los cuales se encuentran el alto consumo de energía, alta dependencia en una sola fuente, fuentes de energía no renovables, falta de programas e incentivos a las fuentes de energía renovables de parte del gobierno, ciudadanía y las instituciones académicas, y la falta de educación al ciudadano. En primer lugar, Puerto Rico se ha caracterizado por ser una sociedad con un estilo de vida de alto consumo el cual induce a la adquisición de todo tipo de enseres y máquinas que consumen grandes cantidades de combustible o electricidad. El ciudadano común no utiliza los equipos que son eficientes en el consumo de energía debido a que los mismos tienen un alto valor económico. Además, el gobierno no brinda incentivos al ciudadano para la adquisición de estos equipos. Otro punto es que en el país tampoco se ha fomentado en la industria de la construcción el diseño de edificios sustentables o edificios verdes los cuales hacen uso eficiente de la energía entre otras cosas. Para esto, hay guías relacionadas con los componentes que nos ofrece la arquitectura bioclimática, las cuales especifican como las edificaciones nuevas o ya construidas pueden ser eficientes en el uso de la energía lo que puede resultar en ahorros sustanciales en términos de calentamiento (de ser necesario),



enfriamiento, iluminación y en equipos electrónicos. Por el contrario encontramos una tendencia en los diseños y construcciones modernas que se distancian de los postulados de eficiencia arquitectónica generando una mayor dependencia en el consumo energético como lo es la dependencia en el aire acondicionado. Desafortunadamente la mayoría de los desarrolladores, buscando ahorros económicos en sus proyectos y pensando en tiempos actuales y no en el futuro, no utilizan diseños o medidas que estén dirigidas al uso eficiente de la energía y así poder reducir la demanda de la misma. Además, en las estrategias sobre diversificación en los medios de producción de energía no se ha fomentado la conservación de energía de una forma agresiva. Las agencias y el gobierno han realizado recomendaciones sobre el manejo y la conservación de energía en menor escala, pero como no se ve un compromiso para establecer programas de energía los ciudadanos no se ven obligados a cumplirlas. Aunque la conservación tiene muchas ventajas, ésta continúa siendo una práctica muy por debajo de lo esperado. Las razones son varias pero se pueden mencionar entre otras que las personas están acostumbradas a la abundancia de la energía y piensan que las fuentes de combustibles fósiles son inagotables. Otra razón es que los productos de alta eficiencia como las bombillas compactas fluorescentes cuestan mucho más que las menos eficientes y las personas no piensan en los ahorros al cabo de un tiempo y tampoco piensan en las consecuencias ambientales al desperdiciar la energía. A la ciudadanía no se le ha enfatizado que la conservación de energía ofrece beneficios sociales, económicos y ambientales los cuales ayudan a mejorar las condiciones de vida en los países. Según datos del *World Resources Institute*, el mundo puede suplir el 90% de la nueva energía necesaria entre los años 1987 al 2020 simplemente haciendo un uso más eficiente de la energía que se genera hoy día

(Chiras, 2001). Necesitamos nuevas estrategias que se enfoquen en reducir el uso de la energía a través de la eficiencia y la conservación en vez de aumentar el suministro de la misma. Además, es significativamente más barato invertir en la eficiencia de energía que construir o mantener a las fuentes contaminadoras que suministran electricidad (Kemp, 2005). Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, por cada dólar invertido en la eficiencia de energía, los costos de generar potencia se pueden reducir de entre tres a cinco dólares.

Segundo, la agencia encargada del servicio energético del país, la Autoridad de Energía Eléctrica, aunque tiene planes de diversificación, no está considerando proyectos que envuelvan fuentes renovables de energía a corto plazo. La fuente de energía primordial en Puerto Rico es el petróleo y esto ocurre desde que la base económica en el país cambió de una agrícola a una industrial lo que aumentó la demanda de energía. Este cambio fomentó la construcción de plantas termoeléctricas para poder suplir esta demanda. Esto ocurrió hace cerca de cincuenta años y todavía en el año 2008 la fuente principal de energía es el petróleo. En años recientes las fuentes de energía se han diversificado un poco debido a la entrada de una planta de gas natural y otra de carbón al sistema eléctrico del país. Aunque el uso de estas fuentes para producir electricidad ayuda a disminuir la dependencia del petróleo, todavía continúan siendo fuentes no renovables de energía que en un futuro van a disminuir.

En términos de las instituciones académicas, las mismas han fallado en educar al pueblo en cuanto a la conservación de la energía y el uso de fuentes renovables de energía en menor escala para edificios y residencias. No hay proyectos pilotos los cuales los ciudadanos puedan estudiar para luego aplicar en sus residencias o lugares de trabajo

para así minimizar el consumo y la dependencia de fuentes no renovables de energía. En Estados Unidos hay instituciones académicas que tienen programas dirigidos a la conservación, uso eficiente y diversificación de la energía. Estos programas incluyen planes pilotos como por ejemplo sistemas de energía solar o eólica los cuales están en funcionamiento y pueden ser vistos por los ciudadanos como una forma para poder observar los beneficios alcanzados con este tipo de proyecto. Las instituciones universitarias son las llamadas a educar a la ciudadanía debido a que tienen el personal experto necesario para llevar la información de una manera clara, eficaz y sin ser influenciada por decisiones políticas o que no buscan el bienestar de la sociedad.

### **Justificación del problema de planificación**

A través de este trabajo se busca crear conciencia sobre los beneficios al utilizar fuentes de energía renovables como la energía solar para producir electricidad. La energía solar es una fuente de energía que se encuentra prácticamente en todas partes, es un combustible gratis (solo se paga por los equipos utilizados para capturarla y almacenarla), es un recurso de energía inmenso y es una forma de energía limpia por lo que no añade al calentamiento global, contaminación del aire urbano y otros problemas ambientales (Chiras 2001). Lo interesante es que tenemos más horas con mayor intensidad de luz solar que los países actualmente líderes en este campo como Alemania y España, que utilizan la luz solar para generar electricidad, y que China, que la utiliza para calentar el agua (Mignucci, 2008).

Debido al alto consumo energético en el país, a su continuo crecimiento y a las desventajas de las fuentes de energía no renovable como su alto precio, la disminución de

sus reservas y el impacto ambiental que éstas producen, las fuentes de energía renovable son una alternativa a ser utilizada en la producción de electricidad en el país. La misma puede ser utilizada a gran escala como parte del sistema de la Autoridad Energía Eléctrica o a menor escala como una solución individual para una institución universitaria, edificaciones privadas, gubernamentales y residencias.

En términos de energía renovable, Puerto Rico se encuentra rezagado en comparación con otros países en el tiempo presente y en un futuro a corto plazo. Esto de acuerdo a los métodos utilizados en la isla para producir electricidad como son las fuentes de energía no renovables como el petróleo, el gas natural y el carbón además de los planes que tiene el gobierno en términos de las fuentes de energía a ser utilizadas en un futuro.

Un factor que fortalece el uso de la energía renovable en el país es el precio del petróleo. En los últimos años hemos visto como el precio del petróleo continúa en aumento y las reservas del mismo siguen mermando. Esto afecta directamente al país debido a la alta dependencia del petróleo para producir electricidad lo que hace que el costo de producir la misma sea uno elevado en comparación con otros países. Esto afecta la competitividad de Puerto Rico en relación con otros países en términos del costo de producir los productos, costo en el turismo y costo operacional de las compañías, agencias de gobierno y las instituciones universitarias, entre otros.

A nivel del gobierno, se ha creado legislación para apoyar las fuentes de energía renovables como por ejemplo la ley de Medición Neta, la ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible, ley para el Desarrollo de Energía Renovable entre otras, pero las mismas no se están aplicando a cabalidad. Esto puede ser a causa de desinterés o falta de

compromiso de parte del gobierno, falta de conocimiento de las personas, falta de estrategias que motiven a las instituciones universitarias o falta de incentivos por parte del gobierno para proyectos de este tipo de energía. En los planes de la Autoridad de Energía Eléctrica se habla de diversificación, pero es a base de la energía no renovable y el porcentaje que tienen separado para la energía renovable es bajo. Esto ocasiona que los precios de producción de energía en el país continúen siendo elevados y difíciles de disminuir porque dependemos de fuentes de energía que sus reservas se encuentran en áreas o zonas en las cuales el país no tiene control. Por otro lado resulta inconsistente el planteamiento sobre diversificación de alternativas de producción al no considerar que contamos con irradiancia solar prácticamente todo el año. Un planteamiento que supera los inconvenientes planteados sobre viabilidad de costos que envuelven estos sistemas.

Las instituciones universitarias deben dirigir sus esfuerzos en orientar y servir como modelo al pueblo de Puerto Rico en términos de la energía renovable. Aunque las instituciones universitarias tienen proyectos de energía renovable a menor escala (casa solar, vehículo solar, cultivos hidropónicos entre otros), éstas son investigaciones internas de las universidades y no han sido diseñadas para ser utilizadas como modelos de estudios sobre energía renovable. Hace falta que este tipo de proyecto sea aplicado en edificaciones de las instituciones mismas o de las agencias gubernamentales para ser estudiados y así poder presentarle al gobierno, a las entidades privadas y a la ciudadanía en general los beneficios ambientales, sociales y económicos obtenidos con las fuentes de energía renovable. Si estudiamos los casos de varias universidades en Estados Unidos (Princeton, Harvard, New York y Colorado) así como en España (Universidad Politécnica de Madrid) entre otras, estas tienen programas, guías y recomendaciones

dirigidas a la conservación de energía, así como proyectos con tecnologías de energía solar y eólica en sus facilidades los cuales sirven como modelos para ser estudiados y presentados a la ciudadanía. Otro beneficio al implantar este tipo de proyecto en las universidades es que se pueden obtener fondos, donaciones de equipos y asesoría de parte de entidades privadas con experiencia en este tema para seguir desarrollando proyectos relacionados a las fuentes de energía renovable aumentando así la calidad, competitividad y la imagen de la institución en el ambiente educacional.

Aunque a menudo se habla de que la producción de electricidad basada en la energía solar es costosa comparada con otras tecnologías (carbón 5-7 centavos por KW-hora, gas natural y petróleo 6-9 y nuclear 8-12), la realidad es que esta comparación ignora el daño ambiental y económico causado por el uso de las fuentes de energía no renovables y el subsidio que se les brinda a estas (Chiras, 2001). Cuando estos dos factores son tomados en consideración, la economía relacionada a la energía solar es bastante competitiva (Chiras, 2001). Además al estimular la industria de la energía solar, se favorece la oferta de las tecnologías para atender tal demanda. Es por esto que los expertos estiman que el costo de estas tecnologías se reducirá a la mitad dentro de esta década y generará una cantidad mayor de empleos (Mignucci, 2008).

**Meta**

Desarrollar un plan para la utilización de la energía solar como fuente de energía renovable en una institución universitaria.

**Objetivos:**

1. Estudiar el consumo de energía total y por área de la institución universitaria durante los últimos 3 años para conocer la demanda energética.
2. Estudiar medidas de conservación y uso eficiente de energía implantadas en la universidad para conocer cuán efectivas han sido las mismas en términos de ahorro de energía.
3. Seleccionar la alternativa del sistema solar a ser utilizado en la institución como fuente de energía para reducir los costos operacionales y establecer un plan de implantación de la alternativa seleccionada.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **Trasfondo histórico**

A través de los años, Puerto Rico se ha caracterizado por ser un país con un consumo energético bien elevado y el cual ha ido en aumento especialmente en los últimos 30 años, cuando se ha duplicado. Este alto consumo comenzó para finales de la década de 1940 y principios de la del 1950 debido al cambio en la base económica del país de una agraria a una industrial (López & Villanueva, 2006). Esto ocasionó que la fuente de producción de energía cambiara de una que utilizaba el agua (hidrológica) a una que utiliza el petróleo (termoeléctrica). Para la década del 1930, aproximadamente el 81% de la energía provenía de la producción hidrológica (López & Villanueva, 2006). Durante los años 60, con el fin de diversificar las fuentes de energía, se estableció en Rincón una planta de energía nuclear. La planta fue cerrada a principio de los 70 debido a cuestionamientos muy serios relacionados a la seguridad de dicha operación, dada su ubicación en una falla geológica activa y el riesgo que presentaba para la población del área. La crisis global del petróleo a mediados de la década de 1970 llevó a los gobiernos del mundo a repensar su política sobre energía y buscar alternativas. A nivel mundial comienzan las ideas de producir energía mediante la luz solar y la fuerza eólica incluyendo a Puerto Rico. No obstante, y a pesar de que en la isla se recibe intensa radiación solar prácticamente todo el año, es muy poco lo que se ha hecho para desarrollar este tipo de tecnología. Luego de la crisis del petróleo, en Puerto Rico se ha seguido utilizando de forma continua fuentes no renovables para producir energía siendo



el petróleo el protagonista principal durante este periodo hasta que en la década del 2000 comienzan a funcionar utilidades que utilizan gas natural y carbón para producir electricidad.

En la década del 50 nació en los Estados Unidos la tecnología fotovoltaica cuando Darryl Chapin, Calvin Fuller y Gerald Pearson desarrollan la celda fotovoltaica de silicón en los laboratorios *Bell* capaz de generar suficiente potencia del sol para operar equipos eléctricos. Los Laboratorios *Bell Telephone* luego producen una celda solar de silicón con una eficiencia de 6% (*US Department of Energy*, 2006). A mediados de la década del 50 el arquitecto Frank Bridgers diseñó el primer edificio de oficinas comerciales con las características de un sistema de calentamiento del agua solar. En el año 1960, *Hoffman Electronics* alcanzó un 14% de eficiencia en las celdas solares. En el año 1962 *Bell Telephone Laboratories* lanza *Telstar*, el primer satélite de telecomunicaciones con celdas solares con una potencia inicial de 14 watts.

En los años 70 con la ayuda de *Exxon Corporation*, el Dr. Elliot Berman diseñó una celda solar con un costo significativamente menor haciendo que el precio bajara de \$100 dólares el watt a \$20 dólares el watts. Las aplicaciones domésticas solares son consideradas buenas alternativas en áreas remotas donde las conexiones con el sistema eléctrico son muy costosas. En el año 1977, la *U.S. Energy Research and Development Administration* lanza *Solar Energy Research Institute*, hoy *National Renewable Energy Laboratory*, una entidad federal dedicada a encontrar y mejorar las maneras de aprovechar y usar la energía del sol.

En el 1982 comienza la primera estación de potencia solar de tecnología fotovoltaica de 1 megawatts en Hesperia, California desarrollada por Arco Solar. En el

1985, investigaciones en la Universidad de *South Wales* rompieron la barrera de 20% de eficiencia para celdas solares de silicón.

En el 1993 el *National Renewable Energy Laboratory* (antes el *Solar Energy Research Institute*) completó la construcción de las facilidades para investigación en energía solar, las cuales fueron reconocidas como el edificio más eficiente con respecto a la energía del gobierno de los E.U en el mundo. En el año 1999 se construye en *Time Square* en New York uno de los rascacielos más alto de la ciudad el cual tenía más características de eficiencia de energía que cualquier otro rascacielos y además incluía paneles de celdas fotovoltaicas integradas al edificio (BIPV en sus siglas en ingles) entre los pisos 37 al 43 por los costados sur y oeste para producir parte de la energía del edificio (Rahman, 2009).

En el año 2000, el Programa de un Millón de Techos Solares establece un programa para desarrollar el sistema eléctrico solar más grande para un complejo residencial en los Estados Unidos el cual genera 12 kilowatts (*US Department of Energy*, 2006). En el 2002, *Power Light Corporation* instala el sistema solar de techo más grande en los Estados Unidos, un sistema de 1.18 *Megawatts* en la prisión de Santa Rita en Dublin, California. En el año 2004, el *Worldwatch Institute* informó que el viento y el sol eran las fuentes de energía de más rápido crecimiento en el mundo. La capacidad instalada de generación solar se multiplicó por siete desde mediados de los años 90 y la energía eólica por trece. Según el informe *Renewable Energy Data Book*, septiembre 2008, la energía eólica y la solar fotovoltaica son los sectores de energía renovable de más rápido crecimiento en los Estados Unidos (*US Department of Energy*, 2009). Para el año 2007 la capacidad de instalación eólica creció 45% y la solar fotovoltaica creció 40%

en comparación al año anterior. En octubre del 2008, el Centro Fotovoltaico de Excelencia de la Universidad de South Wales, ha afirmado su liderazgo en la tecnología de celdas solares al reportar la primera celda solar de silicón que alcanza el 25% de eficiencia. Este centro ya tenía el récord anterior de 24.7% de eficiencia en celdas solares de silicón. También en octubre del 2008, el gobernador de California, Schwarzenegger, inauguró en las instalaciones de la compañía *Applied Materials*, un sistema solar que incorpora 7,000 paneles solares el cual es capaz de generar aproximadamente dos *Megawatts* de potencia cada año(*Electricnet*, 2008). Lo peculiar de este sistema es que está instalado en el área de estacionamiento de la compañía, él mismo rastrea el sol para aumentar la eficiencia de los paneles mientras también sirve como sombra para cientos de vehículos de los empleados.

## **Marco conceptual o teórico**

### Planificación

La planificación es uno de los campos donde más controversia se genera, no solo en Puerto Rico, sino en todo el mundo. A diferencia de otras profesiones como la ingeniería y la arquitectura, en las cuales el proceso no es evaluado, en la planificación el proceso es evaluado continuamente por el pueblo. Esta evaluación del proceso de planificación se realiza debido a la cantidad de factores que interactúan con la ciudad y pueden afectar el bienestar de sus habitantes. Es por esto que la planificación se considera un proceso dinámico, uno en el que el cambio se ejecuta constantemente. La planificación tiene que ser innovadora, una que se dirija hacia la creación de soluciones a los problemas sociales, físicos y ambientales que aumenten la conciencia política en el dominio público (Campbell & Fainstein, 2003). La planificación tiene que identificar la población afectada y envolver a la misma en el proceso de planificación. Esto hace de la planificación un proceso participativo, uno en el cual se debe incluir a todos los actores en la toma de decisiones desde el comienzo del proceso, cuando todavía los problemas se están identificando.

La planificación tiene distintas definiciones dependiendo del contexto para el cual se utilice. Según el Diccionario de la Lengua Española (2001), la planificación se define como un *“plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud para obtener un objetivo determinado”*. Otra definición para la planificación es *“la práctica profesional que específicamente busca conectar formas de conocimientos con formas de acción en el dominio público”* (Friedmann, 1987).

La planificación ha evolucionado a través del tiempo. Tiene sus orígenes en la época griega, en donde se utilizaba para diseñar y desarrollar el aspecto físico espacial de las ciudades. Esta forma de planificar la ciudad se continuó utilizando por mucho tiempo hasta llegar al siglo 19, en donde la ciudad comenzó a formarse a base de los centros industriales. Debido a este desarrollo industrial, la planificación comienza a observar otros aspectos en el proceso: el ambiental, el económico, el social y el urbano.

Según Friedmann, en la planificación existen cuatro tradiciones: la planificación como instrumento de reforma social; la planificación como instrumento de política pública; la planificación como instrumento de aprendizaje social; y la planificación como instrumento de movilización social.

La planificación como reforma social se enfoca en el rol del estado en dirigir todo el proceso de planificación. Bajo esta tradición el proceso era unidireccional, lo que significaba que los planificadores tomaban las decisiones y luego se las informaba al pueblo. No se consultaba al pueblo en la toma de decisiones ya que el control lo tenían los encargados en la planificación.

La planificación como instrumento de política pública tenía entre sus precursores a matemáticos, ingenieros y arquitectos. Esta tradición utilizaba como base los sistemas de ingeniería, la administración científica y las ciencias políticas y administrativas. Lo que hace posible la convergencia de estos tres campos es primero, la creencia compartida que los métodos objetivos de las ciencias pueden y verdaderamente deben ser usados para hacer la toma de decisiones una más racional y segundo, que más decisiones racionales pueden materialmente mejorar la habilidad de las organizaciones para resolver

problemas. Esta tradición también utilizaba un proceso unidireccional, las decisiones se tomaban de los encargados de la planificación hacia el pueblo.

La tercera tradición es la planificación como instrumento de aprendizaje social. En esta tradición el planificador comienza a compartir la información y el conocimiento para hacer del proceso uno bidireccional. En el aprendizaje social se trabaja con el proceso del concepto del conocimiento el cual se desarrolla de la parte teórica que se enriquece de las experiencias vividas y luego este nuevo conocimiento se aplica al continuo proceso de acción y cambio.

La cuarta tradición es la planificación como instrumento de movilización social. Esta tradición está más preocupada en los cambios estructurales dentro de la sociedad que la tradición de reforma social, que con su manera paternal intenta aumentar. En lugar de comenzar con metas y objetivos, su punto de comienzo es la crítica social. En esta tradición el proceso es uno bidireccional, los ciudadanos dejan saber sus necesidades, construyen metas y objetivos y se lo dejan saber al planificador para que este dirija el proceso.

El concepto de apoderamiento es bien importante en el proceso de planificación debido a que en el mismo la masa o el pueblo toma control del proceso. Este concepto se comienza a promover con las últimas dos tradiciones de la planificación, según Friedmann. En el apoderamiento, el pueblo está interesado en la forma en que el gobierno desarrolla y planifica la ciudad y audita el proceso para que las decisiones que se tomen utilicen como base la equidad, planificar para todos por igual, no planificar con un interés en particular o hacia un solo sector de la población.

El interés de los ciudadanos hacia los procesos de planificación se ha visto reflejado recientemente con situaciones relacionadas a desarrollos o proyectos que el gobierno ha querido implantar. Esto ocurre en especial con proyectos que pueden afectar el ambiente o la salud de una o varias comunidades. Estos no se oponen al desarrollo del país, simplemente están requiriendo de parte del gobierno un compromiso para que el desarrollo sea uno balanceado tomando en cuenta lo ambiental, lo económico, y lo social. La preocupación por la protección del ambiente y porque se utilicen bien los recursos son la base para la planificación ambiental.

### Planificación Ambiental

La planificación ambiental es una de las ramificaciones de la planificación en la que su principal objetivo es continuar con el desarrollo de los países, pero desde una perspectiva de fiscalización hacia la protección del medio ambiente. La planificación ambiental se realiza desde diferentes escenarios (local, estatal y nacional) y va dirigida a desarrollar estrategias para la protección y conservación del medio ambiente. Estas estrategias están dirigidas a las siguientes áreas: el manejo de los residuos, manejo de las tierras públicas, protección recurso agua, la conservación de los recursos, la preservación de la vida silvestre, la protección de las especies en peligro, la protección de los ecosistemas y el uso de fuentes alternas de energía entre otras. El planificador ambiental utiliza herramientas para la protección y conservación del medio ambiente como por ejemplo la educación (formar e informar), leyes, reglamentos, medidas de mitigación, instrumentos de política pública y a través de prácticas ambientales con el fin de garantizar que se alcancen los estándares de calidad ambiental establecidos.

En un país donde prácticamente todo lo que consumimos proviene del exterior, la planificación ambiental juega un papel importante. A través de la planificación ambiental tenemos que diseñar estrategias para crear un balance en el cual se tome en consideración el ambiente cada vez que se hable del desarrollo del país.

El triángulo del planificador: Tres prioridades, tres conflictos

Hoy en día ha surgido un crecimiento en el área de la planificación relacionado a la protección del medio ambiente. Esto al percatarse que nuestra tendencia histórica ha sido el promover el desarrollo de las ciudades a costa de la destrucción del medio ambiente. El planificador debe reconciliar tres intereses conflictivos: hacer crecer la economía, distribuir este crecimiento justamente y en el proceso no degradar los ecosistemas. En un mundo ideal los planificadores deben luchar por alcanzar un balance entre tres objetivos importantes de la ciudad: que sean verdes, que se mantengan en crecimiento y también que sean justas para sus habitantes. En la práctica, hay una serie de factores que limitan o afectan la toma de decisiones de muchos planificadores. La realidad es que los planificadores usualmente representan un objetivo en particular lo que hace que los otros puntos se vean afectados.

Las tres prioridades dirigen a tres perspectivas distintas de la ciudad. Los planificadores económicos ven la ciudad como una localización en donde la producción, el consumo, la distribución y la innovación toman lugar. La ciudad está en competencia con otras ciudades por los mercados y por nuevas industrias. El espacio está separado para carreteras, áreas de mercado y zonas de comunidades. Los planificadores ambientales ven la ciudad como consumidores de recursos y productores de desperdicios.



La ciudad está en competencia con la naturaleza por los escasos recursos y tierras, y siempre representa una amenaza a la naturaleza. El espacio es separado para la protección de las áreas verdes, cuencas de los ríos y comunidades ecológicas. Los planificadores sociales ven la ciudad como una localización de conflictos sobre distribución de recursos, de servicios y de oportunidades. La competencia es entre la ciudad misma, entre diferentes grupos sociales. Estos dirigen sus ideas hacia la igualdad social dentro de la ciudad. Ven el espacio de la ciudad como el espacio social para comunidades, organizaciones en el vecindario, reducción de la segregación, entre otros puntos.

Los tres puntos del triángulo (justicia social, crecimiento económico y protección ambiental) representan metas importantes en la planificación lo que tiene como resultado la creación de tres conflictos fundamentales (Campbell, 2003). El primero es el conflicto de la propiedad entre el crecimiento económico y la justicia social; el segundo el conflicto de recursos entre el crecimiento económico y la protección ambiental; y el tercero el conflicto del desarrollo entre la justicia social y la protección ambiental. Como los tres puntos del triángulo representan metas importantes de la planificación y los tres ejes representan los conflictos resultantes, entonces el centro del triángulo es definido como el desarrollo sustentable: el balance de las tres metas (Campbell, 2003). Muchos gobiernos apoyan la sustentabilidad, pero pocos la practican.

### Desarrollo Sustentable

Desde el año 1972, cuando la Organización de las Naciones Unidas (ONU) llevó a cabo en Estocolmo la primera conferencia de relevancia sobre el ambiente, se

comenzaron a identificar los problemas relacionados a la contaminación, destrucción de los recursos, y daños al ambiente así como mejorar el bienestar social de la población humana. Este fue el principio para que muchas naciones dirigieran sus esfuerzos y recursos hacia la protección del medio ambiente y el bienestar de sus habitantes. Durante el año 1987 se publicó el informe *Nuestro Futuro Común (Our Common Future)* desarrollado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (*World Commission on Environment and Development*) en el cual se analizó la situación por la que estaba pasando el mundo y se demostró que la sociedad global estaba destruyendo el medio ambiente y a su vez estaba creando unos niveles de pobreza mayores.

Este informe señaló que los países más desarrollados consumían entre el 80% y el 85% de los recursos de energía no renovables y entre 34% a 53% de los productos alimenticios (WCED, 1987). Se identificó el medio ambiente y el desarrollo como los problemas mayores que las naciones deberían trabajar en los próximos años. Señalaron que no se podía continuar con el crecimiento económico tradicional y que el desarrollo tenía que realizarse desde otra perspectiva, una que buscara la protección del progreso humano tomando en cuenta el futuro a lo que llamaron desarrollo sustentable. El objetivo de la cumbre era lograr un equilibrio entre las necesidades sociales, económicas y ambientales, y de esta forma actuar con responsabilidad para apoyar el desarrollo sustentable. Se proclamó un llamado urgente para tomar decisiones que permitieran asegurar los recursos para sostener a ésta y a las futuras generaciones. El núcleo de este reporte se considera el principio del desarrollo sustentable.

Luego se llevaron a cabo otras conferencias sobre el medio ambiente como la Conferencia de la ONU sobre el medio ambiente y el desarrollo, celebrada en Río de

Janeiro, Brasil en 1992, también conocida como la Cumbre de la Tierra; la Conferencia Global sobre el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo, celebrada en Barbados, en 1994; y la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible, celebrada en Johannesburgo, Sur África, en 2002. De la Conferencia Global sobre el Desarrollo Sostenible de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo surgieron políticas y acciones específicas las cuales se comenzaron a utilizar a nivel nacional, regional e internacional. De la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible surgió la necesidad de darle prioridad a cinco áreas específicas como son el agua, la energía, la salud, la agricultura y la biodiversidad y el manejo de ecosistemas. Estas áreas temáticas son importantes para la consideración y ejecución de acciones internacionales coherentes dirigidas al logro del desarrollo sustentable (Ley 267, 2004).

Todas estas acciones fueron la base para ir desarrollando el concepto que conocemos hoy día como desarrollo sustentable. El mismo debe ser una guía para que el ser humano y los recursos naturales coexistan de forma armoniosa. *Es la necesidad de lograr un balance entre las actividades del hombre y la protección ambiental así como la necesidad de lograr un balance entre el satisfacer las necesidades de las presentes generaciones y salvaguardar el derecho de las futuras generaciones a poder satisfacer sus propias necesidades* (Ley 267, 2004). Para alcanzar este balance, se tiene que planificar de forma tal que los aspectos económicos, ambientales y sociales sean vistos como un todo, no como áreas individuales.

Generalmente la planificación en Puerto Rico está relacionada principalmente al desarrollo económico por lo que se ha visto un deterioro relacionado al marco ambiental y social. Aunque se han creado leyes relacionadas a fomentar el desarrollo sustentable

(Ley 267,2004), aún no se han superado los problemas que representan el que algunos sectores consideren que los principios de protección ambiental y de desarrollo sustentable constituyen restricciones o impedimentos para el desarrollo económico y social. Es necesario que el desarrollo económico continúe, pero de una forma sustentable, para asegurarnos de que el costo de ese desarrollo no sea la excesiva degradación y destrucción del ambiente y los recursos naturales o la injusticia social.

Para promover en el país este desarrollo sustentable, es necesario reenfocar la forma de planificar ciertas áreas como por ejemplo las fuentes de energía utilizadas en el país. Las fuentes principales son no renovables como el petróleo, el gas natural y el carbón. El uso de estas fuentes de energía ocasionan problemas en los tres extremos del triángulo de la sustentabilidad: el área ambiental, económica y social. Si la planificación del país se dirigiera a utilizar fuentes de energía renovable para crear diversidad en las fuentes de energía, se estaría fomentando el balance requerido para la sustentabilidad. Menos consumo de combustibles fósiles representa menos contaminación ambiental y como resultado menos enfermedades en la población. Este es un pequeño ejemplo de cómo se puede conseguir un desarrollo sustentable en términos de energía resultando beneficioso para todos los habitantes en el país.

### Energía renovable

Prácticamente todas las actividades realizadas por los seres humanos dependen de la energía eléctrica. Para producir la electricidad, los países dependen en gran medida de fuentes de energía no renovables. El problema con estas fuentes de energía es que sus recursos son limitados y éstas producen una serie de problemas ambientales que han

comenzado a crear conciencia en los seres humanos. Uno de estos problemas es el cambio climático causado por el calentamiento global el cual es producto de la quema de combustibles fósiles. Ante la preocupación de que se continúe degradando el ambiente por el continuo uso de estas fuentes de energía, más países están dirigiendo sus esfuerzos en la utilización de fuentes de energía renovables para producir electricidad. Estas fuentes de energía incluyen: la energía solar; la energía eólica (viento); la energía hidrológica; la energía de la biomasa; la energía por diferencia de temperatura oceánica; la energía de la marea; la energía de las olas; entre otras cuya utilización es limpia, confiable, segura y sustentable (Ley 325, 2004). Estas fuentes de energía brindan un sinnúmero de beneficios tanto en lo económico, ambiental y social en comparación a las fuentes de energía no renovables.

Puerto Rico no es la excepción, el país utiliza un porcentaje alto de fuentes de energía no renovables para producir electricidad (98%). Entre las fuentes de energía no renovables utilizadas se pueden mencionar el petróleo, el gas natural y el carbón. Estas tres fuentes causan que en Puerto Rico se produzca una cantidad de emisiones elevadas. Además las continuas fluctuaciones en el precio del petróleo hacen que la producción de energía eléctrica en Puerto Rico sea costosa. Debido a estos problemas, es necesario que en Puerto Rico se comience a utilizar fuentes de energía renovables para producir electricidad.

Una de las fuentes que se podría utilizar es la energía solar fotovoltaica. Algunos de los factores que aportan al uso de esta fuente de energía en Puerto Rico son: fuentes de energía limpia, por lo que no aportan a la contaminación ambiental ni al calentamiento global; es un recurso de energía inmenso y se encuentra en todas partes; es una fuente de

energía gratis, solo se paga por los equipos de captación; ayudan a reducir la dependencia en fuentes de energía no renovables y a mejorar la diversidad de las fuentes utilizadas; tenemos más horas de intensidad solar que los países líderes en esta tecnología, esto por la ubicación geográfica de Puerto Rico; el precio del petróleo continúa en aumento y sus reservas continúan mermando; y las nuevas reglamentaciones federales y estatales a favor de las fuentes de energía renovables.

La energía renovable ya se está convirtiendo en una fuente mayor de energía en muchos países para la generación de electricidad. Esto hace de esta tecnología una de continuo crecimiento, una en la cual los costos operacionales y de producción continúan disminuyendo mientras sus investigaciones científicas continúan creciendo cada año. Pero es bien importante que aparte de utilizar fuentes de energía renovables en el país, se oriente al pueblo sobre otra área importante relacionada a la energía; la conservación y su uso eficiente.

### Conservación de energía

La conservación es uno de los principios biológicos de la sustentabilidad y se refiere al *uso de lo que se necesita y usarlo eficientemente* (Chiras, 2001). La conservación de energía ofrece numerosos beneficios sociales, económicos y ambientales. La conservación de energía también resulta en una disminución substancial de la contaminación. Además de ahorrar dinero, la eficiencia en energía aborda un número de problemas ambientales simultáneamente. Por ejemplo, reduciendo la quema de combustibles fósiles se reducen los depósitos ácidos, el calentamiento global y la

contaminación del aire (Chiras, 2001). En adición, usar menos combustible fósil reduce la destrucción de los hábitats de la fauna al disminuir la extracción del combustible.

Según la ley de Política Pública de Desarrollo Sostenible (Ley Núm. 267 de 2004), la estrategia de desarrollo sostenible de Puerto Rico debe reconocer la necesidad de una nueva visión que tome más en consideración el ambiente y los recursos naturales que le sirven de base; en particular, en lo relacionado al uso de las tierras y el recurso de agua, la transportación, la producción de energía, el manejo de los desperdicios sólidos y líquidos y el manejo de la zona costera. Para poder completar esta estrategia en cuanto a energía se refiere, se debe fomentar la conservación de energía para así poder depender menos de nuevas plantas o proyectos relacionados a suplir energía al país. Una medida para estimular la conservación de energía es a través de mandatos del gobierno para estándares de eficiencia a los desarrolladores. Esto puede ser aplicado a todos los nuevos proyectos residenciales, industriales o de negocios. En general, las medidas de eficiencia son de dos a tres veces más económicas que construir nuevas plantas de electricidad. En adición, el periodo de recuperación para la conservación es de 2 a 3 años comparado a 20 años para una planta de energía nueva (Chiras, 2001). Según información publicada por el *United State Department of Energy*, por cada dólar que se invierta en el uso eficiente de energía, se puede reducir el costo de generación de electricidad de 3 a 5 dólares.

La mayoría de los programas sobre energía solar en los Estados Unidos y el resto del mundo, incluyendo sus investigaciones y nuevos desarrollos, se están realizando en tres áreas tecnológicas: energía fotovoltaica, calentamiento e iluminación solar y concentración de la energía solar. De las tres tecnologías mencionadas, la que tiene relación con este trabajo es la energía fotovoltaica.

## Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una de las maneras de generar electricidad de los rayos del sol. Este tipo de tecnología produce muchos beneficios económicos y ambientales como por ejemplo alta confiabilidad, requiere bajo mantenimiento, produce prácticamente poca contaminación (solamente al desarrollar los componentes utilizados), puede ser utilizada en áreas remotas donde sea casi imposible llevar energía de la forma convencional, no ocupa grandes extensiones de terreno, entre otras. La misma puede ser usada en una amplia gama de productos, desde artículos para consumidores hasta amplios sistemas eléctricos comerciales. Ejemplo de sistemas en donde se utiliza las celdas fotovoltaicas son las calculadoras, relojes de pulsera, satélites de comunicaciones, bombas de agua, iluminación y señales de tránsito entre otras.

La palabra fotovoltaica se divide en dos partes: foto derivada de la palabra griega luz y volta relacionada al pionero de la electricidad Alessandro Volta y puede ser traducida como luz-electricidad (*US Department of Energy*). Esto es lo que los artefactos y materiales fotovoltaicos hacen, convertir la energía de los rayos solares en energía eléctrica (efecto fotoeléctrico) el cual el físico francés Edmont Becquerel descubrió en el año 1839. El efecto fotoeléctrico es el proceso físico básico por el cual una celda solar o celda fotovoltaica (PV), convierte los rayos solares en electricidad. Cuando la luz brilla en una celda PV la misma puede ser reflejada, absorbida o puede pasar a través de la celda, pero solo la luz que es absorbida puede generar electricidad. La energía de la luz absorbida es transferida a los electrones en los átomos de la celda (PV) lo que ocasiona que los electrones escapen de su posición normal en el átomo del material semiconductor PV y se conviertan en parte del flujo eléctrico o corriente en un circuito eléctrico.



Las celdas fotovoltaicas son la pieza fundamental de un sistema fotovoltaico y vienen en diferentes tamaños y formas, tan pequeñas como un sello postal o hasta de varias pulgadas. Una sola celda es sumamente pequeña y típicamente produce de uno a dos *Watts* de potencia. Comúnmente, para aumentar la potencia de salida de las celdas, éstas se conectan entre ellas para formar unidades más grandes llamados módulos que pueden llegar a ser de varios pies de alto y ancho. Los módulos pueden ser combinados y conectados entre ellos para formar unidades más grandes llamadas arreglos que pueden ser interconectados para producir más potencia. El tamaño de un arreglo depende de varios factores, como la cantidad de luz solar disponible en una localidad particular y las necesidades del consumidor entre otras. Aparte de las celdas PV, los módulos y los arreglos, los sistemas PV también incluyen componentes que cambian corriente directa en alterna y equipos para almacenar parte de la electricidad. Los sistemas fotovoltaicos tienen varias alternativas entre las que se encuentran los sistemas PV sencillos, sistemas PV con baterías y los sistemas PV con medición neta.

Los sistemas PV con baterías son especialmente convenientes en áreas donde el servicio eléctrico no está disponible o la extensión de líneas eléctricas es muy costosa. La habilidad de almacenar la energía producida hace de este sistema una fuente confiable de energía eléctrica durante el día y la noche, condiciones de lluvia o en días soleados. Este tipo de sistema puede ser diseñado para suplir potencia a equipos que requieran corriente alterna (AC) o directa (DC).

Los sistemas PV con medición neta surgen a base de una política pública federal la cual obliga a las utilidades a permitir que fuentes independientes de energía (residenciales, comerciales) se interconecten a la red eléctrica y las utilidades deben

comprar el exceso de electricidad generado. El término medición neta se refiere al método de contabilizar la producción eléctrica del sistema PV. Cuando el sistema produce electricidad, los kilovatios son usados primero para satisfacer los requerimientos eléctricos en las residencias. Si más energía es producida del sistema PV que la que necesita la vivienda, la energía extra es enviada a la red eléctrica. Con este sistema se utilizan dos tipos de medidores eléctricos: sencillo reversible o doble metro. El más común es el metro reversible que correrá en forma contraria cuando el sistema PV produzca más energía que la que se necesita para operar la residencia o el negocio en ese momento. Al final del mes, si el consumidor ha generado más energía que la utilizada, la utilidad le da un crédito por los kilovatios/horas netos producidos a la tarifa vendida. Pero si el consumidor utiliza más electricidad que la generada por el sistema PV, el consumidor paga la diferencia.

La medición neta permite a los residentes que no están en las residencias cuando el sistema PV está produciendo energía, recibir el valor completo de esa electricidad sin tener que instalar un sistema de baterías para el almacenaje de la energía. La red eléctrica funciona como el sistema de resguardo de baterías del cliente, lo que hace que el consumidor ahorre los gastos de añadir un sistema de baterías y el mantenimiento del mismo. Los sistemas PV conectados a la red eléctrica pueden ayudar a las utilidades a evitar el costo de generación adicional, aumenta la confiabilidad y calidad de la electricidad en la red y produce energía en tiempos picos de demanda cuando los costos de generación son mayores y las utilidades a menudo necesitan energía extra.

Otra forma de utilizar la energía solar fotovoltaica para generar electricidad es utilizando la tecnología de paneles solares integrados a los edificios. Esta tecnología se

está comenzando a utilizar en los edificios para minimizar el consumo de electricidad y como parte de los materiales de construcción utilizados en los mismos. De esta forma se reduce el costo de tener que invertir luego de construido el edificio en un sistema de energía solar.

### Paneles fotovoltaicos integrados a los edificios

Las investigaciones sobre los paneles fotovoltaicos integrados a los edificios (BIPV) en el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) se enfocan en uno de los segmentos de más rápido crecimiento en la industria solar: la integración de paneles fotovoltaicos dentro de los edificios durante la construcción de los mismos. Esta tecnología consiste en un tipo de cristal solar que incorpora silicón amorfo (un tipo de silicón que no es en forma de cristal y que puede ser incorporado en el plástico y al cristal) utilizado para producir barandas para los balcones, paredes, techos, toldos, tragaluces y ventanas reemplazando los materiales tradicionales utilizados en la construcción. Los cristales solares no son completamente transparentes, así que no se pueden usar en sitios donde la luz del día y la vista son deseadas. Sin embargo, las ventanas y los tragaluces que son a menudo tintadas o adornadas con diseños para minimizar la ganancia del calor y controlar el resplandor son candidatos ideales para estos sistemas.

Estos sistemas pueden construirse de diferentes transparencias dependiendo de las necesidades de los edificios. La mejor ubicación en los edificios para estos sistemas son las ventanas, tragaluces o paredes que se encuentran en la cara sur del edificio. La mayoría de estos sistemas tienen un largo de vida de 25 años debido a la degradación

causada por los rayos ultravioletas (UV) lo que hace que se pierda eficiencia durante su largo de vida. Los proyectos de construcción que utilicen estas tecnologías o sistemas pueden obtener puntuaciones según los estándares de las certificaciones LEED lo que lo clasificaría como un edificio sustentable. Las investigaciones del Laboratorio Nacional de Energía Renovable así como proyectos e iniciativas de universidades, como el caso de Harvard, se concentran en cómo los sistemas BIPV son integrados en los edificios para mejorar la estética de éstos y la confiabilidad del sistema mientras se reducen los costos y las pérdidas por transmisión en el sistema.

También en el laboratorio y las universidades están trabajando en aumentar la aceptación de esta tecnología en el mercado enfatizando en que es una forma de producir electricidad sin contaminar el ambiente y puede minimizar el uso de energía de los edificios reduciendo de esta forma los costos de operación. Por último, el laboratorio tiene como objetivo hacer que estas tecnologías sean aceptadas y utilizadas en los diseños y en los materiales de construcción para los nuevos proyectos como por ejemplo residencias y edificios, resultando en energía solar limpia que demuestre que los sistemas solares como BIPV pueden ser mercadeables, confiables y exitosos.

## **Estudios de casos**

### *University of Colorado at Boulder*

En el año 2004, se instala en la universidad de Colorado (Boulder), el primer sistema fotovoltaico de la Institución con una capacidad de 7.5 kW localizado en el edificio del centro ambiental. Este sistema provee suficiente electricidad para satisfacer 1.5 veces las necesidades de este centro. Además, con este proyecto se instaló un kiosco en el cual se puede mostrar en tiempo real la energía producida por el sistema fotovoltaico. Este proyecto fue financiado por un fondo llamado *Xcel Renewable Energy Trust Fund*.

Además del sistema fotovoltaico, la universidad tiene un programa de conservación de energía en el cual se ofrece orientación, consejos y guías sobre el consumo de energía, cómo ahorrar la misma y la generación de la energía renovable o energía verde. Uno de los proyectos implantado en la universidad relacionada al tema de la energía es el reemplazo de la iluminación en unos de sus edificios de bombillas incandescentes a fluorescentes. Esto mejoró la calidad de la iluminación y ayudó en el ahorro de energía en los edificios donde se trabajó. Otro de los proyectos fue la instalación de un sistema automático de temperatura el cual ajusta la temperatura dependiendo del número de ocupantes. También están trabajando en un proyecto relacionado al uso de colectores solares termales los cuales usarán el sol para generar calor que será utilizado, a su vez, para calentar el agua de los edificios. El plan con este proyecto es integrar efectivamente este sistema en uno de los edificios existentes y demostrar a la comunidad universitaria que esta tecnología es confiable. Otro proyecto relacionado a la energía solar es el *solar power canopy*, el cual se refiere a estructuras para sombras o marquesinas la cual genera

electricidad usando paneles fotovoltaicos. El objetivo principal del proyecto es instalar estas estructuras en áreas que requieran sombra para las personas, produciendo a su vez electricidad con los paneles solares los cuales estarán accesibles a simple vista al público y podrán ser utilizados por la institución para educar a la comunidad universitaria sobre los beneficios de los proyectos relacionados a la energía solar.

### *Harvard University*

La Universidad de Harvard tiene una iniciativa verde en su campus universitario en la cual se incluye el desarrollo de proyectos de energía renovable como la energía solar fotovoltaica en los edificios de la universidad. En el programa se le da prioridad al desarrollo de este tipo de proyectos enfatizando que es una estrategia importante para la planificación sustentable de la universidad. Este tipo de proyecto puede generar los siguientes beneficios en la universidad: garantiza en los departamentos bajo costo por kWh a lo largo del ciclo de vida del sistema; ayuda con las cargas pico, estos sistemas trabajan más eficientemente durante el verano, días soleados y días calurosos lo que coincide con el aumento en demanda por aire acondicionado; y provee mayor seguridad a las fuentes de electricidad, los arreglos son fuera de la red por lo tanto inmune a fallas en la red. Además de los beneficios mencionados, los proyectos de sistemas fotovoltaicos demuestran un compromiso de la universidad para apoyar las innovaciones en los diseños y operación de los edificios en términos de energía.

El proyecto de energía solar fotovoltaica implantado en el campus es una colaboración entre la iniciativa verde de la universidad (HGCI), la escuela de negocios de Harvard (HBS) y la Sociedad de Estudiantes para el Desarrollo Sustentable los cuales

cabildearon efectivamente a la Colaboración Técnica de Massachusetts para que aportaran ayuda económica para financiar parte del primer proyecto de este tipo en la universidad. Al mismo tiempo este fue el más grande proyecto fotovoltaico en el estado. Este proyecto tiene como objetivo demostrarle a la comunidad en general de Harvard la viabilidad de los proyectos fotovoltaicos en Boston y Cambridge. El mismo consiste de una instalación fotovoltaica de 36 Kw en el techo de uno de los edificios de la escuela de Negocios de Harvard. La inversión total del proyecto fue de \$ 378,487.00 dólares y parte del dinero para este fue donado (\$ 129,960.00) Entre los beneficios del proyecto podemos mencionar un ahorro anual de \$ 11,169.00, un reembolso de 22.3 años y una reducción ambiental de 203,524 lbs de CO2.

#### *University of New York at Buffalo*

La universidad del estado de New York en Buffalo tiene un programa de conservación de energía reconocido en toda la nación. La universidad ha establecido unas políticas de energía en el campus para proveer apoyo a la misión educacional de la institución mientras mantiene los esfuerzos de conservación de energía. Entre los beneficios obtenidos de la aplicación de este programa en la institución se pueden mencionar el ahorro en dólares por compra de energía y calefacción, reducción al impacto ambiental y reducción en el consumo energético. Algunas recomendaciones aplicadas en la institución se concentran en las siguientes áreas: iluminación, calentamiento y enfriamiento, ventanas y puertas, computadoras, monitores e impresoras y otros equipos. En cuanto a la iluminación se implantó el apagar las luces innecesarias y que no están en uso, utilizar iluminación natural en vez de la eléctrica siempre que sea

posible y no utilizar iluminación incandescente y de halógeno. En el área de calentamiento y enfriamiento implantaron el mantener los termostatos en 68 F en invierno y 76 F en el verano. En lo relacionado a las ventanas y puertas se aplicó mantenerlas cerradas en las áreas que utilicen aire acondicionado y calefacción y habilitar interruptores automáticos en las puertas para impedidos. En el área de las computadoras, monitores e impresoras se implantó el mantener apagados los equipos que no estén en uso y habilitar en los equipos el sistema *sleep mode* en el administrador de potencia. Con relación a los otros equipos se están comprando equipos con especificaciones de consumo eficiente de energía y se están manteniendo apagados los equipos que no estén en uso.

#### Proyectos de energía en UB

Desde 1970 la universidad ha implantado cientos de medidas y proyectos de conservación de energía, que de acuerdo a estudios independientes sobre los mismos, han producido ahorros anuales en términos de energía en alrededor de 9 millones de dólares y ahorros acumulativos de sobre 60 millones. Estos proyectos se han implantado en los dos campus e incluye lo siguiente: mejoramiento al sistema de alumbrado, mejoramiento a las ventanas y a la aislación de las paredes de los edificios, motores eficientes en términos de energía y controles de velocidad variable en las bombas y abanicos, aumento en el control de regulación de los equipos utilizados para calefacción, aire acondicionado y ventilación, recuperación de calor y reducción en las horas de operación de los equipos que consumen energía.



*Penn State University*

El programa de energía de la universidad estatal de Pensilvania incluye los siguientes objetivos generales: conciencia, conservación, manejo, monitoreo y logro. A continuación se presentará brevemente lo que conlleva cada uno de ellos. El objetivo en cuanto a la conciencia es hacer que la comunidad universitaria tenga mejor entendimiento sobre el impacto del consumo de energía así como los costos de operación de la institución y el impacto de la contaminación en el ambiente. Esta parte del programa está directamente relacionada a la educación.

En cuanto a la conservación, esta iniciativa cubre varios aspectos incluyendo: estándares para nuevas facilidades construidas y renovadas, guías para comprar equipos eficientes en el consumo de energía y crear estándares en las condiciones operacionales de la institución. Muchos de estos estándares están regidos por códigos, incluyendo los códigos de construcción que deben seguir para cumplir con los permisos de construcción.

Con relación al manejo, se enfoca en el uso eficiente de la energía el cual dependerá de información actualizada y precisa en orden a determinar prioridades para tomar acción, monitorear y evaluar el éxito de programa y discutir problemas sobre el manejo de energía y las oportunidades con los consultores.

Con respecto al monitoreo se incluye la utilización de metros eléctricos, para el agua, el vapor (vapor y condensaciones) y el gas. En adición, el sistema de control central monitorea la carga eléctrica en el alimentador principal y en los alrededores del campus además del vapor y el agua distribuida al sistema de la institución.

El área de los logros en el programa de energía es vital debido a su enlace directo al presupuesto de operación y los posibles riesgos de administración. Para alcanzar el

logro en el programa de energía se debe considerar las tendencias en el mercado, los precios, realizar una evaluación continua del programa y ver cómo se puede mejorar el mismo. Con relación a lo anterior la universidad se está dirigiendo a utilizar energía de fuentes renovables como la solar y la eólica además de reducir el consumo de energía de fuentes no renovables como el carbón y el gas natural.

Además el programa de energía de la universidad incluye dos proyectos con sistemas fotovoltaicos instalados en las dos localidades. Cada sistema tiene una capacidad de 2000 W instalados gracias al programa escolar solar y con la colaboración de la compañía “*Conectiv Energy*”, la cual donó ambos sistemas. El primero de los sistemas está instalado en el techo del edificio principal del campus ubicado en *Delaware Valley* y el segundo está instalado en el techo del edificio de planta física del campus en *University Park*. La intención con estos sistemas es monitorear el desempeño de los mismos (kWh generado), conectarlos al alimentador del panel de distribución del sistema eléctrico de los edificios para así reducir costos por la compra de energía. El costo aproximado de instalación es de \$ 19,000.00 por sistema. Según los estudios de viabilidad relacionados a ambos sistemas se ha encontrado que en el área de Pennsylvania los mismos no son económicamente favorables considerando el tiempo de vida anticipado de los equipos el cual es de 30 años y la radiación solar en esta zona la cual es de 3 KW/m<sup>2</sup>/día lo que equivale a un promedio de 2,450 MWh por año y un periodo de recuperación de 45 años. En zonas como el sur-oeste de los Estados Unidos la radiación solar es de 7MWh/m<sup>2</sup>/día con lo que el mismo sistema podría producir entre 6,000 y 7,000 MWh por año y un periodo de recuperación entre 20 y 30 años el cual está dentro del periodo de vida del equipo. Si se utilizara el 75% del área de techo del campus de *University Park* el cual

abarca cerca de 79 acres de techo y se instalara sistemas fotovoltaicos, estos producirían cerca de 26, 000,000 kWh o sobre 10% del consumo de energía del campus. Basado en el precio de instalación de los sistemas mencionados anteriormente (2 KW), la instalación costaría cerca de \$255 millones de dólares.

### *Northwestern University*

La universidad tiene un programa llamado *Commitment to Environmental Sustainability* con el cual han implantado las siguientes políticas y proyectos para aumentar su compromiso hacia la sustentabilidad ambiental. La sustentabilidad es un asunto global importante y la universidad tiene un compromiso de tomar los pasos necesarios para minimizar el impacto de ésta en el ambiente natural. Muchas de las políticas y de los proyectos también están dirigidas a reducir el consumo de energía y así resultar en ahorros para la universidad.

#### Uso de fuentes de energía renovables

La universidad de *Northwestern* ha comprado energía renovable certificada para el 20% de la electricidad usada en la institución. Esto continua promoviendo el desarrollo continuo de las fuentes de energía renovables lo que ayuda a reducir la contaminación ambiental.

#### Uso eficiente de la energía por la comunidad universitaria

Se implantaron controles de temperaturas dentro de los edificios de la institución los cuales mantendrán la temperatura en la temporada de calefacción en 68°F y en la época de enfriamiento a 76°F. Además, durante las horas sin ocupación y los días feriados, la temperatura en los espacios o residenciales se ajustará a 55°F antes de la

calefacción y en 86°F antes del enfriamiento. Otro punto bajo esta sección es la responsabilidad de los ocupantes. A los individuos se les asignará la responsabilidad de apagar las luces cuando salgan de los cuartos que no estén ocupados y de apagar los equipos de oficina que no sean esenciales al finalizar el día. El personal de mantenimiento apagará las luces y equipos que no han sido apagados por los ocupantes al final del día de trabajo. Además se implantó como norma que los equipos eléctricos comprados en la institución tienen que cumplir con las clasificaciones de uso eficiente de energía.

Eficiencia en la energía de las nuevas construcciones y los proyectos de remodelación

La universidad de *Northwestern* utilizará el sistema de clasificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) del *US Green Building Council* como un estándar para el diseño y la construcción de los nuevos edificios además de las remodelaciones a edificios existentes. También las construcciones nuevas y las remodelaciones, cuando aplique, van a ser diseñadas para proveer al menos 20% en mejoramiento sobre los códigos (requisitos) donde sea viable y en donde el periodo de repago sea razonable.

Proyectos en camino para mejorar la sustentabilidad ambiental

Sensores de ocupación

Se instalarán sensores en los cuartos para reducir significativamente el uso de electricidad al automáticamente apagar las luces cuando los espacios no estén ocupados. Estos sensores tendrán dos modos de operación (infrarrojo y ultrasónico) para asegurar que la iluminación se mantenga encendida cuando el espacio este ocupado. También se realizarán evaluaciones, hechas por expertos, al sistema de iluminación para determinar si

la iluminación es la adecuada según las tareas que se realizan en las diferentes áreas. A raíz de estas evaluaciones se eliminarán las luminarias que no hagan falta según lo establecido por la Sociedad de Ingenieros en Iluminación.

Inversiones futuras para alcanzar mayor eficiencia en energía

Modificación de la iluminación

Como la mayoría de los edificios de la universidad son antiguos, con sistemas de iluminación ineficientes, se reemplazarán los mismos por sistemas de iluminación más eficientes como lámparas T8, tecnología LED y lámparas compactas fluorescentes.

*Princeton University*

La Universidad de Princeton, con una extensión de 380 acres, más de 160 edificios, aproximadamente 7,100 estudiantes y 5,400 empleados tiene un impacto ambiental significativo. Este solo hecho justifica el empeño de la universidad en desarrollar estrategias generales para minimizar su impacto ambiental. Aunque lo antes mencionado es bien importante para la universidad, la contribución más significativa que la universidad puede hacer para el bienestar de las futuras generaciones del planeta vendrá de las investigaciones de los estudiantes y de la facultad universitaria que desarrollaran un camino hacia el progreso ambiental y las fuentes alternas de energía. Para reforzar lo antes expuesto, la universidad a desarrollado un plan con objetivos y estrategias dirigidos hacia la sustentabilidad. La premisa de este plan es que la universidad debe asegurarse que su campo físico y las experiencias que este provee a los estudiantes, facultad y a la administración refleje y respete los principios de la sustentabilidad. El plan propone metas agresivas, pero alcanzables divididas en tres áreas

principales: reducción de los gases de invernadero; conservación de recursos; e investigaciones, educación y compromiso civil. Además las estrategias propuestas en el plan se extienden a los edificios, infraestructura energética, y el ambiente académico y social que son particulares a la universidad. En adición al plan, la universidad tiene proyectos dirigidos a mejorar los sistemas de calefacción y enfriamiento de edificios para hacerlos más eficientes en términos de energía además de un sistema de 400 kw utilizando paneles solares en un área de almacenaje. Además en el año 2002, se estableció en la universidad el Comité para la Sustentabilidad en Princeton (PSC) en sus siglas en inglés el cual consiste de estudiantes, facultad y la administración cuya función es identificar los medios para reducir la huella ambiental de la universidad.

Con relación a la reducción de los gases de invernadero, el objetivo principal es disminuir las emisiones de dióxido de carbono a los niveles del año 1990 para el 2020. Esto lo lograrán con diseños para nuevas construcciones y renovaciones que usen 50% menos energía que lo requerido por los códigos de energía. Incluido en esta estrategia está el compromiso de diseñar todos los proyectos para al menos cumplir con la clasificación LEED (planteada). Además para los diseños nuevos se escogerán arquitectos con experiencia en el desarrollo sustentable.

Con relación a la conservación de recursos, uno de los objetivos es maximizar el número de contratos y compras de bienes y servicios de productos verdes. Esto lo alcanzarán con requerimientos de compra de equipos con características de *Energy Star* siempre que sea posible.

Con relación a la investigación y la educación, los objetivos están dirigidos a la participación interdisciplinaria entre la facultad y los estudiantes en investigaciones en

los temas ambientales, económicos y sociales además de la solución de problemas, expresiones artísticas y comunicación relacionada a la sustentabilidad. Otro de los objetivos va dirigido a facilitar una conexión avanzada entre las investigaciones de la facultad con los estudiantes graduados y la educación de los estudiantes de bachillerato en términos de la sustentabilidad. Esto se logrará por medio de apoyo a las iniciativas sobre investigaciones enfocadas al ambiente de la universidad a través de las diferentes escuelas o departamentos de la universidad como por ejemplo el Instituto Ambiental, la escuela de Ingeniería y Ciencia Aplicadas, escuela de Arquitectura y el departamento de Ecología entre otras.

Con relación al compromiso civil y la comunicación, los objetivos están dirigidos a exponer al estudiantado de la universidad a los principios de la sustentabilidad, desarrollar líderes en sustentabilidad entre los estudiantes, la gerencia y la facultad. Además se busca expandir los discursos sobre sustentabilidad en la universidad, la comunidad local y a través de la nación. Estos objetivos se alcanzaran promoviendo las practicas sustentables entre la comunidad universitaria a través de la educación y ejemplos; apoyo a las iniciativas estudiantiles dirigidas a la sustentabilidad; aumentar la visibilidad de las iniciativas en sustentabilidad en las publicaciones de la universidad; desarrollar una página en la internet sobre el tema; como también colocar carteles o anuncios en sitios específicos de la universidad para informar a la comunidad sobre iniciativas relacionadas a la sustentabilidad. La universidad tendrá un comité que evaluará cada año el plan y realizara los ajustes necesarios para cumplir el mismo además de mejorarlo al incorporar nuevas tecnologías y conocimientos. También producirían un

reporte cada año para medir el progreso de la universidad en términos de la sustentabilidad.

#### Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez

Desde hace varios años la Universidad de Puerto Rico, recinto de Mayagüez, se ha envuelto en distintos proyectos relacionados a la energía solar. Entre los proyectos que se pueden mencionar se encuentran carros solares, sistema de aire acondicionado solar y en los últimos años la casa solar en conjunto con la Universidad de Puerto Rico, recinto de Río Piedras. Este proyecto busca crear una residencia (prototipo) de 800 ft<sup>2</sup> que demuestre la viabilidad de las tecnologías verdes. Entre los criterios de diseño se establece que la residencia tiene que tener la capacidad de adaptarse a diferentes climas y sitios. Además utiliza como su única fuente de energía un sistema fotovoltaico. La misión principal de este proyecto es crear conciencia en el público sobre el potencial del sol como fuente de energía limpia, renovable y factible que puede satisfacer las necesidades de potencia presente y futuras de la humanidad. Una casa solar confirma que la energía solar, diseño eficiente y la sustentabilidad son opciones prácticas para crear residencias en donde se pueda vivir eficientemente. Con esta residencia solar, la Universidad de Puerto Rico ha competido por varios años en el Decatlón solar en Washington, Estados Unidos junto a otras universidades de distintas partes del mundo sobresaliendo en distintas facetas.

Además de los proyectos solares, la Universidad de Puerto Rico, recinto de Mayagüez, tiene una iniciativa llamada Resoluciones Verdes que busca convertir el recinto en uno más eco amistoso. Entre las medidas que abarca esta iniciativa están la



implementación de un programa agresivo de eficiencia energética y un programa agresivo de conservación de energía. Con estos programas se incluyen charlas al estudiantado y a la comunidad en general acerca de cómo se puede ahorrar energía tanto en el recinto como en los hogares y los lugares de trabajos.

Otra iniciativa de la universidad son los consejos verdes que brinda una serie de recomendaciones para reducir el consumo energético. Entre las recomendaciones más importantes se encuentran: evitar las cargas fantasmas, que son la electricidad que gastan los enseres eléctricos cuando están apagados y utilizar luces fluorescentes compactas las que utilizan  $\frac{1}{4}$  de la electricidad de las bombillas incandescentes, duran más y pueden ahorrar hasta \$ 150 dólares por bombilla durante la vida de las mismas.

### **Marco legal**

#### Ley para el Desarrollo de la Energía Renovable

Es la ley número 325 del 16 de septiembre de 2004 y declara que la política pública del gobierno de Puerto Rico será la siguiente: estimular el desarrollo de energías renovables y aprovechar las fuentes energéticas que sean limpias e inagotables; asegurar la exención sobre impuesto de propiedad mueble, al equipo de capacitación, acumulación, generación, distribución y aplicación de energía renovable para uso local, ya sea comercial, industrial y doméstico; y por último propiciar incentivos fiscales, como las declaraciones y los créditos para el desarrollo, la fabricación y el mercado de equipos de energía renovables.

Esta ley incide en este trabajo debido a que es una ley creada por la legislatura y la misma está dirigida a la protección del medio ambiente. Además existen empresas

puertorriqueñas que desean adquirir estos nuevos equipos tecnológicos para el aprovechamiento de la energía pero debido a la falta de incentivos no lo hacen. Otro punto es que los impuestos de propiedad mueble que se computa sobre el costo inicial de estos equipos resultan en una barrera para las empresas privadas que desean implementar estas tecnologías. Las consideraciones anteriores llevaron a la creación de esta ley para estimular el uso de energía renovable, eliminar el impuesto de propiedad mueble de los equipos que aprovechan las energías renovables y viabilizar el desarrollo, la fabricación y la venta de equipos que utilicen estas fuentes de energía renovables.

#### Ley para el Programa de Medición Neta

Esta ley, número 114 del 16 de agosto de 2007 fue creada con el objetivo de ordenar y autorizar a la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) a establecer un programa de medición neta que permita la interconexión a su sistema de transmisión y distribución eléctrica y la retroalimentación de electricidad a los clientes que hayan instalado un sistema solar, eólico, o cualquier otra fuente de energía renovable capaz de producir energía eléctrica, conceder créditos en las facturas por la electricidad generada por estos sistemas y compensar por el sobrante de exceso de energía generadas por los mismos y para otros fines.

Con esta ley se busca reducir la alta dependencia en los combustibles fósiles para generar electricidad y su consabida contaminación ambiental, reducir los altos costos en las facturas de electricidad y reducir los gastos por la compra de combustible y energía. La medición neta es un incentivo esencial para invertir en equipos que generen electricidad a través de fuentes de energía renovable como lo son la solar y la eólica. Los

programas de medición neta y sus variantes se están aplicando actualmente en cuarenta (40) estados y el Distrito de Columbia de los Estados Unidos al igual que en otros países como Canadá, Japón y Alemania. Este tipo de programa se traduce en beneficios para los clientes debido a que promueve el uso de energía limpia y económica, recibe compensación por el exceso de electricidad que genera y solo paga por la electricidad neta que le suministre la AEE. También es un estímulo para promover la conservación de energía pues a mayor sobrante de energía generada y no usada, mayor es el crédito o el pago que se recibe de la compañía. Los beneficios provistos por la ley están disponibles para los clientes residenciales y comerciales que instalen equipos cuya capacidad generatriz no sea mayor de 25 KW y 1 MW respectivamente. A partir del 16 de agosto de 2008, la A.E.E. pondrá en vigor esta ley y le comprará al cliente la energía renovable producida en exceso a 10 centavos el kilovatio por hora, un precio por debajo de lo que paga cada cliente residencial por el kilovatio de energía. Para tener una idea, en el mes de julio de este año, el precio que pagó el cliente fue de 26 centavos el kilovatio por hora debido al alza que hubo en el costo del petróleo.

#### Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible

Esta ley, número 267 del año 2004 tiene como fines el establecimiento de una política pública que fomente el logro de una deseable y conveniente calidad de vida para los puertorriqueños, el fomentar la armonización de las políticas, programas y actividades gubernamentales relacionadas con los aspectos sociales, económicos y ambientales entre otros, dirigir a Puerto Rico hacia el logro de su desarrollo sostenible y el establecimiento de la Comisión para el Desarrollo Sostenible de Puerto Rico.

La declaración de la Política Pública sobre Desarrollo Sostenible va dirigida a lograr una sociedad basada en una economía sostenible y un desarrollo balanceado, en el que se armonice el desarrollo económico con la restauración y protección del ambiente y los recursos naturales y el mejoramiento de la calidad de vida de los puertorriqueños; y donde sus metas económicas, sociales y ambientales estén unificadas dentro del contexto del desarrollo sostenible y su condición de pequeño estado insular.

La estrategia de desarrollo sostenible de Puerto Rico debe reconocer la necesidad de una nueva visión que tome más en consideración el ambiente y los recursos naturales que le sirven de base, en particular, en lo relacionado al uso de la tierra y el recurso agua, la transportación, la producción de energía, el manejo de los desperdicios sólidos y líquidos y el manejo de nuestras zonas costeras. Además, debemos apoyar que nuestro desarrollo económico continúe, pero en forma sostenible para asegurarnos de que el costo de ese desarrollo no sea la excesiva degradación y destrucción del ambiente y los recursos naturales.

#### Política Pública Energética de Puerto Rico

Esta política pública fue creada en diciembre de 1993 por el Comité de Cogeneración y Generación de energía del Gobierno de Puerto Rico. Esta iniciativa fue desarrollada ante la urgencia que producen los siguientes factores:

Puerto Rico no ha contado con una visión institucionalizada efectiva y compartida que brindara a los diferentes sectores del país un perfil a largo plazo sobre la optimización de la energía. Otro factor es que Puerto Rico al ser una isla, cuenta con unas características particulares como por ejemplo un inventario de recursos que no

incluyen fuentes viables de combustibles fósiles o convencionales. Además la fuente de energía eléctrica que mueve la economía del país depende en gran medida de combustibles fósiles. También debido a los procesos de globalización, la competitividad de la isla está directamente relacionada con la eficiencia y disponibilidad energética. Otro factor es que Puerto Rico no contaba con un proceso institucionalizado de planificación estratégica sobre energía que integre todos los sectores de la economía y aquellos que afecten la salud y bienestar de la sociedad. Tampoco había una estructura de incentivos para integral los esfuerzos dirigidos a lograr la eficiencia energética, practicas de conservación y de producción de fuentes alternas de energía. Por último la falta de conocimiento sobre los beneficios obtenidos de la utilización de fuentes renovables y de los costos evitados, ambiental y de salud pública, dificultan un desarrollo económicamente sostenible.

Un punto importante de esta política pública sobre energía es el hecho de que el gobierno reconoce como un problema el que las principales fuentes de energía en el país sean no renovables e importadas. Por esto se plantea la necesidad de alcanzar mayores niveles de eficiencia energética y el desarrollo de fuentes alternas y renovables.

Esta política pública tiene objetivos y estrategias a corto, medio y largo plazo y las mismas están dirigidas hacia la energía eléctrica, transportación, desperdicios sólidos, construcción, educación, investigación, el ámbito internacional y el gobierno interno. De estos objetivos y estrategias, las que se relacionan con el proyecto de tesis son las que trabajan los temas de energía eléctrica, construcción, educación e investigación. Esto debido a que con estos objetivos mencionados se busca desarrollar programas de conservación; diversificar las fuentes de combustibles; lograr la generación de energía

eléctrica principalmente con fuentes renovables y alternas; modificar los códigos de construcción para incorporar nuevas tecnologías, diseños y equipos de conservación de energía; educar a la ciudadanía sobre la conservación de energía; y promover e incentivar la investigación sobre asuntos energéticos en Puerto Rico y el proyecto de tesis trabajará con algunos de estos objetivos desde una perspectiva del micro.

### *Energy Policy Act 2005*

Es una ley del congreso firmada por el presidente con el propósito de intentar combatir los crecientes problemas de energía, proveer incentivos contributivos y préstamos garantizados para la producción de energía de varios tipos. En su disposición la ley autoriza los préstamos garantizados para tecnologías innovadoras que eviten los gases de invernadero y que puede incluir diseños de reactores nucleares avanzados como también carbón limpio y energía renovable. Entre los puntos importantes de la ley se puede mencionar que ésta autoriza subsidios para la energía eólica y otras fuentes alternas de energía. Además, le requiere al Departamento de Energía de Estados Unidos que estudie e informe sobre fuentes naturales existentes de energía incluyendo la eólica, la solar, de olas y de mareas. También le requiere a todas las utilidades eléctricas públicas a ofrecer el programa de medición neta a todos sus clientes. Por último, provee ahorros en los impuestos para aquellas personas que están haciendo mejoras relacionadas a la conservación de energía en sus respectivas residencias y negocios.

### *Public Utility Regulatory Policies Act (PURPLA) 1978*

Fue creada por el Congreso de los Estados Unidos como parte del *National Energy Act* con el propósito de promover un mayor uso de la energía renovable en el país. Con esta ley se desarrolló un mercado para los productores de potencia eléctrica que no estuvieran relacionados a las utilidades y además obligó a las utilidades a comprar energía de estos productores a razón de un costo evitado (costo que las utilidades podrían incurrir si tuvieran que generar o comprar energía de otras fuentes). El mayor logro de esta ley ha sido el desarrollo de plantas co-generadoras las cuales producen electricidad y vapor. Estas han sido fomentadas por la ley en la teoría de que aprovechan la energía termal (en forma de vapor) que de otro modo sería desperdiciada si solo se produjera la electricidad.

*PURPLA* está comenzando a perder valor debido a que muchos de los contratos hechos bajo esta ley durante la década del 80 han expirado. Otra razón para la reducción significativa de esta ley es que el acceso a la transmisión de energía entre estados por las utilidades han creado un amplio mercado relacionado a la compra de energía y por lo tanto las agencias reguladoras estatales han dejado de forzar a las utilidades a dar contratos a los desarrolladores de proyectos que son privados. Sin embargo, la ley continúa siendo una pieza importante en la promoción de legislación para la energía renovable debido a que hace exento a los desarrolladores de estos proyectos de numerosas regulaciones estatales y federales.

## Crédito Contributivo por Adquisición e Instalación de Equipo Solar

Es la ley número 248 y la misma fue aprobada el 10 de agosto de 2008 por la Asamblea Legislativa de Puerto Rico. Esta ley, junto a otras medidas que se están comenzando a implantar como por ejemplo la ley de medición neta, nos encamina a la autosuficiencia energética y están arraigados a nuestras metas de política pública. Estas proponen que para el 2015 el 20% de toda la energía que se produzca en el país sea de fuentes renovables de energía como el sol y el viento según el Secretario de la Gobernación, Jorge Silva Puras (Suarez, 2008). Entre los puntos importantes de la ley se encuentra lo siguiente:

Se concederá un crédito a toda persona, natural o jurídica por la adquisición, fabricación e instalación de un equipo solar, según definido en esta ley. El crédito estará limitado en un 75% del costo del equipo, incluyendo la instalación, durante los años fiscales 2007-2008 al 2008-2009, luego para los años fiscales 2009-2010 al 2010-2011, el crédito será de 50% del costo del equipo incluyendo la instalación. Además se dispone que del año fiscal 2011-2012 en adelante, el crédito disponible para distribuirse esté limitado en un 25 % del costo del equipo, incluyendo la instalación. La cantidad máxima de créditos contributivos disponibles en un año fiscal particular para distribuir al amparo de esta ley será de cinco millones de dólares (\$5,000,000) en el caso de personas naturales y de quince millones de dólares (\$15,000,000) en el caso de personas jurídicas, disponiéndose que el Secretario de Hacienda podrá autorizar para un año particular, un incremento en la cantidad aquí provista, cuando los intereses del Estado Libre Asociado así lo amerite. Si en un año fiscal particular el Secretario de Hacienda no concede créditos por la cantidad total permitida, éste podrá utilizar o pasar a un año fiscal



siguiente el remanente en créditos no concedidos en un año fiscal en particular. Sin embargo, dicha cantidad no podrá exceder de diez millones de dólares (\$10,000,000) en alguno de los años fiscales particulares. Toda persona que interese obtener un crédito deberá solicitar del Secretario de Hacienda una certificación bajo esta ley, mediante la debida radicación de una solicitud. La aprobación de esta certificación estará condicionada a que la(s) persona(s) presente(n) los siguientes documentos: certificación declarando que el mismo cumple con las normas especificaciones establecidas por la Administración de Asuntos de Energía, certificación declarando que el equipo ha sido instalado por una persona certificada por la antes mencionada agencia gubernamental y registrada en la Administración de Asuntos de Energía, certificación del fabricante o distribuidor declarando que el equipo está garantizado por cinco años o más, certificado negativo de deuda del Departamento de Hacienda y el Centro de Recaudaciones de Ingresos Municipales (ASUME). La certificación emitida estará condicionada con el cumplimiento de lo dispuesto en este apartado además de algún otro documento que el Secretario de Hacienda requiera.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

Este proyecto desarrolló un plan para la utilización de la energía solar como fuente de energía renovable en una institución universitaria. Se busca reducir los costos operacionales mensuales de la universidad en términos del consumo de energía además de que reducirá las emisiones asociadas. Utilizamos una institución universitaria (UMET) como plan piloto para que la comunidad universitaria y la comunidad en general puedan ver los beneficios asociados a este tipo de tecnología. A través de este tipo de iniciativa se podría conseguir donaciones de entidades privadas para continuar con la implantación de proyectos relacionados a la energía renovable.

#### **Área de estudio**

Para este estudio seleccionamos la Universidad Metropolitana (UMET), recinto de Cupey, del Sistema Universitario Ana G. Méndez. La Universidad está ubicada en el barrio Cupey Bajo del Municipio de San Juan y está compuesta de 20 edificios principales los cuales son utilizados principalmente como salones de clases y conferencias, laboratorios, centro de cuidado, oficinas administrativas, biblioteca, teatro, auditorios, cafetería y área de estacionamiento entre otros. La institución opera en un horario de 7:00 A.M. a 11:00 P.M. de lunes a viernes, los sábados de 8:00 A.M. a 6:00 P.M. y los domingos de 12:00 MD a 4:00 P.M. Su principal uso está asociado a la educación, además de brindar conferencias al estudiantado y a la comunidad como también el realizar trabajos administrativos. Se analizó el consumo energético de la

Institución por los pasados tres años para luego brindar unas recomendaciones sobre la conservación de energía como también sobre el uso de la energía solar como fuente de energía alterna en la Institución. De los veinte edificios principales se escogió al edificio Ana G. Méndez como estudio de caso debido al tipo de educación que se brinda en el mismo.

1. Estudiar el consumo de energía total y por área de la institución en los últimos tres años para conocer la demanda energética.

Para este primer objetivo, utilizamos las facturas de energía de la Institución por los pasados 3 años para evaluar el consumo de energía y su tendencia. Las facturas de energía para este estudio están relacionadas al periodo que comprende desde el año académico 2005-06 hasta el año académico 2007-08. Luego separamos el consumo energético por edificio y por área para determinar en donde se consumía más energía. También evaluamos si el consumo de energía en la Institución está directamente relacionado a la cantidad de estudiantes o al área física. Por último, estudiamos si los nuevos proyectos de construcción cumplirían con las clasificaciones de la *United State Green Building Council (USGBC)* para edificios sustentables.

2. Estudiar medidas de conservación y uso eficiente de energía implantadas en la Universidad para conocer cuán efectivas han sido las mismas en términos de ahorro de energía.

Para este segundo objetivo realizamos inspecciones visuales de las diferentes áreas de la Institución para identificar las medidas de conservación y uso eficiente de energía implantadas en la misma. Luego evaluamos las facturas de energía antes y después de los proyectos de conservación y uso eficiente de energía implantados en la Institución para conocer los ahorros alcanzados con relación al consumo de energía. Esta

evaluación se realizó utilizando datos de los años 2007 y 2008 que fueron los años en donde se realizaron los proyectos de conservación y uso eficiente de energía. También estudiamos los proyectos futuros para la Institución que estuvieran relacionados con la conservación y el uso eficiente de energía. Por último, investigamos si la Institución cuenta con un plan relacionado a la conservación y el uso eficiente de energía el cual se esté implantando en el campus.

3. Seleccionar la alternativa del sistema solar a ser utilizado en la Institución como fuente de energía para reducir los costos operacionales y establecer un plan de implantación de la alternativa seleccionada.

Para esto, calculamos la capacidad eléctrica requerida para poder suplir el consumo total de energía del edificio Ana G Méndez, el 50 % del consumo, el 25% del consumo y el 10% del consumo. Utilizando esta información como base, solicitamos a varias compañías cotizaciones para las diferentes alternativas de sistemas solares que pueden ser implantados en el edificio. Además evaluamos las cuatro alternativas mediante los siguientes criterios (espacio disponible, costos, confiabilidad del sistema, apoyo técnico, disponibilidad de la tecnología). El propósito de esta evaluación era seleccionar la alternativa que más se ajustara a las necesidades de la institución.

### **Fuente de datos**

Como parte de la evaluación que realizamos para el proyecto de energía solar en edificio Ana G. Méndez de la UMET, se utilizaron una serie de datos producidos por diferentes agencias o entidades. Esta información será presentada en la sección de Apéndices.

Para determinar si los edificios existentes o nuevos cumplen con los postulados de desarrollo sustentable o con las características de edificios verdes, utilizamos las hojas de cotejos del sistema “*Leadership in Energy and Environmental Design*” del “*U.S. Green Building Council*”. Para analizar la radiación solar utilizamos los mapas de radiación de San Juan desarrollados por el “*National Renewable Energy Laboratory*”. Para determinar si el sistema fotovoltaico es la tecnología adecuada para el edificio seleccionado en el proyecto, utilizamos las preguntas guías presentadas en la hoja “*Photovoltaics Fact Sheet Harvard Green Campus Initiative*”. Las preguntas se encuentran en el Apéndice 1. Para conocer la ubicación de la Institución, el área total e identificar los edificios en el campus utilizamos imágenes aéreas. También se utilizaron imágenes aéreas para identificar el espacio disponible en el techo del edificio Ana G. Méndez. Estas imágenes se encuentran en las Figuras 1 y 2. Para conocer el consumo de energía de la Institución y sus facturas asociadas, analizamos documentos de la oficina de planta física. Para conocer los costos y la información técnica de los sistemas fotovoltaicos, estudiamos literatura y cotizaciones presentadas por tres compañías relacionadas a la energía renovable (Solartek, Environmenergy y Caribbean Power System).

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE PROBLEMA

#### Facturas de energía

Utilizando las facturas de energía desde el año académico 2005-06 hasta el año académico 2007-08, notamos un aumento en el consumo de energía relacionado al periodo 2005-06 y el periodo 2006-07 y luego una disminución tanto en kWh anual consumidos y en el promedio de consumo mensual entre el periodo 2006-07 y el periodo 2007-08 (Figura 4). No obstante, debido a factores externos al consumo de energía en la Institución como por ejemplo el precio del petróleo, la cantidad pagada por energía tuvo un aumento anualmente desde el periodo 2005-06 al periodo 2007-08 (Figura 5). La diferencia en kWh consumidos entre el periodo 2005-06 y el 2006-07 fue de 528,000 más de un año para el otro mientras que la diferencia en el promedio del consumo mensual fue de 44,000 kWh (Tabla 3).

Entre los años académicos 2006-07 y 2007-08, hubo una disminución de kWh consumidos de 290,400 menos de un año para el otro mientras que la diferencia en el promedio del consumo mensual fue de 24,200 kWh menos (Tabla 3). En cuanto al costo incurrido por el consumo de energía, en el periodo 2005-06 se pagó la cantidad de \$1,383,221.00 dólares, en el periodo 2006-07 se pagó \$1,443,191.00 mientras que en el periodo 2007-08 se pagó la cantidad de \$1,766,208.00 dólares (Figura 5). Este aumento en la factura está relacionado al costo de producir la energía en Puerto Rico. En el año académico 2007-08, el costo promedio mensual por kWh fue mayor que en los años

académicos 2005-06 y 2006-07 por lo que al final del año se pagó mas por la energía consumida a pesar de haber disminuido el consumo de la misma.

#### Consumo de energía por edificio

Para saber el consumo energético por edificio y por área, utilizamos información del año 2008. Esto debido a que antes de esa fecha no había forma de calcular o medir el consumo por edificio debido a que solo había un metro que contabilizaba el consumo energético de toda la universidad. Luego del proyecto del control de temperatura de los aires acondicionados, se instalaron metros o contadores en cada edificio para poder conocer el consumo de los mismos. Utilizando esta información encontramos que el edificio que más consume energía en la institución es Muñiz Souffront con un 16% del consumo total de la institución seguido por los edificios Extensión Morales Carrión y Jesús T. Piñeiro con un 12% de consumo cada uno, luego CETED con un 10%, Ana G. Méndez con 9%, Investigación Científica y el centro de cuidado infantil con 8% cada uno, Morales Carrión con 7%, Finanzas con 6%, Ciencias y Tecnologías y Anexo Salón de Clases con 5% cada uno y finalmente el edificio Amalia Marín con un 2% de consumo.

#### Consumo de energía relacionado a cantidad de estudiantes o al área física

Si utilizamos la información de la cantidad de estudiantes matriculados en la institución desde el año académico 2003-04 hasta el año académico 2007-08 (Figura 3), podemos notar que la cantidad de estudiantes fue aumentando año tras año excepto en el último periodo en donde hubo una disminución (entre año académico 2006-07 y año

académico 2007-08). Utilizando la información de consumo de energía de la institución desde el año académico 2005-06 hasta el año 2007-08 (Figura 3), encontramos que hubo un aumento en el consumo desde el año 2005-06 hasta el 2006-07 y luego una disminución en los kWh consumidos durante el año 2006-07 y el año 2007-08. Con esta información se podría entender que a menor cantidad de estudiantes matriculados, menor será el consumo de energía, pero no necesariamente es así. Entre los años 2007 y 2008 se llevaron a cabo proyectos relacionados a disminuir el consumo de energía en la Institución haciendo un uso más eficiente de la misma por lo que la disminución en el consumo podría estar relacionada a los mismos. Además hay otros factores que afectan el consumo de energía y que no tiene relación con el número de estudiantes matriculados como por ejemplo salones que no se están utilizando y se mantienen con la iluminación encendida y el aire acondicionado trabajando, que la cantidad de estudiantes por salón no sea la adecuada, el acomodo de los programas de clases no sea eficiente lo que ocasiona que se utilicen salones en diferentes edificios en vez de utilizarlos en uno solo, equipos de oficinas encendidos sin ser utilizados, escape o infiltraciones en los salones u oficinas que afectan la eficiencia de los sistemas de aires acondicionados entre otros.

#### Proyectos nuevos utilizando LEED

En cuanto a nuevos proyectos, se tiene contemplado la construcción de un nuevo edificio a ser utilizado para las investigaciones científicas. Según la información presentada por la institución, el mismo contempla utilizar algunas de las recomendaciones del sistema LEED para edificios nuevos durante su construcción para



hacer el mismo un edificio verde y utilizar la energía de una forma eficiente una vez finalizado el mismo.

#### Medidas de conservación y uso eficiente de energía

De las visitas de campos realizadas a la Institución los días 29 de enero de 2009, 24 de marzo de 2009 y el 2 de abril del 2009 como también de la información evaluada en las mismas, se puede mencionar que la Institución ha comenzado a implantar medidas de conservación a través del campus con el fin de reducir el consumo energético en el mismo. A continuación se mencionarán las medidas implantadas:

La División de Planta Física comenzó en el año 2007 con la instalación de sensores de ocupación en los salones, oficinas y otras áreas de los diferentes edificios de la institución. La función principal de los sensores de ocupación es controlar el encendido y el apagado de la iluminación dependiendo si el área está ocupada o no. La División de Planta Física instaló dos tipos de sensores; infrarrojo y ultrasónico. En las visitas a la Institución, encontramos que los sensores no están trabajando adecuadamente por lo que no están cumpliendo su función principal. Además, Planta Física no ha recopilado información sobre cuánto ha sido el ahorro obtenido en el consumo energético luego de la instalación de los mismos. Según los datos de la Institución, el proyecto se encuentra aproximadamente en un 20% de completado.

Otro punto relacionado a la iluminación en los edificios es que se puede controlar la iluminación por secciones. Esto significa que se puede tener mitad del salón apagado y la otra mitad encendida. Además se le asignó al personal de mantenimiento la tarea de apagar la iluminación una vez se encuentren las áreas vacías.

Con relación al tipo de lámpara utilizada para la iluminación de los edificios, se utilizan lámparas fluorescentes entre las cuales se encuentran los modelos T8, las T12 y las lineales en forma de U. En la Institución se han ido reemplazando las lámparas fluorescentes T12 por las T8 debido a que el consumo de energía de las T12 es mayor que el consumo de las T8 (40W contra 32W). Este proyecto incluye el balastro y la lámpara y prácticamente ya no quedan lámparas T12 en la Institución. No se tiene información de cuánto ha sido el ahorro económico en cuanto al consumo de energía por iluminación.

En cuanto a los sistemas de aire acondicionado, que son el equipo de mayor consumo energético en la Institución, se ha implantado un proyecto de reemplazo de los sistemas de control de los mismos. Este proyecto consiste en el control de temperatura por un *setpoint* establecido, encendido de los aires media hora antes del comienzo de las clases y el apagado de los aires justo después de terminar la última clase (esto se realiza remotamente). Este proyecto se encuentra aproximadamente en un 95% de completado. Con este proyecto se eliminó el problema de temperaturas no adecuadas en los salones de clases y oficinas de la Institución. Además, con el proyecto de los aires acondicionados se aprovechó y se instalaron medidores para el consumo de energía en los diferentes edificios lo que hace mucho más fácil el calcular el consumo y el ahorro de energía en cada área de la Institución.

Otra medida que se implantó en la Institución para controlar la temperatura dentro de los edificios fue la instalación de tintes en las ventanas de cristal. Esta medida reduce la cantidad de calor que entra a los edificios, pero también elimina la luz natural que entra a los mismos.

## Facturas antes y después de los proyectos implantados

Las medidas o proyectos de conservación y uso eficiente de energía implantados en la Institución hasta el momento han sido los siguientes: instalación de sensores de ocupación, reemplazo de luminarias, mejoras a los controles del sistema de aire acondicionado, normas de apagar iluminación en áreas que no están en uso y la compra de equipos *Energy Star*. Si comparamos las facturas de energía de los años 2007 y 2008, notamos una disminución de 514,800 kWh anuales consumidos y de 1,146.10 kWh en el promedio de consumo diario. Esto significa que las medidas de conservación y uso eficiente de energía implantadas hasta ahora han conseguido reducir el consumo de energía de la Institución lo que es uno de los resultados esperados al implantar este tipo de medidas o proyectos. Esta reducción en el consumo de energía representó una disminución en la contaminación ambiental por parte de la Institución de 370 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>.

## Proyectos futuros de conservación y uso eficiente de energía

Con relación a los proyectos futuros, no hay nada concreto por parte de la Institución para estos. Personal de la división de Planta Física está evaluando la posibilidad de realizar un estudio de cuán eficiente en términos de energía se están utilizando los salones y laboratorios en la Institución. Esto lo que busca es recomendar a la administración reestructurar el proceso de matrículas para que se trate de usar la mayor cantidad de salones y laboratorios de los edificios en un mismo periodo de tiempo y así minimizar la cantidad de horas de consumo de energía.

### Plan relacionado a la conservación y el uso eficiente de energía

La Institución no cuenta con un plan relacionado a la conservación y al uso eficiente de la energía a corto, mediano o largo plazo. Los proyectos que se han llevado a cabo en la institución han sido por directrices de la administración y por iniciativa del personal de la división de Planta Física buscando mejorar el funcionamiento de ciertos sistemas y hacerlos más costo efectivos.

## **CAPÍTULO V**

### **ESTRATEGIAS Y PLAN DE ACCIÓN**

#### **Sistema fotovoltaico**

En cuanto a la propuesta de un sistema de energía fotovoltaica para un edificio de la Institución, se utilizó la información del consumo de energía en el edificio Ana G. Méndez de la UMET durante el año 2008 y su factura asociada. Durante ese año hubo un consumo de energía de 769,230 kWh en el edificio y un costo operacional de \$163,374.68 dólares los cuales representaron el 9% del consumo y la factura de la Institución. Utilizando el consumo energético y el promedio de horas de sol en el área de San Juan, el cual es de 5.52, entre otros parámetros, se desarrollaron varias alternativas de sistemas de energía solar fotovoltaicos para este edificio. Para poder suplir el 100% de la capacidad energética del edificio, se necesita un sistema de 387.09 KW AC, para el 50% del consumo energético se necesita un sistema de 193.55 KW AC, para el 25% del consumo se necesita uno de 96.77 KW AC y para el 10% del consumo energético se necesita uno de 38.71 KW AC. Para determinar el costo de los diferentes sistemas fotovoltaicos, se solicitaron cotizaciones a tres compañías relacionadas a sistemas de energía renovable. Las cotizaciones presentadas por las diferentes compañías utilizan precios sugeridos a base del consumo de energía solamente, lo que significa que si se fuera a desarrollar un proyecto de este tipo, se necesitaría un estudio más profundo sobre el consumo de energía. Este análisis también requiere evaluar las medidas de conservación que son viables para la institución antes de evaluar la instalación del

sistema solar fotovoltaico. El presupuesto disponible para este tipo de proyecto es esencial para promover una estrategia adecuada a la realidad fiscal de la institución.

Estudiamos las cuatro alternativas de sistemas fotovoltaicos utilizando los siguientes criterios: costos, espacio disponible, confiabilidad de los sistemas, apoyo técnico y disponibilidad tecnológica. Con relación al costo del sistema, podemos calcular el promedio para cada alternativa utilizando las cotizaciones de las tres compañías y obtenemos lo siguiente: 100% de capacidad \$2,560, 292.07 dólares, 50% \$1, 314,047.00 dólares, 25% \$670,831.33 dólares y por último el de 10% de capacidad \$ 272,921.00 dólares. Según los cálculos, los costos de los cuatro posibles escenarios (100% capacidad, 50%, 25%, 10%) son elevados y sus respectivos precios podrían reducirse si se aplicaran medidas de conservación y uso eficiente de energía antes de su implantación. Por ser un proyecto piloto, se debería comenzar con uno en el cual su inversión inicial no sea muy elevada (el de 10% de capacidad) y de esta forma la propuesta del proyecto podría ser considerada por la Institución para ser implantada. Además el costo incurrido en el mantenimiento de los equipos sería menor si se escogiera un sistema de menor capacidad.

En cuanto al criterio del espacio disponible en el techo del edificio, tanto por cálculos matemáticos como por consultas, en el mismo se pueden instalar entre 430 y 525 módulos lo que hace viable solamente los sistemas de 25% y 10%. Esto debido a la cantidad de módulos necesarios para poder suplir la demanda de energía del edificio para 100% y 50% de su capacidad que son 2068 y 1034, respectivamente.

En cuanto a la confiabilidad del sistema, las tres compañías mencionaron que todos los equipos utilizados en los sistemas de energía solar son instalados por personas

certificadas en este tipo de sistema y estas personas tienen que cumplir con unos requisitos establecidos por el gobierno de Puerto Rico. En cuanto a la garantía de los equipos, las tres compañías indicaron que los equipos utilizados en sistemas solares tienen garantía y las mismas se desglosan de la siguiente manera: módulos entre 20 a 25 años, inversores para sistemas atados al sistema eléctrico es de 15 a 20 años y si se quieren instalar baterías al sistema, la garantía para las mismas varía de 5 a 10 años lo que hace que el costo del sistema también aumente.

Con relación al apoyo técnico, las tres compañías ofrecen un contrato de mantenimiento el cual garantiza la visita periódica a los clientes por un técnico especializado en este tipo de sistemas. En estas visitas se inspecciona los diferentes equipos, se realizan limpieza a los mismos (en especial a los paneles), si el sistema tiene baterías las mismas son llenadas a un nivel óptimo (líquido interior), se verifican las conexiones eléctricas y se toman medidas del sistema eléctrico para corroborar que el mismo está sufriendo la potencia requerida.

En cuanto a la disponibilidad tecnológica, cada compañía representa una línea de productos en particular y sería a través de la compañía misma la coordinación para sustituir o reemplazar algún equipo. Esto no significa que el consumidor se tiene que limitar a una compañía o producto en particular. Lo bueno de los sistemas fotovoltaicos es que aunque los equipos en el mercado sean de una marca, capacidad y eficiencia diferente al ya instalado, uno puede utilizar ambos equipos y esto no afecta la operación del sistema. Además estos sistemas tienen la versatilidad de comenzar con una capacidad en particular y luego incrementar la misma ya sea con equipos del mismo fabricante o con otros disponibles en el mercado lo que hace de este mercado uno muy competitivo.

## PLAN DE ACCIÓN

Este trabajo recomienda desarrollar un proyecto de conservación y uso eficiente de energía y otro de infraestructura de energía renovable. Se recomienda comenzar con el edificio Ana G. Méndez debido a que en el mismo ubica la Escuela de Asuntos Ambientales, la cual se dedica a educar al estudiantado en temas relacionados a la protección y a la conservación del medio ambiente. Además de la Escuela de Asuntos Ambientales, en el edificio se encuentra la Escuela de Administración de Empresas y el Centro Integrado de Servicios Estudiantiles. En este edificio se han implantados algunas medidas de conservación de energía para reducir el consumo energético en el mismo.

Este proyecto piloto en el edificio Ana G. Méndez le permitirá a la UMET validar estrategias de conservación y uso eficiente de energía además de energía alterna para luego ser implantadas en el resto de los edificios de la Institución. El plan de acción incluye las siguientes estrategias: implantar las medidas relacionadas a la conservación y al uso eficiente de energía recomendadas en este trabajo; establecer un programa de conservación y uso eficiente de energía en la Institución; y la instalación de un sistema de energía solar en el edificio Ana G. Méndez.

Situación encontrada:

Falta de un programa en la Institución relacionado a la conservación y al uso eficiente de energía.



Objetivo:

Reducir en un 10% el consumo energético de la Institución en un periodo de cinco años.

Estrategia:

1. Implantar las medidas relacionadas a la conservación y al uso eficiente de energía recomendadas en este trabajo.
2. Establecer un programa de conservación y uso eficiente de energía en la Institución para reducir el consumo energético.

Actividades:

1. Llevar a cabo reuniones con personal de planta física para estudiar el estado actual de los programas de conservación y uso eficiente de energía en la Institución.
2. Realizar visitas junto a personal de planta física a los diferentes edificios de la institución para evaluar la efectividad de los proyectos de conservación y uso eficiente de energía implantados en los mismos.
3. Evaluar las recomendaciones relacionadas a la conservación y al uso eficiente de energía presentada en este trabajo para implantar las que estén acorde con la política de la institución.
4. Contratar a una persona especializada en este tipo de proyectos para evaluar el estado actual de los programas de conservación y uso eficiente de energía para realizar unas recomendaciones a ser incluidas en el programa.
5. Evaluar en que áreas de la Institución se pueden implementar el programa de conservación y uso eficiente de energía.

Costo aproximado:

Las actividades 1, 2, 3 y 5 serán realizadas por personal de planta física de la institución. La actividad 3 tendrá un costo entre 250 a 300 dólares por visita más el costo de crear el escrito sobre las recomendaciones el cual sería entre 1,500 a 3,000 dólares dependiendo de la magnitud del proyecto.

Periodo para implantar estrategia:

4a 6 meses

Resultado esperado:

La creación de un programa de conservación y uso eficiente de energía a ser implantado en la institución con el propósito de reducir los gastos operacionales incurridos por consumo de energía.

Situación encontrada:

Alto consumo de energía en la Institución y como resultado unos gastos operacionales en términos de energía elevados.

Objetivo:

Proveer parte de la energía requerida para operar el edificio Ana G. Méndez de una fuente de energía renovable.

Estrategias:

La instalación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio Ana G. Méndez el cual produzca 10% de la energía requerida para la operación del edificio.

#### Actividades:

1. Realizar estudios de consumo en el edificio antes y después de la implantación del programa de conservación y uso eficiente de energía para determinar el consumo actual en el mismo.
2. Calcular, utilizando el consumo de energía del edificio, cuanto será la capacidad necesaria para cubrir el 10% de las necesidades energéticas del mismo.
3. Conseguir cotizaciones de sistemas fotovoltaicos que suplan el 10% de capacidad energética del edificio y evaluar las mismas con el personal de la Institución.
4. Seleccionar la alternativa que mejor cumpla con las necesidades de la Institución.
5. Conseguir fondos para implementar el proyecto en el edificio seleccionado.
6. Presentar a la administración de la Institución la propuesta final para la instalación del sistema solar fotovoltaico.

#### Costo aproximado:

El costo de la cotización para un sistema solar fluctúa entre 100 a 300 dólares dependiendo de las visitas de campo y requerimientos específicos como, por ejemplo, tiempo de entrega. El costo del sistema de energía solar fotovoltaico dependerá del estudio de consumo de energía, tiempo de entrega del proyecto, equipo seleccionado y el contrato de mantenimiento establecido. Si utilizáramos los datos actuales del consumo de energía del edificio, la Institución tendría que invertir la cantidad de \$272,921.00 dólares para la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica el cual produciría el 10% de la energía del edificio.

#### Periodo para implantar estrategias:

6 meses a 1 año

Resultado esperado:

Que la Institución apruebe el proyecto de energía solar para el edificio Ana G. Méndez y el mismo pueda ser implantado.

PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLANTACIÓN DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE, UNA ALTERNATIVA PARA LAS INSTITUCIONES UNIVERSITARIAS

Objetivos	Estrategias	Entidad Responsable	Costo aproximado	Periodo requerido para implantar la estrategia	Resultado Esperado
<p>Reducir en un 10% el consumo energético de la institución en un periodo de 5 años.</p>	<p>Implantar las medidas relacionadas a la conservación y al uso eficiente de energía recomendadas en este trabajo.</p> <p>Establecer un programa de conservación y uso eficiente de energía en la institución para reducir el consumo energético.</p>	<p>UMET- Campaña de Consultoría en energía renovable.</p>	<p>Consultoría (visita, recomendaciones y documentos) entre \$ 2,500 y \$ 4,000.</p>	<p>4 a 6 meses</p>	<p>La creación de un programa de conservación y uso eficiente de energía a ser implantado en la institución con el propósito de reducir los gastos operacionales incurridos por el consumo de energía.</p>
<p>Proveer parte de la energía requerida para operar el edificio Ana G. Méndez de una fuente de energía renovable.</p>	<p>La instalación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio Ana. G. Méndez el cual produzca 10% de la energía requerida para la operación del edificio.</p>	<p>UMET- Campaña especializada en sistemas de energía renovable.</p>	<p>Cotización fluctúa entre \$ 100 a \$ 300 dólares.</p> <p>El costo del sistema de energía dependerá del estudio de consumo de energía, de los equipos requeridos y del contrato de mantenimiento del sistema.</p> <p>Si utilizamos los datos actuales del consumo de energía del edificio, la institución tendría que invertir la cantidad de \$272,921.00 dólares para la instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica.</p> <p>Hay créditos en proyectos de energía renovable de 75% hasta verano 2009, 50% hasta el verano del 2011 y 25% del 2011 en adelante.</p>	<p>6 meses a 1 año</p>	<p>Que la institución apruebe el proyecto de energía solar para el edificio Ana G. Méndez y el mismo pueda ser implantado.</p>

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **Conclusiones**

Por los pasados tres años académicos, la Universidad Metropolitana ha consumido un promedio de 8,960,000 kWh anualmente lo que ocasiona que sus gastos operacionales en términos de energía sean elevados. La factura de energía ha ido aumentando a través de los años lo que nos indica que la posibilidad de que continúe este patrón es muy alta. A pesar de lo antes mencionado, la Universidad no cuenta con un plan articulado e integrado para la conservación y uso eficiente de energía lo que ayudaría a reducir los gastos por el consumo de la misma. La división de Planta Física ha desarrollado varios proyectos dirigidos a reducir los gastos por el consumo de energía, pero han sido principalmente por iniciativa del personal mismo sin seguir un plan diseñado para este fin. Además, estos proyectos de conservación de energía no han sido completados en su totalidad y no se han documentado sus resultados. La documentación es esencial para evaluar su costo efectividad y la posibilidad de implantar estas medidas en otras instalaciones del Sistema Universitario Ana G. Méndez. Esto afecta la continuidad o la implantación de nuevos proyectos dirigidos a la conservación y al uso eficiente de energía debido a que la administración de la Universidad no ve tan explícito los ahorros obtenidos en términos económicos con los proyectos implantados.

La Universidad cuenta con una Escuela de Asuntos Ambientales, la cual tiene como propósito principal educar al estudiantado en la protección del ambiente. Por esta razón, la Escuela de Asuntos Ambientales en conjunto con la división de Planta Física

deberían llevar a cabo proyectos relacionados a la conservación y uso eficiente de energía en la Institución. Los beneficios de la conservación y uso eficiente de energía en la Institución no son solamente económicos, sino que minimizan el impacto ambiental producido por la Universidad al hacer mejor uso de la energía.

A través de programas dirigidos a la conservación y uso eficiente de energía, la Universidad puede conseguir ayudas para mejorar sus proyectos e implantar nuevos como también pueden incrementar los fondos para nuevas investigaciones en estas áreas. Estas investigaciones podrían incluir proyectos de energía solar y energía eólica entre otras fuentes de energía renovables para de esta forma educar al estudiantado y a la ciudadanía en general.

## **Recomendaciones**

Las recomendaciones se concentran en dos aspectos principales: la conservación y el uso eficiente de energía y la instalación de un sistema fotovoltaico como plan piloto en la Institución. Todo proyecto de energía renovable debe comenzar con la conservación y el uso eficiente de energía para disminuir el consumo energético.

### Conservación

La conservación juega un rol importante en mantener bajo los costos de un sistema fotovoltaico. Por esta razón es importante que antes de comprar e instalar un sistema de energía solar fotovoltaico, se tienen que implantar medidas de conservación y uso eficiente de energía en el lugar identificado para la instalación. Con esto se consigue tener un sistema fotovoltaico más económico, pequeño y eficiente lo que conlleva que el

proyecto sea uno más viable en términos económicos. A continuación una serie de recomendaciones en cuanto a conservación y uso eficiente de energía.

1. Establecer un programa a nivel Institucional relacionado con la conservación de energía. Para alcanzar el máximo potencial del mismo es necesario un compromiso claro de los directivos de la universidad.
2. Crear un comité o comisión relacionado a la conservación de energía en la Institución. El mismo puede estar integrado por diferentes representantes de la Institución y pueden reunirse bisemanal o mensualmente.
3. Ofrecer talleres y seminarios a la facultad, empleados y a los estudiantes para concienciar sobre los beneficios económicos y ambientales que se obtienen al conservar energía.
4. Crear conciencia sobre la conservación de energía es otro componente esencial en un programa efectivo sobre energía sustentable en la Institución. Una campaña sobre este tema puede modificar la cultura del campus y crear un clima de conservación. Hay diferentes métodos para llevar la campaña como por ejemplo correo interno, notificación a través de artículos en periódicos, afiches, presentaciones en clases, seminarios, conferencias y actividades entre otras.
5. Identificar sistemas o edificios que sean inefficientes en términos del uso de la energía. Luego de identificarlos, los mismos serán fijados como prioridad para los esfuerzos de conservación de energía.
6. El programa de conservación y uso eficiente de energía puede incluir las siguientes medidas.



- a. Establecer como medida apagar todas las computadoras o equipos durante la noche (a menos que las mismas estén relacionadas con investigaciones o sistemas de operación continua). En adición, pueden estar en un modo de ahorro de energía cuando ninguna actividad ocurra durante el día de trabajo.
- b. Comprar equipos de oficina para ser utilizados en la Institución tales como computadoras, impresoras, fotocopiadoras y *fax machines* entre otros que tengan la etiqueta de *Energy Star*.
- c. Continuar con la instalación de sensores de ocupación en los diferentes salones, oficinas y espacios cerrados de los edificios para así reducir el uso de electricidad al automáticamente apagar las luces cuando estos espacios no estén ocupados. Además, se les debe dar mantenimiento periódicamente a los mismos para que su operación sea eficiente.
- d. Controlar la iluminación con otros equipos como *timers* y *dimmers* para minimizar la pérdida de energía. Esto en adición a los sensores de ocupación.
- e. Comprar balastos electrónicos para las bombillas fluorescentes los cuales son de 10 a 15% más eficientes que los balastos magnéticos.
- f. Utilizar sensores de iluminación los cuales encienden y apagan las lámparas de acuerdo a la cantidad de luz diurna disponible.
- g. Evaluar los sistemas de iluminación, junto a expertos en el área, para determinar si los mismos son los adecuados según lo establecido en los códigos. Luego eliminar las luminarias que no hagan falta.

- h. Mantener un programa de limpieza para los sistemas de iluminación de los edificios para minimizar las pérdidas en la iluminación generada, y por consiguiente en dinero.
  - i. Corregir problemas con la aislación y el sellado en los edificios para así disminuir la transferencia de calor hacia el edificio lo que ayudaría a mantener el costo de energía relacionado a los aires acondicionados bajo.
  - j. Mejorar el control automático de temperatura en los sistemas de aire acondicionado de la Institución ajustando la temperatura de los edificios dependiendo del número de ocupantes.
7. Documentar todo los trabajos que se han realizado en términos de conservación y uso eficiente de energía en la institución. Con esta documentación se puede presentar al personal administrativo la efectividad del programa y el progreso del mismo como también proveer razones para continuar con el proyecto y presenta información para propósitos de relaciones públicas.
8. Promover los principios de sustentabilidad para la construcción y renovación de los edificios, además de la operación y el mantenimiento de los mismos. Estos principios pueden ser desarrollados por la Universidad a través de su política ambiental o se pueden utilizar otros principios desarrollados e implantados en otras universidades.
9. Establecer que las nuevas construcciones y los proyectos de remodelación utilicen las guías de edificios verdes y cumplan con alguna de las certificaciones LEED en términos de uso eficiente de energía.

10. Asignar fondos para implantar los programas de conservación, uso eficiente de energía y el plan piloto de un sistema de energía fotovoltaico en la Institución. Estos pueden ser adquiridos de programas estatales, federales o del mismo sistema universitario. También se podría crear un intercambio con compañías que trabajen sistemas fotovoltaicos para que donen sus servicios a cambio de educación, asesoría en términos ambientales y fuerza trabajadora.

### Sistema Fotovoltaico

De los cuatro escenarios estudiados; 100%, 50%, 25% y 10% de capacidad energética para el edificio Ana G. Méndez, solamente dos serían viables según los criterios de evaluación utilizados: el de 25% de capacidad y el de 10% de capacidad. Esto debido a que por los criterios de costo y espacio los sistemas de 100% de capacidad y el de 50% de capacidad no serían costo efectivo.

Como el proyecto sería el primero de este tipo en una institución universitaria en Puerto Rico, se podría comenzar con uno que cubriera el 10% del consumo de energía del edificio y luego de estudiar los ahorros alcanzados, de haber implantado las medidas de conservación y uso eficiente de energía y de conseguir nuevos fondos, se podría ampliar el mismo. Esto debido a que la inversión inicial que se tiene que realizar para instalar el sistema de 10% de capacidad es mucho menor que la inversión para el de 25%. Además al implantar un sistema pequeño al comienzo del proyecto, es más fácil llevar a cabo el mantenimiento del mismo y el adiestramiento correspondiente al personal de la Institución.

Si se implantara el proyecto de energía solar fotovoltaica para suplir el 10% de la energía consumida en el edificio, la Institución se estaría ahorrando alrededor de \$16,337.47 dólares anualmente en términos de factura de energía y según el costo del sistema, se tardaría cerca de 16.7 años recobrar la inversión realizada en el mismo. Además la universidad estaría reduciendo la contaminación ambiental anual por consumo de energía por parte del edificio en 55.2 toneladas métricas de CO<sub>2</sub>. Si comparamos estos resultados con otros sistemas de energía fotovoltaica como por ejemplo el del edificio de Negocios de la universidad de Harvard (36KV, inversión de \$378,487.00, ahorro anual de \$11,169.00 y tiempo de recobro de 22.3 años) el recomendado para la institución sería mucho más económico y con unos resultados superiores en cuanto al ahorro anual y el tiempo de recobro lo que lo hace uno viable en términos económicos. Además en todos los estudios de casos de universidades en los cuales se implantaron sistemas fotovoltaicos, se comenzaron con sistemas pequeños para luego ir aumentando su capacidad si se llegaba a la conclusión que el sistema está rindiendo los resultados esperados. El ahorro señalado anteriormente no toma en consideración el costo de la opinión pública relacionada a la Institución y los fondos que la institución podría conseguir por haber implantado este tipo de proyecto.

Si el proyecto de energía renovable fuera llevado a cabo durante los años 2009 al 2012, se podría conceder un crédito por parte del gobierno el cual oscilaría entre 50% del costo del equipo hasta un 25% dependiendo del año de compra de los equipos asociados al sistema. Esto significa una reducción en el costo total invertido en el proyecto. Además, si la Universidad decidiera implantar el proyecto piloto sobre energía solar y desarrollase una propuesta, se podrían conseguir fondos federales asociados a proyectos

de energía renovables para la Universidad y así reducir los gastos que la institución tendría que incurrir para establecer este tipo de proyecto.

Estos esfuerzos relacionados a la conservación, uso eficiente de energía y a fuentes de energía renovable ayudaran a desarrollar una política ambiental en la Universidad y servirán de modelos a otras instituciones académicas. De esta forma se comenzará con un proceso de aprendizaje en la institución para luego llevar el mismo a la ciudadanía en general.

### **Limitaciones**

Aunque en este trabajo nos enfocamos en los beneficios del proyecto de energía solar fotovoltaica para la Institución, la implantación de este tipo de sistema cuenta con una serie de limitaciones. Entre las limitaciones que hay que evaluar antes de implantar el proyecto de energía solar fotovoltaica se encuentran el consumo energía del edificio, el costo de los sistemas fotovoltaicos y que la fuente de energía es intermitente.

Una de las limitaciones es la información del consumo de energía. Para conocer la capacidad del sistema que se tiene que instalar, nosotros utilizamos solamente el consumo energético del edificio Ana G. Méndez en el año 2008. Para conocer mejor el comportamiento energético del edificio, hay que realizar un estudio mas profundo sobre el consumo de energía en el mismo. En este estudio se evalúan los sistemas que afectan el comportamiento energético del edificio y se realizan una serie de recomendaciones al usuario para corregir las deficiencias. El corregir las deficiencias garantiza que el sistema a ser implantado trabaje más eficientemente y tenga un costo menor.

Otro factor que limita este tipo de proyecto es el costo de los sistemas fotovoltaicos. Aunque el costo de estos sistemas se ha reducido en los pasados años, todavía el mismo no es tan competitivo si lo comparamos con otras formas de producir electricidad. Sin embargo esta comparación ignora los daños ambientales y económicos causados por los combustibles convencionales y los subsidios otorgados por los gobiernos a este tipo de combustibles. Si se crearan mas incentivos para promover la energía solar fotovoltaica, el costo en estos sistemas seria menor y podría competir con otras fuentes de energía. A través de ayudas federales y donaciones, el costo del sistema solar fotovoltaico seria menor y la Institución no tendría que invertir una cantidad sustancial de dinero para implantar el proyecto.

Otro factor que limitaría la implantación del sistema solar fotovoltaico en la institución es que la fuente de energía, el sol, es intermitente. La fuente de energía desaparece durante las noches y es limitada en los días nublados. Por lo tanto, la energía solar tiene que ser colectada y almacenada. En los sistemas fotovoltaicos se utiliza para almacenar la energía un sistema de baterías. Si la Institución decide implantar un sistema de energía solar fotovoltaico de 10% de capacidad, tendría que tener la opción de alimentar esa cantidad de energía de la fuente principal con la cual se alimenta el edificio o implantar un sistema de baterías que funcionaran de resguardo en situaciones en que el sistema fotovoltaico no este trabajando.

## LITERATURA CITADA

- Alameda, J., E. Irizarry. (2006). *La Energía Solar como solución al problema energético: Plan de corto, mediano y largo plazo*. Extraído septiembre 22, 2008 [www.aceer.uprm.edu/pdfs/pres\\_irizarry\\_alameda.pdf](http://www.aceer.uprm.edu/pdfs/pres_irizarry_alameda.pdf)
- Aponte, F.I. (2008). Transformar la AEE para lograr energía eléctrica limpia y verde. *Claridad*. p 6, 7 al 13 de marzo.
- Aponte, H.L. (2007). *Evaluación de la viabilidad de sistemas fotovoltaicos en residencias como alternativa para la producción de energía renovable en Puerto Rico*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan PR.
- Caballero, R.A. (2007). *Estudio de viabilidad de fuentes de energía renovable para el proyecto eco parque del Tanama en Utuado, PR*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan PR.
- Cámara de Representantes de Puerto Rico. (2004). *Ley sobre Política Pública de Desarrollo Sostenible*. Ley Núm. 267 de 10 de septiembre de 2004.
- Cámara de Representantes de Puerto Rico. (2008). *Ley sobre Crédito Contributivo por la Adquisición e Instalación de Equipo solar*. Ley Núm. 248 de 10 de agosto de 2008.
- Campbell, S & S. Fainstein. (2003). *Reading in Planning Theory*. 2nd Edition. Estados Unidos: Blackwell Publishing, Ltd.
- Caro, L. (2008). AEE Comprará Energía Renovable. *El Nuevo Día*. p 26, 2 de julio.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable. (2005). *Infraestructura Verde y nuestros parques*. Extraído abril 22, 2008 de: [www.proyectosambientales.info](http://www.proyectosambientales.info)

- Chiras, D.D. (2001). Foundation of a Sustainable Energy System. *Environmental Science-Creating a Sustainable Future*. Sixth edition. Estados Unidos: Jones & Bartlett Publishers, Inc.
- Cruz, Y. (2008). La búsqueda de energías alternas. *El Nuevo Día*. p 38, 13 de marzo.
- Custodio, M. (2009). Energía solar ayuda a aliviar carga contributiva. *El Nuevo Día-Negocios*. p 14, 12 de abril.
- Díaz, M. (2008). Cambio obligado en el consumo de luz. *El Nuevo Día-Negocios*. p 12, 16 de marzo.
- Electricnet. (2008a). *SolarCity's 'Think Half' Promotion Can Make Solar Power Twice As Affordable*. Extraído marzo 4, 2009 de: <http://www.electricnet.com/article.mcv/SolarCity's-Think-Half-Promotion-Can-Make-0001>
- Electricnet. (2008b). *Governor Schwarzenegger Showcases California Solar Solutions at Applied Materials*. Extraído octubre 31, 2008 de: <http://www.electricnet.com/article.mcv/Governor-Schwarzenegger-Showcases-California-Solar-Solutions-at-Applied-Materials-0001>
- Electricnet. (2009a). *Carmanah Introduces Solar LED Lighting For Streets And Parking Lots*. Extraído marzo 5, 2009 de: <http://www.electricnet.com/article.mcv/Carmanah-Introduces-Solar-LED-Lighting-For-0001>
- Electricnet. (2009b). *Cost of Installed Solar Photovoltaic System Drops Significantly*. Extraído marzo 10, 2009 de: <http://www.electricnet.com/article.mcv/Cost-Of-Installed-Solar-Photovoltaic-System-0001>
- Energy Information Administration. (2006a). *World Total Net Electricity Consumption, Most Recent Annual Estimates, 1980-2007*. Extraído 5 abril, 2009 de: <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/electricityconsumption.html>



- Energy Information Administration. (2006b). *World Per Capita Carbon Dioxide Emissions from the Consumption and Flaring of Fossil Fuels (Metric Tons of Carbon Dioxide), 1980-2006*.  
Extraído 5 abril, 2009 de: <http://www.eia.doe.gov/iea/carbon.html>
- Friedmann, J. (1987). *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action*.  
United State: Princeton University Press.
- Gobernador Estado Libre Asociado de Puerto Rico. (1993). *Política Pública Energética de Puerto Rico*. 28 de diciembre de 1993. Boletín Administrativo Núm. OE-1993-57.
- Harvard Green Campus Initiative. (2008a). *Harvard University Green Building Guidelines Projects under \$5 million*.  
Extraído marzo 31, 2008 de: <http://www.greencampus.harvard.edu>
- Harvard Green Campus Initiative. (2008b). *Harvard University Green Building Guidelines Projects over \$5 million*. Extraído marzo 31, 2008 de:  
<http://www.greencampus.harvard.edu>
- Harvard Green Campus Initiative. (2008c). *Photovoltaic Power Generation*.  
Extraído marzo 31, 2008 de: <http://www.greencampus.harvard.edu>
- Harvard Green Campus Initiative. (2008d). *Photovoltaics Fact Sheet*. Extraído mayo 1, 2008 de: [www.greencampus.harvard.edu/cre](http://www.greencampus.harvard.edu/cre)
- Hermosilla, C.G. (2008). El dilema del petróleo. *El Nuevo Día-Negocios*. p 2, 13 de enero.
- Kemp, W.H. (2005). *The Renewable Energy Handbook*. First Revision. Canada: Aztext Press
- Krauter, S. (2006). *Solar Electric Power Generation- Photovoltaic Energy System*. 1ra edición. Alemania: Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Lama, R. (2008). Fuentes de Energía Eléctrica. *El Nuevo Día-Negocios*. p 2, 17 de agosto.

López, T., & N. Villanueva. (2006). *Atlas Ambiental de Puerto Rico*. 1ra edición. Puerto Rico: La Editorial, Universidad de Puerto Rico.

Mignucci, J.S (2008). De cara al sol. *Dimensión, Revista del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico*. 22(1):9-13.

Northwestern University. (2007). *Northwestern University's Commitment to Environmental Sustainability*. Extraído marzo 30, 2008 de: [http://www.northwestern.edu/fm/environmental\\_sustainability.htm#energyuse](http://www.northwestern.edu/fm/environmental_sustainability.htm#energyuse)

Office of Physical Plant, Penn State. (2005). *Energy Projects: Solar photovoltaic*. Extraído abril 1, 2008 de: <http://energy.opp.psu.edu/>

Oregon Department of Energy. (2005). *Oregon Renewable Energy Action Plan*. Extraído 27 abril de 2008 de: [www.oregon.gov/energy](http://www.oregon.gov/energy)

Princeton University. (2008). *The Princeton University Sustainability Plan*. Extraído abril 27, 2008 de: [www.princeton.edu/pr/reports/sustain/html/](http://www.princeton.edu/pr/reports/sustain/html/)

Rahman, S. (2009a). *The Emerging Electric Power System: Technology, Policy and Business Implications*. Virginia Tech, Extraído febrero 23, 2009 de: <http://www.ceage.vt.edu/papers.htm#presentation>.

Rahman, S. (2009b). *Building Integration of Photovoltaic Panels (BIPV) and Solar Thermal Installation*. Virginia Tech, Extraído febrero 23, 2009 de: <http://www.ceage.vt.edu/papers.htm#presentation>.

Rivera, Y. (2008). Búsqueda de energía alternativa. *El Nuevo Día-Negocios*. p 10, 13 de marzo.

Senado de Puerto Rico. (2004). *Ley para el Desarrollo de Energía Renovable*. Ley Núm. 325 de 16 de septiembre de 2004.

- Senado de Puerto Rico. (2007). *Ley para establecer un programa de Medición Neta*. Ley Núm. 114 de 16 de agosto de 2007.
- Suarez, L. (2008). Dan Incentivo Energético-Nuevos créditos por instalación de paneles solares. *El Nuevo Día*. p 43, 1 de noviembre.
- University of Colorado at Boulder. (2009a). *CU-Boulder's Guide to Saving Energy in your Office*. Extraído marzo 2, 2009 de: <http://www.ecenter.colorado.edu/publications>
- University of Colorado at Boulder. (2009b). *Campus Master Plan*. Extraído marzo 2, 2009 de: <http://www.colorado.edu/masterplan/plan.cgi?4&4&&1>
- University of Colorado at Boulder. (2009c). *CU-Boulder's Guide to Saving Energy in your Office*. Extraído marzo 9, 2009 de: <http://www.colorado.edu/conservation>
- Universidad Metropolitana. (2008). *Fact Sheet 2007, Vicepresidency of Planning and Institutional Research*. Extraído agosto 29, 2008 de: [http://www.suagm.edu/suagm/umet/planificacion\\_investigacion.aspx](http://www.suagm.edu/suagm/umet/planificacion_investigacion.aspx)
- University of New South Wales. (2008). *Magic Solar Milestone Reached*. Extraído octubre 31, 2008 de: <http://www.powerline.com/article.mcv/Magic-Solar-Milestone-Reached-0001>
- U.S Congress. (1978). *Public Utility Regulatory Policies Act (PURPLA)*. Us Code Title 16- Conservation.
- U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy. (2006) *Laying the Foundation for a Solar America: The Millions Solar Roofs Initiative*. Extraído febrero 18, 2008 de: <http://www.eere.energy.gov/>
- U.S. Department of Energy. (2005). *Energy Policy Act (EPAct)*. H.R.6. 8 de agosto 2005. Extraído marzo 8, 2009 de: <http://www.eere.energy.gov/>
- U.S Department of Energy. (2009). *Renewable Energy Data Book*. Extraído marzo 8, 2009 de: <http://www.eere.energy.gov/>

U.S. Environmental Protection Agency. (2007) *Clean Energy Programs*.  
Extraído febrero 16, 2008 de: <http://www.epa.gov/cleanenergy/index.html>

U.S Environmental Protection Agency. (2009) *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator*. Extraído abril 25, 2009de: <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/calculator.html>

U.S. Green Building Council. (2008). *LEED Rating System*. Extraído febrero 17, 2008 de: <http://www.usgbc.org/>

## **TABLAS**

Tabla 1

*Consumo de energía edificio Ana G. Méndez año 2008*

<b>Información consumo AGM</b>	
Promedio Mensual KWH	64,102.50
Promedio Diario KWH	2136.75
Ave Diario Hrs de sol	5.52
Syst size AC Watts KW	387.09
Consumo UMET 2008	8,547,000
Consumo AGM 2008	769,230
Cantidad Facturada UMET 2008	\$ 815,274.20
Cantidad Facturada AGM 2008	\$ 163,374.68
Precio KWH 2008	\$ 0.21

Tabla 2.

*Cotizaciones sistemas fotovoltaicos según consumo energético edificio Ana G. Méndez*

Compañía	Capacidad (KW)			
	100%	50%	25%	10%
	387.09	193.54	96.77	38.7
Solartek	\$2,624,470.20	\$1,408,971.00	\$748,032.00	\$313,083.00
Environmenergy	\$2,450,000.00	\$1,230,000.00	\$612,877.00	\$245,100.00
Caribbean Power System	\$2,606,406.00	\$1,303,170.00	\$651,585.00	\$260,580.00
Promedio	\$2,560,292.07	\$1,314,047.00	\$670,831.33	\$272,921.00

Tabla 3

*Consumo de energía de la institución y del edificio Ana G. Méndez por mes*

Mes	UMET 2005-06	AGM 2005-06	UMET 2006-07	AGM 2006-07	UMET 2007-08	AGM 2007-08
Agosto	706,200	63,558	778,800	70,092	811,800	73,062
Septiembre	858,000	77,220	891,000	80,190	844,800	76,032
Octubre	745,800	67,122	851,400	76,626	805,200	72,468
Noviembre	739,200	66,528	798,600	71,874	792,000	71,280
Diciembre	726,000	65,340	719,400	64,746	699,600	62,964
Enero	574,200	51,678	587,400	52,866	580,800	52,272
Febrero	686,400	61,776	759,000	68,310	798,600	71,874
Marzo	745,800	67,122	765,600	68,904	706,200	63,558
Abril	627,000	56,430	666,600	59,994	759,000	68,310
Mayo	752,400	67,716	785,400	70,686	765,600	68,904
Junio	811,800	73,062	825,000	74,250	706,200	63,558
Julio	739,200	66,528	811,800	73,062	679,800	61,182
Total	8,712,000	784,080	9,240,000	831,600	8,949,600	805,464
Promedio	726,000	65,340	770,000	69,300	745,800	67,122



Tabla 4

*Factura mensual por consumo de energía en la Institución y en el edificio Ana G. Méndez*

	UMET 2005-06	AGM 2005-06	UMET 2006-07	AGM 2006-07	UMET 2007-08	AGM 2007-08
E	\$109,144.00	\$9,822.96	\$121,790.00	\$10,961.10	\$131,657.00	\$11,849.13
F	\$127,819.00	\$11,503.71	\$145,554.00	\$13,099.86	\$141,105.00	\$12,699.45
M	\$121,321.00	\$10,918.89	\$131,550.00	\$11,839.50	\$139,979.00	\$12,598.11
A	\$123,932.00	\$11,153.88	\$121,211.00	\$10,908.99	\$153,086.00	\$13,777.74
M	\$121,675.00	\$10,950.75	\$110,863.00	\$9,977.67	\$133,496.00	\$12,014.64
J	\$93,525.00	\$8,417.25	\$89,142.00	\$8,022.78	\$121,367.00	\$10,923.03
J	\$109,570.00	\$9,861.30	\$109,000.00	\$9,810.00	\$158,044.00	\$14,223.96
A	\$113,330.00	\$10,199.70	\$123,077.00	\$11,076.93	\$129,467.00	\$11,652.03
S	\$101,014.00	\$9,091.26	\$114,034.00	\$10,263.06	\$149,231.00	\$13,430.79
O	\$118,417.00	\$10,657.53	\$122,290.00	\$11,006.10	\$155,290.00	\$13,976.10
N	\$128,510.00	\$11,565.90	\$136,165.00	\$12,254.85	\$173,896.00	\$15,650.64
D	\$114,964.00	\$10,346.76	\$118,515.00	\$10,666.35	\$179,590.00	\$16,163.10
Total	\$1,383,221.00	\$124,489.89	\$1,443,191.00	\$129,887.19	\$1,766,208.00	\$158,958.72
	2005-06		2006-07		2007-08	
Promedio	\$115,268.42	\$10,374.16	\$120,265.92	\$10,823.93	\$147,184.00	\$13,246.56

Tabla 5

*Comparación sistema fotovoltaicos propuesto para edificio AGM de la UMET y el sistema de la Universidad de Harvard*

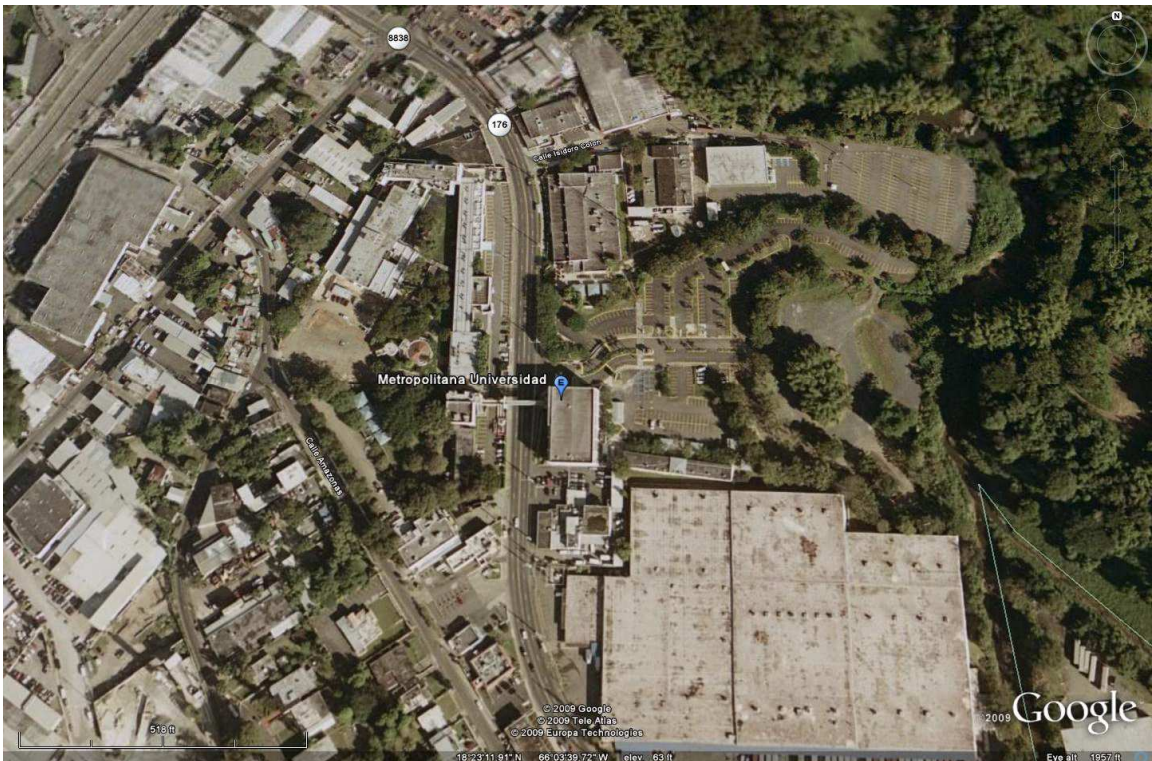
Sistema fotovoltaico	AGM	Harvard
Costo sistema	\$272,921.00	\$378,487.00
Capacidad	38.71 KW	36 KW
Ahorro operacional anual	\$16,337	11,169.00
Reducción contaminación CO2	55.2 ton métricas	20.3 ton métricas
Tiempo de recobro inversión	16.7 años	22.3 años

Tabla 6

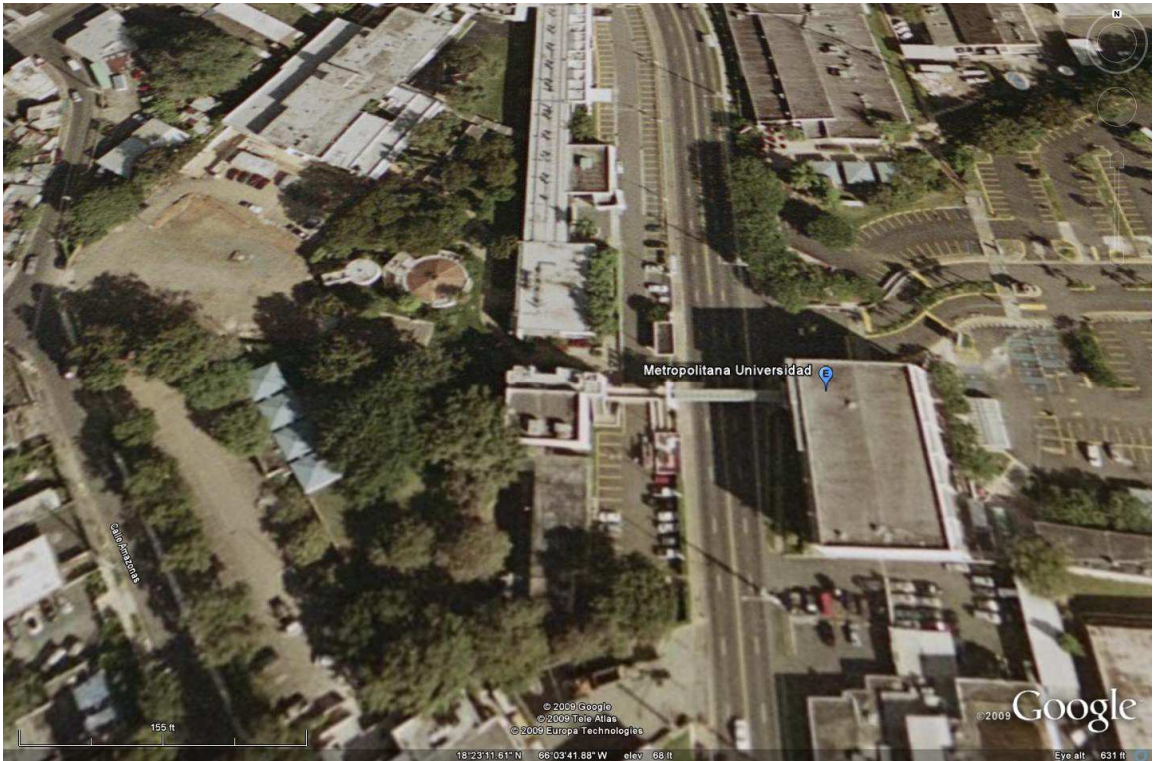
*Comparación consumo de energía en la institución durante los años 2007 y 2008*

Año	Consumo kWh	Consumo Diario kWh	Costo operacional
2007	9,061,800	24,691.55	1,511,546.00
2008	8,547,000	23,545.45	1,815,274.20
Consumo ahorrado	<b>514,800</b>		
Consumo diario ahorrado	<b>1,146.10</b>		
Gasto ahorrados	<b>137,350.09</b>		

## **FIGURAS**



*Figura 1.* Foto aérea del área y de los edificios de la Universidad Metropolitana (2006).



*Figura 2.* Foto aérea del techo del edificio Ana G. Méndez (2006).

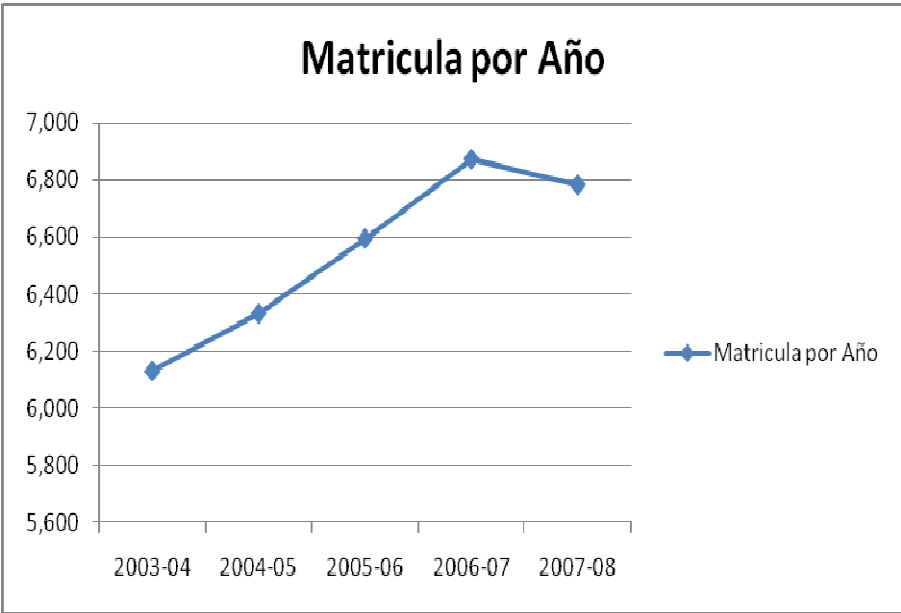


Figura 3. Matrícula de estudiantes por año en la Universidad Metropolitana.

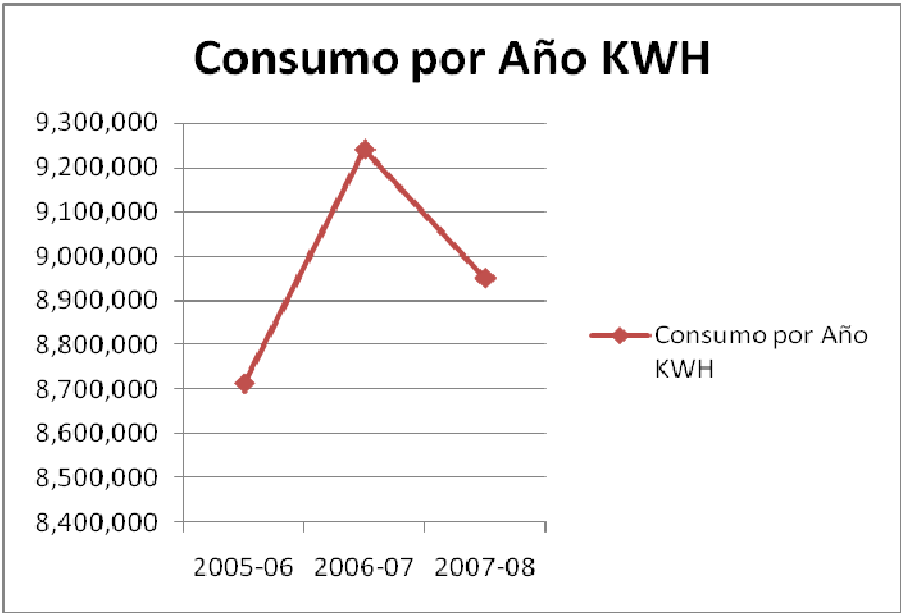


Figura 4. Consumo energético por año en la UMET.



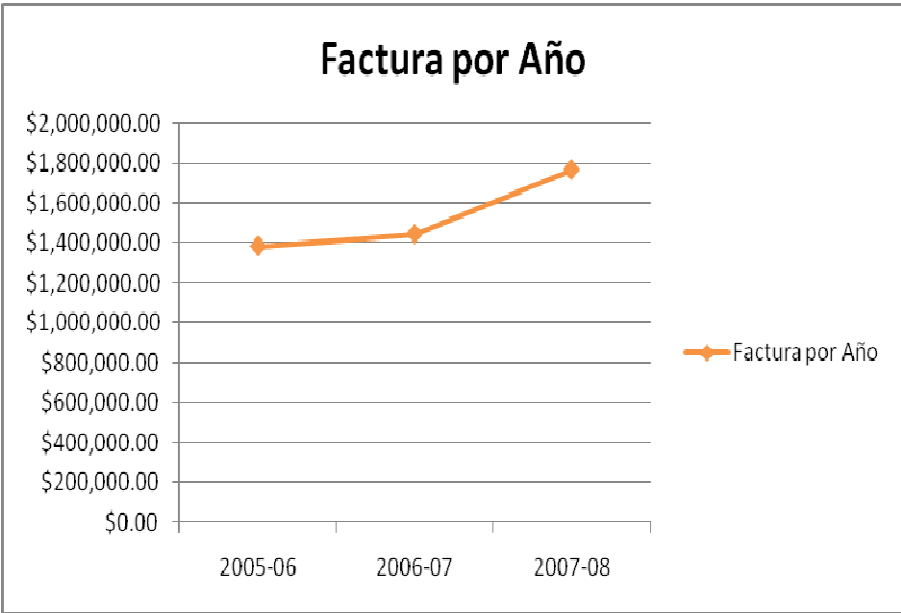


Figura 5. Factura por el consumo energético anual en la Institución.

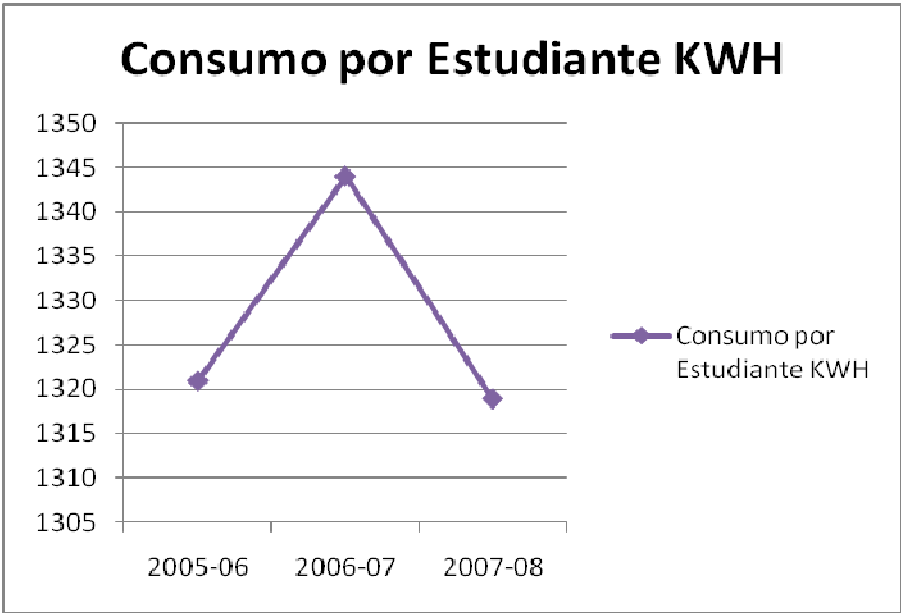


Figura 6. Consumo energético por estudiante anual en la Institución.

## APÉNDICES

Apéndice 1: Cálculos para determinar tamaño del sistema fotovoltaico edificio Ana G. Méndez.

1. Determinar el consumo eléctrico mensual promedio del edificio según las facturas de la institución.

Para este cálculo se utilizó el consumo mensual en la institución del año 2008, se multiplicó cada mes por 9%, que es el consumo de energía del edificio Ana G. Méndez y luego se cálculo el promedio.

**Promedio = 64,102.5 KWH**

2. Encontrar el consumo diario promedio de electricidad.

Se dividió promedio mensual usado por 30 días

**Consumo diario = 2136.75 KWH**

3. Encontrar el promedio pico de horas de sol para la localización deseada

Se utilizaron los mapas del *National Renewable Energy Laboratory* los cuales indican que el promedio horas pico de sol para San Juan es de 5.52.

4. Calcular el tamaño del sistema (AC Watts) para proveer el % deseado de electricidad.

Dividir el promedio diario de electricidad usado por las horas de sol por día.

**Para un sistema de 100 % de capacidad eléctrica: 2,136.75 KWH/5.52 H  
= 387.09 KW AC**

**Para un sistema de 50 % de capacidad eléctrica: 1068.4 KWH/5.52 H  
= 193.55 KW AC**

**Para un sistema de 25 % de capacidad eléctrica: 534.19 KWH/5.52 H  
= 96.77 KW AC**

**Para un sistema de 10 % de capacidad eléctrica: 213.68 KWH/5.52 H  
= 38.71 KW AC**

5. Calcular el número de módulos fotovoltaicos requeridos para el sistema

Dividir el tamaño del sistema (paso 4) por el *CEC Watts Rating* del módulo seleccionado a ser usado, luego dividir por la eficiencia del convertidor.

Utilizando un módulo REC Solar SCM 220 con CEC 194.0 y un convertidor Xantrex con 96.5% de eficiencia:

# de módulos para 100 % de capacidad =  $387.09 \text{ KW}/194.0 = 1.9953/.965 = 2,068$  módulos

# de módulos para 50 % de capacidad =  $193.55 \text{ KW}/194.0 = .9976/.965 = 1,034$  módulos

# de módulos para 25% de capacidad =  $96.77\text{KW}/194 = .4988/.965 = 517$  módulos

# de módulos para 10% de capacidad =  $38.71 \text{ KW}/194 = .1995/.965 = 207$  módulos

Apéndice 2: Cálculos para determinar número de módulos a instalarse en el techo del edificio Ana G. Méndez.

### 1. Medidas del espacio disponible en el techo del edificio Ana G. Méndez

Nota: Para esto se trato de medir el techo físicamente, pero no se pudo lograr el acceso al mismo. Se utilizó programa *Google Earth* para conocer el espacio disponible.

#### 1. Medidas techo edificio:

Norte a Sur: 145.65 pies o 44.39 metros

Este a Oeste: 80.60 pies o 24.57 metros

#### 2. Medidas modulo:

5 pies, 2 pulgadas de alto, 39 pulgadas de ancho (módulo de 200 watts, las medidas de los módulo varían)

Debido a la posición geográfica de Puerto Rico con respecto al sol, se tienen que instalar a un ángulo de 18 grados hacia el sur. Por consiguiente el espacio que ocupa un solo modulo es aproximadamente de 5' \* 39". La fila de módulos se les llama *array* y se acomodan de este a oeste. Entre *array* hay que dejar un espacio para mantenimiento de entre 3 a 5 pies. Tomando todo esto en consideración la cantidad de módulos a ser instalados según el espacio disponible es:

$$3. \text{ Número de módulos por array} = 80.6 \text{ ft} / 39 \text{ in} = 80.6 \text{ ft} / 3.25 \text{ ft} = 24.8 = 24$$

4. Número de *array* o filas =  $145.65 \text{ ft} / 3 \text{ ft (espacio)} + 5 \text{ ft (tamaño módulo)} = 18.20 = 18$  filas de módulos de norte a sur
5. Número total de módulos =  $24 \text{ módulos por fila} * 18 \text{ filas} = 432$  módulos aproximadamente