

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA UNA  
VIVIENDA DE ENERGÍA CERO PARA  
GUATEMALA.**

Trabajo de graduación presentado por Juan Alfredo Gutiérrez  
Ramírez para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Civil

GUATEMALA  
2013



**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA UNA  
VIVIENDA DE ENERGÍA CERO PARA  
GUATEMALA.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

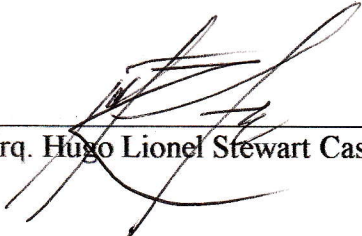


**ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD PARA UNA  
VIVIENDA DE ENERGÍA CERO PARA  
GUATEMALA.**

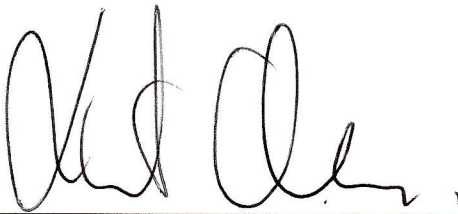
Trabajo de graduación presentado por Juan Alfredo Gutiérrez  
Ramírez para optar al grado académico de Licenciado en  
Ingeniería Civil

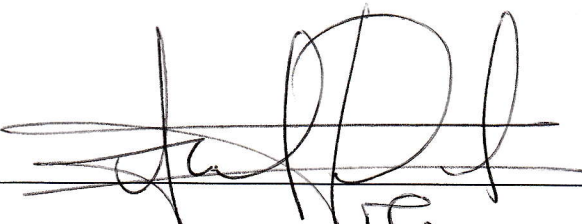
GUATEMALA  
2013

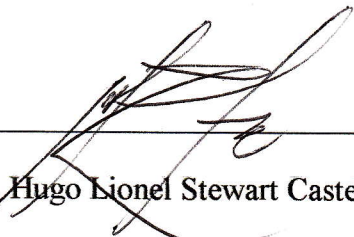
Vo. Bo. :

(f)   
Arq. Hugo Lionel Stewart Castellón

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Roberto Godo Levensen

(f)   
Ing. Amílcar Jose Ordoñez Medina

(f)   
Arq. Hugo Lionel Stewart Castellón

Fecha de aprobación: Guatemala 31 de Octubre 2013.

## **PREFACIO**

Este trabajo realizado en la modalidad de tesis, con enfoque de investigación, presenta un análisis sobre la viabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos en viviendas particulares en Guatemala. Dicha necesidad de ahondar más en el tema nace luego de escuchar varios documentales relacionados con los sistemas de energías renovables residenciales y de tomar un curso sobre la Energía y el Medio Ambiente en la Universidad de Harvard. El curso creó la necesidad de analizar más a fondo el tema de la producción eléctrica en Guatemala, los precios al consumidor y el impacto ambiental. Esta investigación abarcó tanto la consulta de la legislación relacionada a los temas de energías renovables en el país, así como de las empresas comercializadoras de paneles fotovoltaicos para la producción residencial de electricidad usando la energía solar. Todo esto para concluir si es factible para una familia en Guatemala adquirir los paneles fotovoltaicos y evaluar los beneficios que traerá el uso de dichos dispositivos en una vivienda a corto y largo plazo.

Agradezco el apoyo de varias personas que colaboraron con brindar información valiosa sobre el mercado eléctrico en Guatemala, a las empresas que comercializan los paneles fotovoltaicos por la valiosa información que proporcionan a sus clientes sobre los beneficios del uso de esta energía renovable. También agradezco al Ing. Roberto Godo, director del departamento de Ingeniería Civil por el apoyo y asesoría en el presente trabajo, y por poner a mi disposición varios proyectos realizados por promociones anteriores que realizaron sus investigaciones en temas relacionados a las energías renovables. Finalmente agradezco al arquitecto Hugo Stewart por su valioso aporte a todo este trabajo, el cual fue muy enriquecedor gracias a su vasta experiencia en el diseño de viviendas en Guatemala.

## TABLA DE CONTENIDO

Prefacio .....	vi
Lista de figuras .....	ix
Lista de mapas .....	ix
Lista de tablas .....	ix
Lista de gráficas.....	x
Resumen.....	xi
Capítulos	
1. Introducción .....	1
2. Objetivos.....	2
3. Importancia de la ciencia ambiental.....	3
4. La economía ambiental.....	10
5. Conceptos básicos de la energía .....	15
6. La actualidad de la energía en el mundo .....	26
7. Situación actual de la energía en Guatemala .....	34
7.1. El mercado eléctrico de Guatemala .....	34
7.2. Potencial energético .....	39
7.3. Acceso al servicio de energía eléctrica .....	40
7.4. Sistema de transmisión eléctrica.....	41
7.5. Distribución de energía eléctrica .....	42
7.6. Demanda de recursos energéticos a nivel nacional .....	44
7.7. Demanda de electricidad .....	44
7.8. Consumo de leña.....	45
7.9. Oferta de recursos energéticos a nivel nacional .....	47
7.10. Tarifas eléctricas.....	49
8. La energía solar .....	51
8.1. Información general.....	51
8.2. Definición de la energía solar pasiva.....	53
8.3. Inclinación del sol.....	57
8.4. Confort térmico.....	62
8.5. Las barreras térmicas .....	64
8.6. Tasa metabólica .....	64
8.7. Condiciones térmicas del ambiente .....	65

9.	La energía solar en Guatemala.....	67
9.1.	El país y el reto de la sostenibilidad .....	67
9.2.	¿Cómo están los precios de la electricidad en Guatemala?.....	68
9.3.	¿Qué hay de la energía solar en Guatemala?.....	68
10.	Viviendas cero energía en Guatemala .....	70
10.1.	Descripción general .....	70
10.2.	Viviendas en Guatemala .....	70
10.3.	Realidad o utopía .....	72
10.4.	Pasos a seguir antes de considerar un sistema fotovoltaico .....	73
10.5.	Información general de un panel fotovoltaico.....	75
10.6.	Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos.....	75
10.7.	Actualidad de los paneles fotovoltaicos en Guatemala.....	77
10.8.	Otros factores a considerar .....	80
11.	Análisis financiero .....	82
11.1.	Descripción general .....	82
11.2.	Escenario 1 .....	83
11.3.	Escenario 2 .....	87
11.4.	Escenario 3 .....	91
11.5.	Análisis VPN .....	94
11.6.	Alternativa B para una vivienda de 170m <sup>2</sup> .....	97
11.7.	Alternativas para la adquisición de un sistema fotovoltaico .....	100
12.	Discusión .....	102
13.	Conclusiones.....	107
14.	Recomendaciones.....	109
15.	Bibliografía .....	112
16.	Apéndice.....	116
17.	Glosario .....	125

## Lista de figuras

5.1	Movimiento del péndulo .....	18
8.1	Origen solar de la energía del planeta.....	51
8.2	Tipos de energía solar.....	52
8.3	Reflexión sobre los retos energéticos en el mundo .....	53
8.4	Equinoccio y solsticio.....	57
8.5	Ángulos de los rayos solares.....	58
8.6	Ángulos según latitud geográfica y estación.....	59
8.7	Esparcimiento de los rayos solares llegando a la Tierra.....	60
8.8	Rayos solares a distintas latitudes.....	61
8.9	Producción de calor corporal por actividad.....	64
10.1	Aparatos conectados a una instalación fotovoltaica domiciliar .....	76
10.2	Diagrama de un sistema fotovoltaico en una vivienda.....	77

## Lista de mapas

7.1	Cobertura eléctrica municipal.....	41
7.2	Sistema de transporte de energía en Guatemala .....	42
7.3	Distribuidoras y región de cobertura .....	43
7.4	Densidad de consumo de leña por municipio .....	46

## Lista de tablas

5.1	Ejemplos de eficiencias de la primera y segunda ley .....	21
7.1	Potencial energético del país y nivel de aprovechamiento.....	40
10.1	Consumo energético de una vivienda de 170m <sup>2</sup> .....	72
10.2	Empresas que comercializan sistemas fotovoltaicos.....	78
11.1	Caso No. 1: casa 60m <sup>2</sup> .....	83
11.2	Precio venta casa 60m <sup>2</sup> .....	83

11.3	Cuadro financiamiento casa 60m2 .....	84
11.4	Precio venta sin sistema fotovoltaico casa 60m2 .....	84
11.5	Cuadro financiamiento sin sistema fotovoltaico casa 60m2.....	84
11.6	Costos resultado del financiamiento casa 60m2.....	85
11.7	Análisis VPN casa 60m2.....	86
11.8	Caso No. 2: casa 170m2.....	87
11.9	Precio venta casa 170m2.....	87
11.10	Cuadro financiamiento casa 170m2.....	88
11.11	Precio venta sin sistema fotovoltaico casa 170m2.....	88
11.12	Cuadro financiamiento sin sistema fotovoltaico casa 170m2.....	89
11.13	Costos resultado del financiamiento casa 170m2 .....	89
11.14	Análisis VPN casa 170m2.....	90
11.15	Caso No. 3: casa 340m2 .....	91
11.16	Precio venta casa 340m2 .....	91
11.17	Cuadro financiamiento casa 340m2.....	92
11.18	Precio venta sin sistema fotovoltaico casa 340m2.....	92
11.19	Cuadro financiamiento sin sistema fotovoltaico casa 340m2.....	92
11.20	Costos resultado del financiamiento casa 340m2 .....	93
11.21	Análisis VPN casa 340m2.....	94
11.22	VPN Escenario 1.....	95
11.23	VPN Escenario 2.....	96
11.24	VPN Escenario 3.....	96
11.25	Cuadro financiamiento casa 170m2. sistema \$7,000 de inversión.....	97
11.26	Costos resultados del financiamiento .....	98
11.27	Análisis VPN casa 170m2 Opción B.....	99

### **Lista de gráficas**

3.1	Desarrollo de la población mundial .....	6
3.2	Las mega ciudades del mundo .....	9
5.1	Consumo energético por combustible en E.E.U.U. ....	23
5.2	Producción y consumo energético de 1980-2030.....	24

6.1	Consumo total de energía per cápita .....	26
6.2	Tasa de descubrimiento y consumo histórico del petróleo.....	27
7.1	Importaciones y exportaciones de energía eléctrica en Guatemala .....	37
7.2	Transacciones regionales Centroamérica 2012 .....	37
7.3	Proyección de la demanda mundial de energía por tipo de fuente .....	38
7.4	Comportamiento de precios internacionales del petróleo y sus derivados....	39
7.5	Consumo energético nacional.....	44
7.6	Consumo energía eléctrica 1986-2027 en Guatemala.....	45
7.7	Matriz generadora eléctrica 2007, 2012 y 2027 en Guatemala .....	47
7.8	Comportamiento de las tarifas eléctricas en Guatemala .....	49

## RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es evaluar la situación actual de Guatemala concerniente al uso de energía solar para producir electricidad a nivel residencial. Los sistemas fotovoltaicos no generan electricidad durante la noche o en días nublados, durante estos periodos las viviendas consumen electricidad de la red general. En los periodos de buena radiación solar los sistemas fotovoltaicos producen electricidad, lo que se busca es que durante estos periodos se produzca como mínimo la misma cantidad de energía que se consumió de la red, para que el balance neto sea cero.

El análisis empieza con una descripción general de la situación energética mundial. Se presenta una panorámica general de la situación de los combustibles fósiles en el mundo y las repercusiones que tiene el uso de estas fuentes. Luego se avanza a describir la situación energética en Guatemala, el mercado eléctrico actual y los precios comparados con el resto de la región. También se presenta la legislación del país en cuestiones de energías renovables. La investigación se encamina a descubrir el potencial de radiación solar en el país. Luego abarca un análisis de costo-beneficio, utilizando información de empresas locales que venden sistemas fotovoltaicos y calentadores solares, en cuanto a precios, garantías e información técnica. También abarca aspectos de la estratigrafía económica en el país, lo cual nos ayudó a concluir que invertir en un sistema fotovoltaico tiene retornos y periodos de recuperación razonables, pero que el reto mayor se presenta para la fracción de la población con ingresos más bajos.

Este trabajo evalúa algunas inquietudes de los clientes relacionados con la durabilidad, rendimiento y estética de los sistemas fotovoltaicos y finalmente concluye con que Guatemala tiene las condiciones favorables para alcanzar viviendas cero-energía utilizando sistemas fotovoltaicos. Los retos son como comunicar la existencia de esta fuente renovable de energía al consumidor. También se presentan algunas recomendaciones sobre cómo ser más eficientes en el consumo energético para reducir la demanda base de un hogar, lo cual resultará en sistemas fotovoltaicos más pequeños para cubrir su demanda, siendo la inversión inicial menor. Todo con la finalidad de que la vivienda produzca la energía que consume, y así poder denominarla una vivienda de energía cero (balance neto igual a cero).

# 1. INTRODUCCIÓN

El mundo está cambiando rápidamente, la población sigue creciendo y con este hecho la demanda energética va aumentando cada día. Los combustibles fósiles son un recurso limitado, y dado que la demanda sigue incrementándose los precios continúan con una tendencia al alza, afectando el costo de vida de la población.

Existen alternativas que están siendo analizadas y perfeccionadas con la finalidad de estar preparados para dejar la dependencia en los combustibles fósiles, los cuales son limitados y a la vez tienen un efecto nocivo en el medio ambiente. La energía solar tiene muchas ventajas que serán analizadas en el presente trabajo de investigación. La idea central del trabajo es *evaluar la auto-producción de energía* durante el día. Todo excedente que no se consume durante el día es inyectado a la red y se contabiliza por medio de un contador bidireccional el cual gira en sentido contrario cuando está inyectando energía a la red. Durante las noches, cuando el Sol está oculto (o en los días nublados), la vivienda toma energía de la red para satisfacer las necesidades. Este proceso de inyección de excedentes y el consumo de energía cuando no hay auto-producción nos da un balance, el cual se busca que sea un balance neto cero, lo cual significa que la vivienda produce lo que consume, y por esta razón se le denomina ser una *vivienda de energía cero*.

La energía solar es una energía limpia y proviene de una fuente inagotable y totalmente renovable. Los inconvenientes de esta alternativa son los costos iniciales necesarios para la implementación de un sistema fotovoltaico residencial.

Durante el trabajo se presenta un análisis general de la situación energética en Guatemala. Luego se trata la situación de la energía solar en el mundo y específicamente en Guatemala.

Para finalizar se hace un análisis del potencial energético solar en Guatemala, y que condiciones favorables y contrarias se presentan en el país para cualquier persona interesada en invertir en un sistema fotovoltaico residencial para producir su propia energía eléctrica en casa, convirtiéndose en una vivienda cero energía.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GENERALES**

- Realizar un análisis completo sobre la factibilidad de tener una vivienda auto-productora en Guatemala utilizando la energía solar para la producción energética, la cual produzca la energía que consume, dando como resultado una vivienda con balance entre el consumo y la producción igual a cero.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Analizar las condiciones legislativas de Guatemala relacionadas a la energía solar.
- Analizar si las condiciones climáticas, territoriales y geográficas de Guatemala son favorables para el uso de la energía solar.
- Realizar un análisis financiero sobre los costos de adquirir un sistema fotovoltaico y los ahorros monetarios generados al ser auto productor. También evaluar si los ahorros son sustanciales como para recuperar la inversión inicial en un tiempo razonable.
- Investigar si existen factores adicionales a los monetarios que influyan en la toma de decisión de los clientes potenciales al adquirir un sistema fotovoltaico residencial.
- Concluir si en Guatemala las condiciones regionales permiten que un sistema fotovoltaico produzca suficiente energía para que la vivienda sea considerada cero energía-neta.
- Analizar si es factible para la realidad socio económica guatemalteca adquirir un sistema fotovoltaico de acuerdo a los precios actuales ofertados por las empresas que comercializan dichos sistemas en Guatemala.

### 3. IMPORTANCIA DE LA CIENCIA AMBIENTAL

Los temas medio ambientales han tomado suma importancia en la actualidad. La sociedad moderna ha despertado a la conciencia de la gran dependencia que existe del petróleo y sus derivados. A lo largo de los últimos años, la demanda ha incrementado drásticamente, mientras que la producción se ha mantenido igual o ha declinado.

La población mundial ha seguido en crecimiento, a una tasa estimada de 70 millones de habitantes por año. Este desfase entre lo que se produce y lo que la crecida población demanda, ha producido una crisis energética que ha impactado los precios, extendiéndose a ser una crisis económica derivada de su contraparte energética. (Botkin, 2010)

Al inicio de la era moderna, el número de personas en el mundo era de aproximadamente 100 millones, lo cual equivale a un tercio de la población actual de los E.E.U.U. En 1960 la población ascendió a 3 billones de personas. La población se ha duplicado en los últimos 40 años, a la suma actual de 6.8 billones de personas. Si las tasas de crecimiento poblacional recientes continúa aumentando, su número puede alcanzar 9.4 billones de personas para el año 2050. El problema es que el planeta Tierra no ha crecido, y la abundancia de los recursos no ha incrementado. La pregunta que surge es, ¿cómo puede el planeta sostener a todas estas personas? ¿Cuál es el número máximo de personas que pueden vivir en la Tierra, no solo por un periodo corto de tiempo, sino de una forma sostenible por un periodo prolongado? (Botkin, 2010)

Los estimados actuales, de cuantas personas puede sostener el planeta oscilan entre 2.5 billones a 40 billones. ¿Por qué el rango es tan amplio y varía tanto? La respuesta está en función de la calidad de vida que las personas estarían dispuestas a aceptar. Más allá de un límite de población de 4-6 billones de personas, la calidad de vida declina. El número de personas que el planeta puede sostener depende de la ciencia y los valores, y también es una cuestión de personas y la naturaleza.

Mientras más personas hayan en el planeta, menos espacio y recursos habrán para la vida silvestre, plantas, áreas para recreación y otros aspectos de la naturaleza, así como el consumo de los recursos naturales será más acelerado. Otro factor que influye es la distribución de la población, si estarían todos concentrados en las ciudades o si estarían distribuidos equitativamente a lo largo y ancho del planeta. (Botkin, 2010)

Una pequeña reseña histórica, ayudará a crear cierta conciencia sobre el tema ambiental. Antes de 1960, muy pocas personas habían escuchado la palabra ECOLOGIA, y el término MEDIO AMBIENTE significaba poco como un tema político y social. En el mismo periodo de tiempo, muchos eventos medio ambientales mayores acontecieron, como los derramamientos de petróleo en las costas de Massachusetts y el Sur de California, amenazas públicas sobre la posible extinción de muchas especies como ballenas y elefantes. A partir de estas fechas, el tema medio ambiental se volvió muy popular e importante. (Botkin, 2010)

Como todo tema nuevo, al inicio muy pocas personas reconocían su importancia. El grupo que sí reconocía su importancia atrajo la atención sobre los temas ambientales. En estos momentos existía poco sustento científico y práctico de sus implicaciones. Las ciencias ambientales estaban en una etapa de infancia, algunas personas hasta veían a la ciencia como parte del problema. (Botkin, 2010)

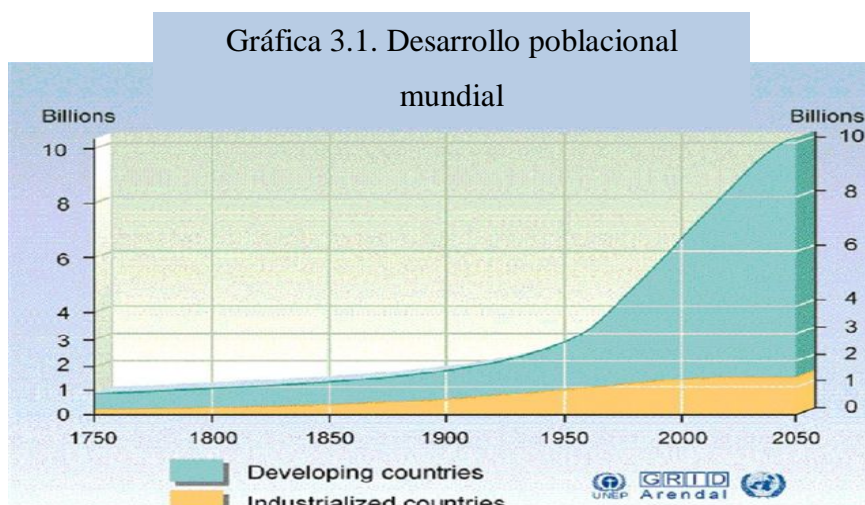
Esta época inicial se caracterizó por continuos enfrentamientos entre los catalogados como “ambientalistas” y los “anti-ambientalistas”. Puesto de forma simple, los ambientalistas tenían la convicción que el planeta estaba en riesgo. Para ellos, el desarrollo económico y social era sinónimo de destrucción del medio ambiente y al final sería el fin de la civilización, la extinción de muchas especies y quizás la extinción de la humanidad. La solución que planteaban era una nueva visión del mundo, que dependiera únicamente en hechos, entendimiento y ciencia.

En contraste, los anti ambientalistas creían que todos los efectos ambientales, sociales y económicos eran necesarios para que la humanidad y la civilización prosperaran. Desde su perspectiva, los ambientalistas representaban una visión extrema y peligrosa, con un enfoque en el medio ambiente en detrimento de las personas, un enfoque que ellos creían destruiría las bases de la civilización y últimamente llevaría a la ruina de nuestra forma de vida moderna. (Botkin, 2010)

Hoy en día la situación ha cambiado, las encuestas de opinión pública muestran que las personas alrededor del mundo clasifican el medio ambiente como los temas de índole social y política más importantes. Ya no es necesario probar que los problemas ambientales son serios y que existen. Se ha logrado un avance significativo en muchas áreas de las ciencias ambientales. Se han empezado a crear marcos legislativos para la administración del medio ambiente, por lo que el tiempo es adecuado hoy en día para la búsqueda de soluciones más racionales para los problemas ambientales.

Los temas más importantes que se deben analizar son: el crecimiento en la población mundial, la sostenibilidad, y una perspectiva global. (Botkin, 2010)

El incremento más dramático en la historia de la población ocurrió en la última parte del siglo XX y continúa hoy hacia el siglo XXI. En los últimos 40 años la población humana mundial se ha más que duplicado, de 2.5 billones a 6.8 billones. La Gráfica 3.1 muestra que la reducción esperada en la población en las regiones desarrolladas (E.E.U.U. y Europa) ha sido más que compensado por el rápido crecimiento poblacional de las regiones en desarrollo (África, India y Sudamérica). (Botkin, 2010)



*Fuente: (United Nations, 2010)*

El crecimiento poblacional es el tema detrás del problema medio ambiental. Mucho del daño al medio ambiente esta directa e indirectamente relacionado con el incremento en el número de personas en el mundo y la tasa de crecimiento (Keyfitz, 1989). Es común pensar que la población crece sin disminuir o fluctuar a lo largo del tiempo, lo cual no es del todo cierto, por ejemplo, durante la Peste Negra en el siglo XIV, hubo una reducción muy grande en la población mundial (ej., un tercio de la población en Inglaterra murió en una década). (Gottfield, 1983)

El hambre y la escasez de recursos son situaciones que se dan como resultado del incremento poblacional. Una vez la población excede los recursos ambientales disponibles, se presenta la escasez de alimentos. A mediados de 1970, luego de la sequía en la región Sahel, 500,000 africanos murieron de hambre y varios millones fueron afectados permanentemente por desnutrición (Field, 1983). La hambruna de África ganó la atención mundial cerca de 10 años después de este acontecimiento (Glantz, 1987). Las causas de la hambruna en África tienen muchas causas, una de ellas es la sequía. A pesar que las sequías no son algo nuevo para África, el tamaño de la población afectada por la sequía sí lo es. Adicional a esto, los desiertos en África se han expandido, en parte por el cambio climático, pero también por las actividades humanas. Malas prácticas en la agroindustria han incrementado la erosión, y la deforestación ha ayudado a que el ambiente sea aun más seco (Levinson, 2007). La hambruna en África ilustra un tema

importante, la relación personas-naturaleza. Las personas afectan el ambiente, y el ambiente afecta a las personas. El ambiente afecta la agricultura, y la agricultura afecta el ambiente. El incremento poblacional de África ha estirado la capacidad de la tierra para proveer suficiente alimento y ha puesto en riesgo la productividad a futuro. (Botkin, 2010)

La crisis global de alimentos en la primera década del siglo XXI no ha sido a causa de guerras o sequías, sino por el incremento en los precios de los alimentos. El costo de los productos básicos, como arroz, maíz y trigo, se han incrementado al punto que los países de bajos ingresos o moderados ha sufrido una seria crisis. En 2007 y 2008, disturbios han ocurrido debido a escasez de alimentos en países como México, Haití, Egipto, Yemen, Bangladesh, India y Sudán. El incremento en el precio del petróleo utilizado para producir alimentos (en fertilizantes, transporte, mecanización agrícola, etc.) y en la conversión de una parte de la producción de maíz en biocombustibles han sido los causantes principales. Todo esto nos lleva a una pregunta, ¿qué es más importante, la supervivencia de las personas o la conservación del medio ambiente del cual dependerá la producción de alimentos para futuras generaciones? (Gower, 1992)

Las historias de hambrunas y crisis de alimentos trae a otro punto central medio ambiental: ¿cuál es el máximo número de personas que el planeta puede sostener? Esto es, ¿cuál es la capacidad poblacional del planeta Tierra? Para responder esta pregunta, es necesario analizar muchos factores, pero algo que es de conocimiento general es que estamos utilizando muchos recursos renovables a una tasa más alta que la naturaleza puede reponer, en otras palabras, de explotar de una forma INSOSTENIBLE. En general, se utilizan bosques más rápido que lo que ellos pueden crecer nuevamente por lo que se elimina hábitats naturales de especies en peligro de extinción a tasas más rápidas que lo que el mismo planeta puede restaurarlos.

Se extrae minerales, petróleo y agua subterránea sin tener suficiente conciencia de los límites de la disponibilidad de los mismos o del daño adicional que se le hace al ambiente al explotarlos. Como resultado de este manejo sin regulaciones o sin responsabilidad, se han presentado escasez en su disponibilidad, y se espera que en el futuro sigan incrementándose dichos periodos de escasez. (Botkin, 2010)

La sostenibilidad describe cómo los sistemas biológicos se mantienen diversos y productivos con el transcurso del tiempo. Se refiere al equilibrio de una especie con los recursos de su entorno. Por extensión se aplica a la explotación de un recurso por debajo del límite de renovación del mismo. Desde la perspectiva de la prosperidad humana y según el Informe Brundtland de 1987, la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. (Komiya, 2006)

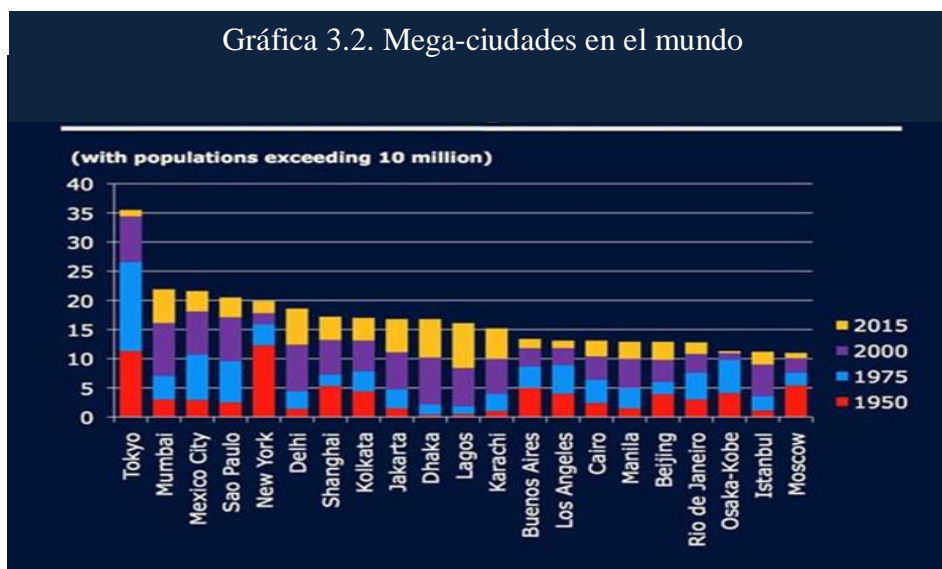
Un ejemplo típico es el uso de la madera proveniente de un bosque: si la tala es excesiva el bosque desaparece; si se usa la madera por debajo de un cierto límite siempre hay madera disponible. En el último caso la explotación del bosque es sostenible o sustentable. Otros ejemplos de recursos que pueden ser sostenibles o dejar de serlo, dependiendo en su tasa de explotación, son el agua, el suelo fértil o la pesca. (Komiya, 2006)

El enfoque que existe hoy en día es de tener una perspectiva global. Las acciones de unos hoy afectan a todos en el planeta. Debido a que las acciones humanas han empezado a afectar el ambiente en todo el mundo, la próxima generación tendrá que tener un enfoque global en los temas ambientales. (Botkin, 2010)

Debido al rápido crecimiento poblacional y en parte por los cambios tecnológicos, la humanidad se está convirtiendo en una ESPECIE URBANA y los efectos en el ambiente son cada vez más los efectos de la vida urbana. El desarrollo económico nos lleva a la urbanización. Las personas se mueven de las zonas rurales hacia las ciudades, y luego quizás a los suburbios.

Las ciudades y pueblos cada vez son más grandes, y debido a que están comúnmente ubicados cerca de ríos o las costas, el crecimiento urbano toma terreno agrícola así como zonas costeras, las cuales son el hábitat para muchas especies en peligro de extinción. Al crecer las zonas urbanas, las zonas pantanosas son rellenadas, los bosques son talados, y los suelos son cubiertos por pavimento y edificios. (Botkin, 2010)

En los países desarrollados, el 75% de la población vive en áreas urbanas y 25% vive en áreas rurales. En países en desarrollo, solo el 40% vive en áreas urbanas. Para 2008, por primera vez más de la mitad de las personas en el planeta viven en zonas urbanas, y se estima que para 2025 casi dos tercios de la población (5 billones) vivirán en una zona urbana. En 1950 pocas zonas urbanas tenían poblaciones de más de 4 millones. En 1999 Tokio era la ciudad más grande del mundo, con una población de 12 millones, y para el año 2015 Tokio mantendrá la primera posición con una población proyectada de 28.9 millones. El número de “mega ciudades” se incrementó de 2 en 1950 a 22 en 2015 como se muestra en la Gráfica 3.2. (Starke, State of the World: Our Urban Future, 2007) (Botkin, 2010)



Fuente: (Megacitiesproject.org, 2011)

## 4. LA ECONOMÍA AMBIENTAL

La economía ambiental no es simplemente hablar de dinero; es sobre persuadir a personas, organizaciones y a la sociedad a actuar en formas que beneficien al medio ambiente, manteniéndolo tan libre como sea posible de contaminación y otros daños, manteniendo los recursos sostenibles y cumpliendo estas metas dentro de un marco democrático. La economía ambiental se enfoca en dos áreas generales: controlar la contaminación y el daño ambiental en general y la sostenibilidad de los recursos renovables. La toma de decisiones relacionadas con el medio ambiente, involucra el análisis de factores tangibles e intangibles. En el lenguaje de la economía, un factor tangible es algo que se puede tocar, comprar y vender. Una casa perdida por el deslizamiento de tierra causado por la alteración de la pendiente del terreno es un ejemplo de un factor tangible. Para los economistas, un factor intangible es uno que no se puede tocar directamente, pero que se le puede asignar un valor. (Botkin, 2010)

De los dos factores, los intangibles son obviamente los que presentan un mayor reto, porque son más difíciles de medir y de valorar económicamente. Sin embargo, la evaluación de los intangibles se ha vuelto muy importante.

En cada asunto ambiental, existe el deseo por un lado de mantener la libertad de elegir y por el otro lado de alcanzar un objetivo específico. Por ejemplo, la pesca en el mar, se quiere permitir a cada individuo elegir si pescan o no, pero también se quiere prevenir que todos decidan pescar al mismo tiempo y con esto llevar a cierta especie de peces a la extinción. Este juego entre el bien privado y el bien público está en el corazón de los temas ambientales. (Botkin, 2010)

Un factor complejo sobre mantener limpios el aire, los suelos y el agua y el sostenimiento de los recursos renovables es que los ecosistemas por sí mismos realizan este trabajo sin la ayuda del ser humano.

Los bosques absorben partículas, las salinas convierten componentes tóxicos en no-tóxicos, los pantanos y suelos orgánicos tratan las aguas negras. Estos eventos son llamados funciones de servicio público de la naturaleza. Los economistas se refieren a los sistemas ecológicos que proveen estos beneficios como capital natural. (Botkin, 2010)

La atmósfera realiza el servicio público de ser un extenso sitio donde se vierten los gases tóxicos. El monóxido de carbono es convertido en dióxido de carbono no tóxico a través de reacciones químicas inorgánicas o por medio de bacterias en los suelos. Las bacterias también limpian el agua en el suelo por medio de la descomposición química de los tóxicos, y ciertas bacterias capturan el nitrógeno en los océanos, lagos, ríos y los suelos. Si se reemplaza esta función produciendo y transportando artificialmente fertilizantes de nitrógeno, el costo sería inmenso. (Botkin, 2010)

Entre los servicios públicos naturales más importantes están la polinización, la cual incluye aves, murciélagos, hormigas, abejas, mariposas, mosquitos, etc. Se estima que los animales polinizadores polinizan aproximadamente un valor de \$15 billones en cosechas a lo largo de 2 millones de acres en los E.E.U.U., lo que implica que una de cada tres porciones de alimento que se consumen en E.E.U.U. depende de polinizadores, y que su impacto económico puede alcanzar los \$40 billones por año. (The North American Pollinator Protection Campaign and the Pollinator Partnership, 2009) (National Biological Information Infrastructure, 2009) El costo de polinizar esta cantidad de cosechas a mano sería exorbitante, por lo que un contaminante ambiental que mate a las abejas tendría grandes consecuencias económicas. (Botkin, 2010)

Las funciones de servicio público dado por seres vivientes se estiman entre \$3 trillones y \$33 trillones en beneficios para los seres humanos y otras formas de vida por año (Costanza, 1997). Estos son estimados tentativos ya que el valor de estos servicios es difícil de medir y cuantificar.

Normalmente las personas utilizan recursos naturales sin considerar mantener o cuidar ese recurso y el ambiente en un estado renovable, es decir, no se preocupan por la sostenibilidad del recurso. A primera vista, suena una contradicción, pero el análisis económico sugiere que el motivo de lucro, en sí mismo, no siempre conlleva a una persona a actuar en el mejor interés del medio ambiente. (Botkin, 2010)

Una razón tiene que ver con lo que el ecologista Garrett Hardin denominó “La tragedia de lo Común” (de la traducción del término: “Tragedy of the commons”) (Hardin, 1973). Cuando un recurso es compartido, la ganancia personal del individuo por la explotación del recurso es mayor que su pérdida resultante. Una segunda razón tiene que ver con la baja tasa de crecimiento y por lo tanto con la baja productividad del recurso. (Botkin, 2010)

Un “común” (o “Common” como se llama en inglés al término), puede ser la tierra (o cualquier otro recurso) poseído públicamente, con acceso público para usos privados. El término “común” (o “Common”) se originó de la tierra poseída públicamente en pueblos Ingleses y en la Nueva Inglaterra, los cuales eran apartados para que todos los granjeros del pueblo pastaran su ganado. Compartir las tierras para pastar ganado funcionó bien mientras el número de animales era bajo como para prevenir sobre-explotación de pastos. (Botkin, 2010)

Se esperaría que gente sensata y con criterio entiendan los límites de estas tierras en común. Analizando los beneficios y los costos para cada granjero como si fuese un juego, vemos que cada granjero busca maximizar su ganancia personal y debe considerar periódicamente si agrega más ganado a su manada para pastar en la tierra en común. Agregar una vaca más tiene un valor positivo y uno negativo. El valor positivo es el beneficio que el granjero tendrá una vez venda el animal. El valor negativo es el pasto adicional que dicha vaca consumirá del terreno en común. La ganancia personal de vender dicha vaca será mayor que la pérdida que le corresponde al granjero causada por la degradación de la tierra en común, por lo tanto, el plano de juego a corto plazo para todos los granjeros siempre será de agregar una vaca más. (Botkin, 2010)

Debido a que los individuos actuarán para incrementar el uso de la tierra en común, eventualmente la tierra en común para pastar estará tan saturada de ganado que ninguna vaca logrará obtener el alimento necesario y la tierra para pastar será destruida. A corto plazo, aparentemente todos ganan, pero en el largo plazo, todos perderán.

Esto aplica en general, libertad absoluta de acción sobre un recurso en común inevitablemente traerá la ruina para todos. La implicación es clara, sin algún tipo de control o administración, todos los recursos naturales tratados como recursos comunes inevitablemente serán destruidos. (Botkin, 2010)

Existen varios ejemplos de recursos comunes, en E.E.U.U. el 38% de los bosques son de propiedad pública. Áreas de pesca mar adentro, lejos de las costas, son áreas internacionales en común. La atmósfera es un recurso en común, tanto nacional como internacionalmente. Si se considera el calentamiento global, individuos, corporaciones, vehículos y naciones, agregan dióxido de carbono al aire a través de la quema de combustibles fósiles, por estas razones, se debe ver más allá de las ventajas directas e inmediatas sobre el uso de un recurso. El análisis económico aclara como un recurso natural debería ser usado, cual es su valor intrínseco percibido y por lo tanto su precio. Un concepto importante relacionado con este análisis, es el de las externalidades. Una externalidad es un costo indirecto normalmente no incluido por los productores en los costos y beneficios, y por lo tanto, no está contabilizado en su análisis de costo-ingresos (Clark, 1973). En términos simples, una externalidad es un costo que simplemente no aparece incluido en el costo final. Los economistas coinciden en que la única forma de que un consumidor tome una decisión racional es comparando los costos verdaderos, incluyendo las externalidades, versus los beneficios que el consumidor busca. (Botkin, 2010)

La contaminación del aire y agua es un ejemplo de externalidades. Por ejemplo, la producción del níquel tiene serios efectos ambientales. Tradicionalmente, los costos asociados con la producción comercial del níquel de una mina son únicamente los costos directos, es decir, los costos que incurre el productor en obtener, procesar y distribuir el

producto los cuales se trasladan directamente al usuario final o comprador. En este caso los costos directos incluyen la compra de la mina, la compra de la energía para mover la maquinaria, la construcción de la planta y el pago de los trabajadores. Las externalidades sin embargo, incluyen costos asociados con la degradación del medio ambiente debidos a las emisiones producidas por la planta en operación. A pesar que se ha trabajado en controles para reducir la contaminación del aire, la maquinaria destruyo la vegetación en toda el área, lo cual llevó a un incremento en la erosión del área. Se ha logrado controlar las emisiones, sin embargo, la contaminación persiste y la recuperación total del ecosistema puede tomar un siglo (Gunn, 1995). Hay costos asociados al valor de los árboles talados y del suelo contaminado y con la restauración de la vegetación y de la tierra a un estado productivo. (Botkin, 2010)

Una pregunta es, ¿cuál es el costo verdadero de tener aire limpio en el área? Hoy en día el agua y el aire puro son comercializados y tratados como si su valor fuese cero. Otra cuestión es, ¿quién debería cargar con estos costos? Economistas y ambientalistas coinciden en que estos costos deben ser incluidos en la producción a través de tarifas e impuestos. Otro tema importante es como valorar la belleza natural de un área. La estética del paisaje es un valor intangible del ambiente, el cual ha sido importante para la humanidad a lo largo de los siglos. Se sabe que ha sido importante ya que muchas personas han escrito sobre este tema, ya que es un tema recurrente encontrado en la literatura y las artes. Nuevamente surge la cuestión, de ¿cómo ponerle un valor a la belleza natural? (Botkin, 2010)

Un último concepto importante, es el valor futuro de un recurso versus su valor actual. Hoy en día el valor del agua es bajo, pero ¿qué pasaría si el agua escasea?, nadie puede vivir mucho tiempo sin agua, el valor del agua hoy en día es bajo porque se cree que hay disponibilidad del recurso, pero si esto cambia a futuro, su valor se iría por los cielos. (Botkin, 2010)

## 5. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ENERGÍA

Las crisis energéticas no son un tema nuevo. La humanidad ha enfrentado problemas energéticos por miles de años (Butti, 1980). Las culturas romana y griega enfrentaron crisis energéticas. El clima en las áreas costeras de Grecia, hace 2,500 años se caracterizaba por veranos templados e inviernos frescos, tal y como es hoy en día. Para calentar sus hogares durante el invierno, los griegos utilizaban pequeños calentadores a base de carbón, los cuales no eran muy eficientes. Debido a que el carbón es producido de la quema de madera, la madera era su principal fuente de energía, como lo es para la mitad de la población mundial hoy en día. (Botkin, 2010)

Para el siglo V antes de Cristo la escasez de combustibles era común, y gran parte de los bosques habían sido talados para su uso como combustible. Al reducirse las reservas locales, se volvió necesario importar madera de otras regiones. Las plantaciones de olivos se convirtieron en una fuente de combustibles. La madera de los olivos se convertía en carbón para ser usado como combustible. Para el siglo IV antes de Cristo, los griegos empezaron a construir sus casas orientadas hacia el sur, siendo estas diseñadas para que durante el invierno el sol entrara a sus casas, calentándola, y durante el verano, al estar el sol en una posición más alta, fuese bloqueado, para mantener los ambientes internos más frescos. Excavaciones recientes de las ciudades de la Grecia antigua, sugieren que las grandes áreas eran planeadas para que las viviendas individuales pudieran aprovechar al máximo la energía solar, la cual era la solución lógica para sus problemas energéticos. (Botkin, 2010)

El uso de la madera en la antigua Roma es en cierta forma análoga al uso de aceite y gas en E.E.U.U. hoy en día. Las casas de los romanos acaudalados aproximadamente hace 2,000 años tenían un sistema de calefacción central que quemaba hasta 125kg (275lb) de madera cada hora. No es una sorpresa, que los proveedores de madera local agotaran sus existencias rápidamente, y por lo tanto los romanos tenían que importar madera de otras regiones, algunas tan lejanas ubicadas a distancias de hasta 1,600 km (Butti, 1980). Los romanos abrazaron el uso de energía solar por la misma razón que los

griegos, pero con mayores aplicaciones y éxito. Ellos usaban ventanas de vidrio para incrementar la efectividad del calor solar, desarrollaron invernaderos para cultivar alimento durante el invierno, y orientaron los grandes balnearios públicos para aprovechar el uso de energía solar pasiva. Los romanos creían que la luz solar en los balnearios era saludable y que representaba grandes ahorros en los costos de la compra de combustibles. El uso de la energía solar en la antigua Roma era de uso muy común, resultando en leyes para proteger los derechos de las personas para que utilicen energía solar. En algunas áreas, era ilegal que una persona construyera una edificación que hiciera sombra a los vecinos (Butti, 1980).

Los antiguos griegos y romanos experimentaron crisis energéticas en sus áreas urbanas. Al hacer uso de la energía solar como alternativas para solucionar sus problemas energéticos, estaban tomando un camino sostenible, como lo que se busca en la actualidad, debido a que los combustibles fósiles han empezado a escasear. (Botkin, 2010)

La situación energética que enfrenta E.E.U.U. y el mundo hoy en día, en muchas formas es similar a lo que enfrentaron estas culturas en el pasado. El uso de la madera en los E.E.U.U. llegó a su pico en 1880s, cuando el uso de carbón se extendió por el país. El uso de carbón, empezó a declinar después de 1920, cuando el petróleo y el gas empezaron a estar disponibles como una opción para combustible. Se está llegando a un pico en la producción de petróleo, el cual estiman será en 2020. Los recursos fósiles, los cuales llevaron millones de años en formarse, podrían acabarse por completo en unos cien años. (Botkin, 2010)

Las decisiones que tomamos afectarán el uso energético para futuras generaciones. ¿Debemos escoger métodos de producción centralizados, o métodos más simples y dispersos, o una combinación de ambos?, ¿Qué fuentes de energías debemos poner más énfasis?, ¿Cómo podemos desarrollar políticas de energía sostenible? (Botkin, 2010)

El uso de combustibles fósiles, especialmente petróleo, mejoró la calidad de vida en el mundo, haciendo posible el incremento en la población mundial de hoy día. Muchas personas viven más tiempo, con una calidad de vida mucho mayor que como vivían las personas siglos atrás. Sin embargo, seguir quemando combustibles fósiles implicaría un incremento en los costos medio ambientales, yendo desde contaminación urbana hasta el cambio climático. Una cosa es segura sobre el panorama energético mundial, y es que el mundo vivirá bajo la incertidumbre de la disponibilidad energética y sus precios. Las fuentes de la energía y el patrón de consumo energético ciertamente cambiarán. Se vislumbra un panorama donde la demanda será mayor cada día y la oferta energética será insuficiente, lo cual generará un incremento en los precios de la energía, esto sin contar el riesgo latente que existe de guerras en los países exportadores. (Botkin, 2010)

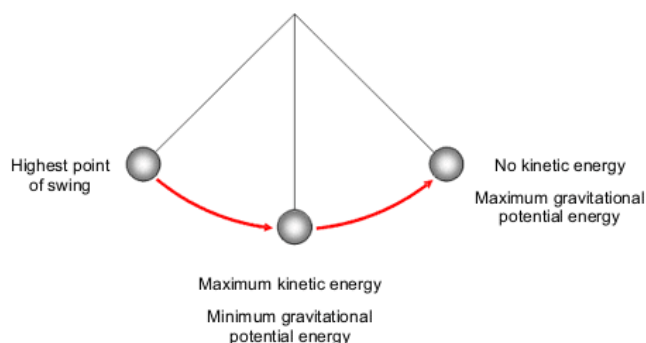
El concepto de energía es muy abstracto. La energía no se puede ver o sentir, sin embargo se debe pagar por ella (Morowitz, 1979). Para entender que es energía, es más sencillo empezar con la idea de una fuerza. Todos hemos percibido una fuerza ya sea por empujar o jalar. La magnitud de una fuerza puede ser medida por qué tanto se acelere un objeto.

La energía es usualmente transformada, pero la energía total siempre se conserva. El principio que la energía no se crea ni se destruye, sino que siempre se conserva, es conocido como la primera ley de la termodinámica. La termodinámica es la ciencia que estudia la energía mientras esta se va transformando. Se usa la primera ley para estudiar la cantidad de energía (Ehrlich, 1970).

Para la ilustrar la conservación y la conversión de la energía, se debe pensar en un péndulo. Cuando el péndulo se coloca en su punto más alto, no está en movimiento. En este punto tiene energía, la cual está vinculada a su posición. Esta energía almacenada se le llama energía potencial. Otros ejemplos de energía potencial son la energía gravitacional que tiene el agua detrás de una represa.

El péndulo, cuando es soltado de su posición más alta, se mueve hacia abajo. En su punto más bajo, la velocidad del péndulo alcanza el máximo, y en este momento la energía potencial es cero. En este punto, toda la energía del péndulo es energía en movimiento, llamada energía cinética. Mientras el péndulo se mueve hacia delante y hacia atrás, la energía está constantemente cambiando entre potencial y cinética. Sin embargo, con cada ciclo, el péndulo va perdiendo velocidad y altura debido a la fricción creada por el movimiento del péndulo y la cuerda a través del aire y la fricción en el pivote, donde está atada al árbol. La fricción va frenando el péndulo, generando energía en forma de calor, la cual es energía resultado del movimiento aleatorio de los átomos y moléculas como se ilustra en la Figura 5.1 (Morowitz, 1979). Eventualmente, toda la energía es convertida en calor y es emitida al ambiente, y el péndulo se detiene por completo (Morowitz, 1979).

Figura 5.1. Movimiento del péndulo



(Fuente: Morowitz, 1979)

El ejemplo del péndulo ilustra la tendencia de la energía a disiparse y terminar en calor. Ciertamente, la física ha encontrado que es posible cambiar toda la energía gravitacional del péndulo a calor. Sin embargo, es imposible cambiar todo el calor y generar energía potencial. La energía es conservada en el péndulo. Cuando el péndulo se detiene, toda la energía potencial inicial ha sido transformada a través de la fricción en calor. Si la misma cantidad de energía, en la forma de calor, se regresa al péndulo, ¿se podría esperar que este empezara a moverse nuevamente? La respuesta es no. La razón es que la calidad de la energía es la característica relevante.

La calidad de la energía es la disponibilidad de la energía a producir trabajo. Mientras mayor sea la calidad de la energía, más fácilmente se podrá convertir en trabajo. Mientras más baja sea la calidad de la energía, más difícil será convertirla en trabajo. (Botkin, 2010)

Este ejemplo ilustra otra propiedad fundamental de la energía: la energía siempre tiende a ir de una forma más útil (energía de alta calidad) a una forma menos útil (energía de menor calidad). Esta es la llamada segunda ley de la termodinámica, y significa que cuando se usa la energía, se reduce su calidad.

Dos tipos fundamentales de eficiencias energéticas se derivan de la primera y segunda ley de la termodinámica. La eficiencia de la primera ley y la eficiencia de la segunda ley. La eficiencia de la primera ley trata con la cantidad de energía, sin considerar la calidad de la misma ni su disponibilidad. Es calculada como la relación de la cantidad actual de energía entregada donde es requerida a la cantidad de energía provista para cumplir con esa necesidad. Las expresiones para describir las eficiencias son dadas como fracciones. Multiplicando dicha fracción por 100 lo convierte en un porcentaje. Como un ejemplo, se considera un sistema de calefacción para hogar, el cual tiene la función de mantener la temperatura deseada de 18°C cuando la temperatura en el exterior es de 0°C. El horno, que quema gas natural, entrega 1 unidad de energía calórica a la casa por cada 1.5 unidades de energía extraída del combustible utilizado. Esto significa que tiene una eficiencia de la primera ley de 67% ( $1/1.5$ ) (Ehrlich, 1970).

Las eficiencias de la primera ley son engañosas porque un valor alto sugiere que poco se puede hacer para ahorrar energía a través de mejoras en la eficiencia (Ehrlich, 1970). Este problema se enfrenta usando la eficiencia de la segunda ley. La eficiencia de la segunda ley se refiere a que tan bien se vincula la fuente energética con el uso final que se requiere. Para el ejemplo del horno. La segunda ley comparará la energía mínima necesaria para calentar el hogar a la energía que se usa por el horno de gas. Si se calcula la eficiencia de la segunda ley, el resultado sería 5%, mucho más bajo que la eficiencia de la primera ley. Las eficiencias de la segunda ley son importantes porque indican donde

hay potencial para mejoras que puedan ahorrar mucha energía de alta calidad. Las eficiencias de la segunda ley indican si la calidad de energía a utilizar es apropiada para la tarea que se requiere. Por ejemplo, se podría usar un soplete de soldador para encender una candela, pero un fósforo es un medio mucho más eficiente. (Botkin, 2010)

La eficiencia de la segunda ley es baja (5%) para el ejemplo del horno utilizado para calentar una casa. Esta eficiencia baja implica que el horno está consumiendo mucha energía de alta calidad para cumplir con su tarea de calentar la casa. En otras palabras, la tarea de calentar una casa requiere calor a una temperatura relativamente baja de 18°C, no el calor con temperaturas excesivas alcanzadas en el interior del horno de gas de 1,000°C. Energía de menor calidad, como la energía solar, podría cumplir con la tarea y entregar una eficiencia de la segunda ley mucho mayor, ya que es un mejor vínculo entre la calidad de energía requerida y el uso final de calentar el hogar a una temperatura de 18°C. A través de una mejor planeación energética, así como vincular la calidad de la energía necesaria con su uso final, eficiencias de la segunda ley son alcanzadas, resultando en ahorros substanciales de energía de alta calidad. (Botkin, 2010)

La Tabla 5.1 que se presenta a continuación, indica que las plantas generadoras de electricidad tienen eficiencias de la primera y segunda ley muy similares. Estas plantas generadoras son ejemplos de máquinas térmicas. Una máquina térmica produce trabajo del calor. La mayoría de la electricidad generada en el mundo hoy en día viene de máquinas térmicas que usan petróleo, carbón, gas u otros combustibles. Nuestros cuerpos son ejemplos de máquinas térmicas, operando con una capacidad de aproximadamente 100 watts y son indirectamente alimentados por energía solar. Los motores de combustión interna y de vapor son ejemplos adicionales de máquinas térmicas. En el mundo se utiliza mucha energía en máquinas térmicas, con efectos ambientales profundos, como la contaminación térmica, smog urbano, lluvia ácida y el calentamiento global.

<b>TABLA 5.1. EJEMPLOS DE EFICIENCIAS DE LA PRIMERA Y SEGUNDA LEY.</b>				
<b>ENERGÍA (USO FINAL)</b>	<b>EFICIENCIA PRIMERA LEY (%)</b>	<b>PÉRDIDA CALOR (%)</b>	<b>EFICIENCIA SEGUNDA LEY (%)</b>	<b>POTENCIAL AHORROS</b>
Bombillas incandescentes	5	95		
Luz fluorescente	20	80		
Automóviles	20-25	75-80	10	Moderado
Plantas eléctricas; combustibles fósiles y nuclear	30-40	60-70	30	Bajo a moderado
Quema combustibles fósiles (Utilizados directamente para calor)	65	35		
Calentamiento de agua			2	Muy alta
Calefacción y enfriamiento de espacios			6	Muy alta
Toda la energía (E.E.U.U.)	50	50	10-15	Alta

*Fuente: (Botkin, 2010)*

La eficiencia máxima que se puede lograr en una máquina térmica, conocida como eficiencia térmica, fue descubierta por el ingeniero francés Sadi Carnot en 1824, antes que la primera ley de la termodinámica fuese formulada (Feynman, 1964). Las máquinas térmicas modernas tienen eficiencias térmicas en el rango de 60 a 80% de las eficiencias ideales de Carnot. Las plantas eléctricas modernas de 1000 MW tienen eficiencias térmicas entre 30 y 40%. Esto significa que al menos 60-70% de la energía que utiliza la planta es rechazada o perdida en forma de calor. Una vez producida la electricidad, esta es alimentada a la red, la cual es una red de líneas de potencia, o el sistema de distribución.

Eventualmente llega a los hogares, tiendas, granjas y complejos industriales, donde provee la energía para la iluminación y el calor, así como para el funcionamiento

de motores y otra maquinaria usada por la sociedad. Al moverse en la red, pérdidas van apareciendo en el recorrido. Los cables que transportan la electricidad tienen resistencias naturales al flujo eléctrico. Esto se conoce como resistividad eléctrica, esta resistencia convierte algo de la energía eléctrica en las líneas de transmisión a calor, el cual es irradiado al ambiente como pérdidas. (Feynman, 1964)

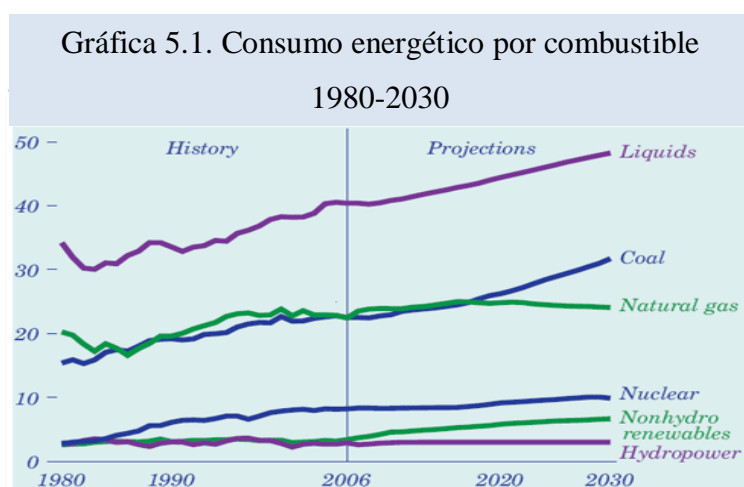
Las personas que viven en países industrializados representan un pequeño porcentaje de la población mundial, sin embargo, ellos consumen una parte desproporcionada de la energía total consumida en el mundo. Por ejemplo, E.E.U.U., con únicamente un 5% de la población mundial, utiliza aproximadamente 20% del total de la energía consumida en el planeta. Existe una relación directa entre el estándar de vida de un país y el consumo energético per cápita. Después de alcanzar el pico en la producción de petróleo, que se estima será entre 2020-2050, el petróleo y la gasolina tendrán una reducción considerable en las reservas disponibles, resultando en un incremento en los precios. Dentro de los próximos 30 años, los países desarrollados y los países en desarrollo necesitarán encontrar formas innovadoras para obtener energía. (Botkin, 2010)

En la actualidad, aproximadamente el 90% de la energía que se consume en los E.E.U.U. es derivada del petróleo, gas natural y carbón. Debido a que su origen proviene de material orgánico de plantas y animales que existieron millones de años atrás, éstos combustibles son llamados combustibles fósiles. Estos combustibles son formas de energía solar almacenada que forman parte de nuestra base de recursos geológicos, y son esencialmente no-renovables. Otras fuentes de energía, como la térmica, nuclear, hidráulica y solar, son referidas como energías alternativas, ya que representan una alternativa a los combustibles fósiles en un futuro. Algunas de ellas, como la solar y el viento, no disminuyen por el consumo, y por lo tanto son llamadas energías renovables. (Botkin, 2010)

El cambio hacia energías alternativas será gradual, ya que las energías de origen fósil siguen siendo la primera opción en consumo. Independientemente del camino que tome, una cosa es segura: los combustibles fósiles son una fuente finita. Tomó millones

de años para que se formaran, pero ellos serán consumidos en unos cuantos cientos de años de la historia humana. Utilizando las predicciones más optimistas, la época de las energías fósiles la cual empezó con la revolución industrial, representara únicamente 500 años de la historia humana. Por esta razón, a pesar que los combustibles fósiles han tenido un significado sumamente importante en el desarrollo de la civilización moderna, su uso representará un pequeño evento a lo largo de la historia de la humanidad (Cavanay, 2006) (Alekkett, 2006).

El consumo energético en E.E.U.U. de 1980 a 2030 está proyectado en la Gráfica 5.1. La figura dramáticamente ilustra la gran dependencia en los tres grandes combustibles fósiles: carbón, gas y petróleo. Desde aproximadamente 1950 hasta finales de 1970, el consumo de energía se disparó, de aproximadamente 30 exajulios hasta 75 exajulios. Un exajulio equivale a  $3,6 \times 10^{18} \text{ J} = 1000 \text{ TW}\cdot\text{h}$ . A partir de 1980, el consumo energético ha incrementado únicamente por 25 exajulios. Esto es alentador ya que sugiere que las políticas que promueven mejoras hacia una mayor eficiencia energética han demostrado ser al menos parcialmente exitosas. (Botkin, 2010)

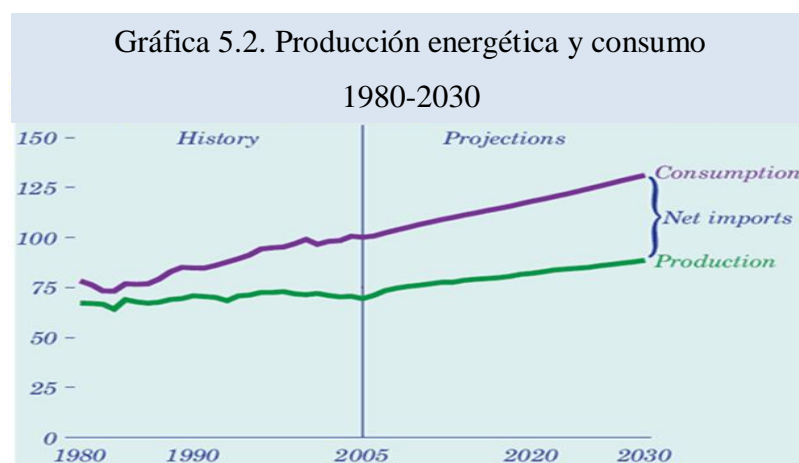


Fuente: (E.E.U.U. Departamento de Energía, 2011)

Lo que no muestra la gráfica, son las grandes pérdidas energéticas. Por ejemplo, el consumo energético en 1965 fue aproximadamente 50 exajulios, de los cuales únicamente la mitad fue utilizada efectivamente. Las pérdidas energéticas fueron aproximadamente del 50%. En 2009, el consumo energético en los E.E.U.U. fue de 100 exajulios, y

nuevamente el 50% fue perdido en los procesos de conversión. Las pérdidas energéticas en 2009 fueron casi el equivalente al total del consumo en E.E.U.U. en 1965. Las mayores pérdidas energéticas están asociadas con la producción de electricidad y con el transporte, mayormente a través del uso de máquinas térmicas, las cuales producen pérdidas de calor en el proceso, el cual es disipado al ambiente. (Botkin, 2010)

Otra forma de examinar el uso energético es analizando el flujo energético en un país. Por ejemplo, en E.E.U.U. al final de un año como lo ilustra la Gráfica 5.2. En 2008, en E.E.U.U. se importó considerablemente más petróleo del que se produjo localmente. En E.E.U.U. se importa el 65% del petróleo que se usa.



*Fuente: E.E.U.U. Departamento de Energía, 2011)*

El consumo energético está distribuido equitativamente en tres sectores, residencial/comercial, industrial y transporte. Queda claro que el país mantiene una posición de alta vulnerabilidad a los cambios mundiales que afectan la producción y distribución del petróleo. Se debe evaluar el espectro total del potencial de fuentes de energía que existen, para asegurar que hay suficiente energía disponible en el futuro, manteniendo la sostenibilidad del medio ambiente. Para lograr esto, existe una tendencia mundial a cambiar los patrones de consumo energético. Dichas medidas involucran la conservación, lo que representa un cambio en el comportamiento de consumo energético diario, el cual implica ajustar las necesidades de energía y sus usos, para minimizar la cantidad de energía de alta calidad que necesitamos para determinada tarea. Otra medida

tiene que ver con la eficiencia energética. Esto está relacionado con la manufactura y diseño de equipo para que sean más eficientes, y por lo tanto, requieran menor insumo energético para su funcionamiento óptimo. También está vinculado con una mejora en la relación entre la fuente de energía utilizada con su uso final, para minimizar las pérdidas exorbitantes que se dan por la asignación ineficiente entre el recurso y su uso final. La última medida es la cogeneración, la cual implica diseñar procesos para capturar la energía que normalmente se pierde y así utilizarla en vez de perderla completamente. (Botkin, 2010)

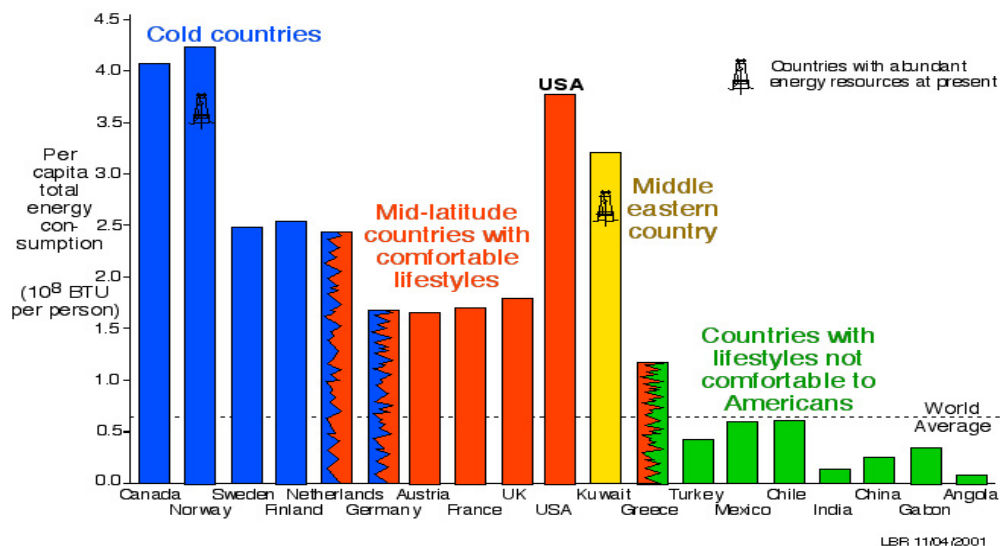
Existe un espectro de posibilidades para incrementar la eficiencia y la conservación en las edificaciones residenciales. Para casas nuevas, la respuesta es diseñar casas que requieran menos energía para vivir confortablemente. Por ejemplo, se puede diseñar la vivienda para que aproveche la energía solar pasiva, tal y como hicieron los griegos y romanos siglos atrás. Los sistemas de energía solar pasiva recolectan energía solar sin tener mecanismos con partes en movimiento. El potencial que existe para ahorrar energía a través del diseño arquitectónico para edificaciones ya existentes es limitado. La posición de la edificación en el terreno ya está definida, por lo que cambios mayores de reconstrucción o remodelación tienden a ser poco efectivos en términos de costo. (Botkin, 2010)

## 6. LA ACTUALIDAD DE LA ENERGÍA EN EL MUNDO

Las personas en los países ricos han prosperado y vivido una larga vida durante el siglo pasado, como resultado de la abundancia de energía a bajo costo en la forma de crudo. Los beneficios del petróleo son innegables, pero también lo son los problemas potenciales que este recurso crea, desde la contaminación del aire y el agua hasta el cambio climático. En un futuro no tan lejano, aprenderemos lo que será la vida con menos petróleo a un costo más alto. La pregunta ya no es si el pico de producción llegará, sino cuándo llegará y cuáles serán sus consecuencias para la economía y la política (Alekket, 2006). El pico petrolero o cenit petrolero, es el momento en el tiempo cuando la mitad de las reservas de petróleo mundial hayan sido explotadas. (Botkin, 2010)

Como se puede apreciar en la Gráfica 6.1, los países desarrollados representan los mayores consumidores de energía a nivel mundial. El estándar de los países latinoamericanos, el cual no está acorde al estándar que los estadounidenses están acostumbrados, representa una fracción mínima del consumo global.

Gráfica 6.1. Consumo total de energía *per cápita*

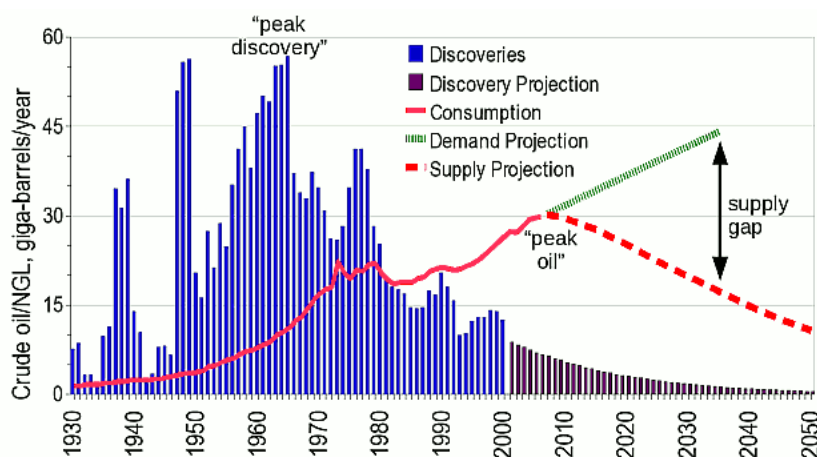


Fuente: (E.E.U.U. Departamento de Energía, 2001)

Estados Unidos necesita construir cientos de plantas de generación eléctrica para el 2020 para reemplazar las plantas antiguas y para lograr cubrir la creciente demanda de energía. El consumo global de energía alcanzará 2.5 veces el nivel del año 2000 para el año 2050 y 4 veces el nivel del año 2000 para el año 2100. La generación eléctrica mundial alcanzará 3 veces el nivel del año 2000 para el 2050 y 5 veces para el año 2100.

La historia global del petróleo en términos de la tasa de descubrimiento y consumo se muestran en la Gráfica 6.2. Durante 1940 se descubría cinco veces más petróleo del que era demandado en el mercado. Para 1980, la cantidad descubierta igualaba la cantidad demandada. Para el año 2000, el consumo de petróleo fue tres veces la cantidad descubierta. Es evidente que la tendencia no es sostenible. (Botkin, 2010)

Gráfica 6.2. Tasa de descubrimiento y consumo



Fuente: (E.E.U.U. Departamento de Energía, 2010)

Durante varios años, la producción ha sido igual año tras año, a un aproximado de 30 billones de barriles por año, haciendo que muchos estimen que el pico petrolero está muy cerca. Al llegar a este pico en la producción, y si la demanda incrementa, una brecha entre la producción y la demanda resultará. Si la demanda excede la oferta, el costo se incrementará, así como lo hizo en el 2008. El precio del barril de petróleo se duplicó de 2007 a mediados de 2008, y el galón de gasolina en los E.E.U.U. llegó cerca de los \$5, causando mucha ansiedad en los consumidores. (Botkin, 2010)

Sin embargo, en la segunda mitad de 2008, se vio una caída en el costo del petróleo a más de la mitad respecto al máximo alcanzado unos meses antes y los precios del galón de gasolina llegaron por debajo de los \$2. El precio del barril de petróleo llegó a los \$40 para abril 2009, pero en julio alcanzó los \$65 por barril. La inestabilidad en el costo del petróleo y la gasolina en los primeros años del siglo XXI reflejan la incertidumbre sobre las reservas debidas a guerras y a los procesos de refinamiento y distribución. (Botkin, 2010)

Es el momento de prepararse para el eventual pico, y pensar la forma en la que se usa los combustibles fósiles durante la transición hacia otras alternativas energéticas. Al no estar preparados para el pico petrolero, una ruptura en la sociedad es inevitable. En el mejor escenario, la transición del petróleo no ocurrirá hasta que exista una alternativa a un costo competitivo disponible para el consumidor. (Roberts, 2008) (McKibben, 2007) Alternativas para los combustibles líquidos incluye la conservación (usar menos) y producir grandes cantidades de biocombustibles del maíz, caña de azúcar y otras plantas. Convertir las vastas reservas de carbón en una forma líquida que pueda ser usada como combustible, y desarrollar otras fuentes para extraer petróleo, como las arenas de alquitrán o la pizarra bituminosa. Todas estas opciones, a excepción de la conservación, tienen un potencial significativo de daño hacia el medio ambiente, con consecuencias desastrosas. (Botkin, 2010)

El hecho que se va a alcanzar el pico petrolero muy pronto, es una llamada de atención, el cual recuerda que a pesar que no se va a terminar el petróleo a corto plazo, este si tenderá a costar más cada año, y que habrán problemas de oferta, debido al incremento en la demanda de casi 50% en los próximos 30 años. El pico en la producción de crudo, cuando llegue, será un problema como ningún otro enfrentado en la historia de humanidad. La población mundial se incrementará por varios billones en las décadas venideras, y los países con las economías en crecimiento, como China e India, consumirán más petróleo. China espera duplicar sus importaciones de petróleo en los próximos cinco años. Claramente, las ramificaciones sociales, económicas y políticas del pico petrolero son enormes. (Botkin, 2010)

Los combustibles fósiles son formas de energía solar almacenada. Las plantas son recolectoras de energía solar, porque convierten la energía solar en energía química a través de la fotosíntesis. Los principales combustibles fósiles usados hoy en día, fueron creados por la descomposición biológica incompleta de materia orgánica muerta, la mayor parte de ella plantas marinas y terrestres. Esta materia orgánica enterrada, la cual no fue completamente oxidada, se convirtió a través de reacciones químicas durante varios miles de millones de años, en crudo, gas natural y carbón. Los procesos biológicos y geológicos en varias partes del ciclo geológico producen rocas sedimentarias donde se encuentran estos combustibles fósiles (Van Koevering, 1986).

Los principales combustibles fósiles: el crudo, gas natural y carbón, son las principales fuentes de combustibles en la actualidad. Estos proveen aproximadamente el 90% de la energía que se consume mundialmente. El consumo energético mundial creció en 1.4% en 2008. El incremento más grande, de 7.2% fue en China. En los E.E.U.U., el consumo cayó en 2.8%. La mayor parte del incremento global (75%) fue debido a la quema de carbón en China (British Petroleum, 2009). Globalmente, el crudo y gas natural proveen entre 70 y 80% de la energía primaria. Dos excepciones son Asia, la cual usa carbón, y el Medio Oriente, donde el crudo y el gas proveen toda la energía que necesitan. (Botkin, 2010)

La mayoría de los geólogos admiten la hipótesis que el crudo y el gas natural son derivados de material orgánica (la mayor parte plantas) la cual fue enterrada con sedimentos marinos. El crudo y el gas son encontrados principalmente a lo largo de cinturones tectónicos jóvenes, en los bordes de las placas. Existen algunas excepciones a esto, como en Texas, el Golfo de México y el Mar del Norte, donde el crudo ha sido encontrado en depósitos lejanos a las placas. (Botkin, 2010)

Estimados recientes de reservas de crudo sugieren que, a las tasas de producción actuales, el crudo y gas natural durarán únicamente pocas décadas. La pregunta importante, no es cuánto tiempo durarán dichas reservas a las tasas de producción presentes y futuras, sino cuándo llegarán al pico petrolero.

Esto es importante porque una vez alcanzado el pico petrolero, habrá menos crudo disponible, dando como resultado escasez y precios altos. Se estima que el pico petrolero se alcanzará entre 2020 y 2050. Sea cual sea la proyección correcta, existe un tiempo finito, quizás unas décadas o quizás un poco más, antes que la necesidad de ajustar nuestros estilos de vida a una era post-petróleo. Quizás nunca vayamos a quedarnos sin petróleo, pero las personas en el mundo dependen del crudo para casi un 40% de sus necesidades energéticas, y escasez en este producto puede causar grandes problemas. (Botkin, 2010)

La vegetación en descomposición, cuando queda enterrada en un ambiente sedimentario, se transforma lentamente en un elemento, sólido, quebradizo y carbonáceo llamado carbón. El carbón es el combustible fósil más abundante en el planeta, con una reserva total extraíble de 825 billones de toneladas métricas. El consumo mundial anual de carbón es de 7 billones de toneladas métricas, suficiente para 120 años a la tasa de uso actual (British Petroleum, 2009). Existen 18,500 minas de carbón en E.E.U.U. con reservas combinadas de 262 billones de toneladas y la producción de 2008 de 1.2 billones de toneladas. A las tasas actuales en la minería, las reservas de E.E.U.U. pueden durar hasta 250 años (U.S. Energy Administration, 2007). Sin embargo, si el consumo incrementa en las décadas que vienen, el recurso no durara tanto tiempo (Rahn, 1996).

El carbón es clasificado, dependiendo de su energía y contenido de sulfuro, como antracita, bituminosa, sub-bituminosos o lignito. El contenido de energía es mayor en la antracita y menor en el carbón lignito. El contenido de sulfuro del carbón es importante, ya que el carbón de bajo sulfuro emite menos dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>) y es por lo tanto, más deseable como combustible para las plantas generadoras de electricidad. La mayoría del carbón de bajo contenido sulfúrico en los E.E.U.U. se encuentra al oeste del Río Mississippi. Este carbón es de bajo grado, bajo contenido energético, catalogado como lignito o sub-bituminoso.

En las plantas de carbón de la Costa Este, se trata el alto contenido sulfúrico del carbón extraído de sus minas en esta región, para reducir el contenido sulfúrico antes, durante y después la combustión, y con esto, evitar la excesiva contaminación del aire. A pesar de ser caro, el tratamiento del carbón para reducir la contaminación es más económico que transportar el carbón de bajo sulfuro desde la Costa Oeste. (Botkin, 2010)

La quema de carbón produce casi el 50% de la electricidad, y casi un 25% del total de la energía consumida en los E.E.U.U. hoy en día. El carbón representa casi un 90% del total de las reservas fósiles en los E.E.U.U., y este país tiene suficiente carbón para que le dure al menos unos cien años. Sin embargo, existe una alta preocupación sobre pensar en quemar todo ese carbón. Plantas de carbón gigantes que queman carbón como combustible para producir electricidad en los E.E.U.U. son responsables de casi un 70% del total de emisiones de dióxido sulfúrico, 30% de óxido nítrico y 35% de dióxido de carbono. (Botkin, 2010)

Existe una legislación como parte de la enmienda de 1990 sobre Aire Limpio (Clean Air Act por sus siglas en inglés) en E.E.U.U., el cual manda que las emisiones de dióxido sulfúrico producido por las plantas de carbón sean reducidos en un 70-90%, dependiendo del contenido sulfúrico del carbón, y que las emisiones de óxidos nítricos sean reducidos en 2 millones de toneladas métricas por año (Botkin, 2010). Como resultado de esta legislación, las compañías de servicios están luchando con nuevas tecnologías diseñadas para reducir las emisiones de dióxido sulfúrico y óxidos nítricos resultado de la quema de carbón. Existen opciones entre las cuales están (Berlin Snell, 1991) (Corcoran, 1991):

- Limpieza física o química del carbón previo a la combustión.
- Producir nuevos diseños de calderas que funcionen a menores temperaturas de combustión, reduciendo las emisiones de óxidos nítricos.
- Inyectar material rico en carbonatos cálcicos a los gases producidos por la quema del carbón. Esta práctica remueve los dióxidos sulfúricos.

- Convertir el carbón en las plantas a un gas previo a ser quemado. Esta tecnología está en etapa de prueba y puede volverse comercial en 2013. Este gas se conoce como syngas, y es más limpio que el carbón, pero sigue siendo más contaminante que el gas natural.
- Convertir el carbón en crudo. Este proceso ha sido conocido desde hace décadas. Hasta ahora, ha sido muy costoso. Existen ciertas consecuencias, una de ellas es el hecho de sobrecalentar el carbón para producir crudo genera grandes cantidades de dióxido de carbono, el gas responsable del efecto invernadero.
- Educar a los consumidores sobre la conservación de la energía y la eficiencia, para reducir la demanda de energía, y por lo tanto, la cantidad de carbón quemado y las emisiones producidas.
- Desarrollar plantas eléctricas que emitan cero emisiones. Se buscaría eliminar las partículas, mercurio, dióxidos sulfúricos y otros contaminantes por medio de procesos físicos o químicos.

El punto central de esta discusión, es que debido al incremento en los precios del crudo, el carbón ha empezado a recibir mucha atención como alternativa para evitar un shock económico. A pesar que la escasez del petróleo y el gas puede estar a unos años aun, una vez este momento llegue, existirá una gran presión sobre la industria del carbón a abrir más minas en los E.E.U.U. El incremento en el uso del carbón tendrá un impacto significativo en el ambiente por muchas razones. (Botkin, 2010)

Primero, más y más tierra tendrá que ser explotada para la minería. Segundo, el incremento en la quema de carbón, producirá grandes cantidades de contaminantes para el aire. También crea cenizas, las cuales representan un 20% del carbón quemado. Tercero, la manipulación de grandes cantidades de carbón en todas sus fases (minería, procesamiento, transporte, combustión y el desecho final de las cenizas) puede tener grandes efectos adversos al ambiente.

Esto incluye la degradación estética, ruido, polvo, y la producción de tóxicos y otros elementos que contaminaran el agua, el suelo y el aire. A pesar de todos estos riesgos, es poco probable que los E.E.U.U. se aleje del uso del carbón en el futuro, porque tienen muchas reservas del combustible y han invertido grandes cantidades de recursos y tiempo en desarrollarlos. Algunos sugieren que se debe promover el uso del gas natural en vez de carbón, ya que su combustión es mucho más limpia. Esto trae la preocupación que el país se volvería muy dependiente de las importaciones del gas natural. Sin embargo, es un hecho que el carbón es el combustible fósil más contaminante de todos. (Botkin, 2010)

## **7. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EN GUATEMALA**

### **7.1 El mercado eléctrico de Guatemala**

La empresa de servicio público estatal de Guatemala, el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), fue fundado en 1959 y se hizo responsable de todos los aspectos de la generación, transmisión y distribución de electricidad. Para la década de 1980, se había vuelto incapaz de financiar los gastos de capital requeridos para el crecimiento y desarrollo del sector eléctrico. El Congreso trató de generar el interés en inversiones privadas a través de la Ley de Energía Renovable de 1986; sin embargo en 1990, el 92% de la electricidad en Guatemala todavía era generada por empresas de servicio público estatales. A principios de la década de 1990, la potencia instalada del sistema no podía mantener el ritmo de la demanda y los apagones diarios eran comunes. El INDE empezó a ofrecer acuerdos de compra de energía muy generosos para estimular la inversión privada, y entre 1993 y 1996, se suscribieron trece Acuerdos Privados de Compra de Energía (PPAs, por sus siglas en inglés) abriendo el mercado a las inversiones privadas. En el contexto de las privatizaciones de la infraestructura pública que se extendió por el mundo en vías de desarrollo en la década de 1990, el Congreso guatemalteco aprobó la Ley General de Electricidad en 1996. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

La legislación dividió y privatizó partes de la infraestructura estatal de electricidad y creó un mercado abierto para la electricidad (el mercado mayorista) y un Administrador del Mercado Mayorista (AMM). El AMM es encargado de supervisar los contratos y las transacciones, así como de hacer que la oferta coincida con la demanda en toda la red nacional (llamada Sistema Nacional Interconectado o *SNI*). (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

El INDE siguió siendo una empresa de propiedad estatal y continuó operando las centrales de generación, las líneas de transmisión y la distribución de electricidad a través de sus tres subsidiarias. La generación del INDE se encuentra bajo los auspicios de su subsidiaria, la **Empresa de Generación de Energía Eléctrica (EGEE)**, que es propietaria de varias centrales hidroeléctricas (las que incluyen a Chixoy, Jurún Marinalá y Aguacapa) y termoeléctricas, y vende su electricidad directamente en el mercado abierto. Cuenta, por mucho, con la mayor capacidad de generación instalada del país y, en 2010, suministró más de 2,655 GWh de electricidad. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Las otras dos subsidiarias del INDE son la **Empresa de Transporte y Control de Energía Eléctrica (ETCEE)**, que se ocupa de la transmisión de electricidad y la Empresa de **Comercialización de Energía Eléctrica (ECOE)** de la comercialización y distribución. Éstas aún son de propiedad estatal. Hoy, la regulación de la electricidad es el ámbito de la **Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)**, que establece las tarifas y promueve el desarrollo de nueva energía y eficiencia energética. La CNEE también coordina las subastas y las licitaciones entre los distribuidores del país y el sector de la generación. Guatemala tiene tres empresas privadas principales que proporcionan servicios públicos de electricidad que cubren al grueso de los consumidores guatemaltecos: **EEGSA**, **DEOCSA** y **DEORSA**. Las tres cuentan con líneas de transmisión y distribución. EEGSA es la más grande y se ocupa del suministro a la capital y sus alrededores en los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla; suministra más de 50% de la electricidad del país y distribuye 593MW de energía a través de su red. Por otro lado, la DEOCSA atiende a unos 862,000 consumidores, la DEORSA a 504,000, y juntos, suministran a una demanda estable de 532MW. El suministro de la demanda restante proviene de las empresas de energía municipales y los grandes consumidores con los Acuerdos de Compra de Energía (PPA) directa con los generadores. *Guatemala fue afectada por precios de electricidad muy altos a principios de la década de 1990*, que impulsó la construcción de nueva infraestructura para energía.

Se construyeron centrales termoeléctricas a base de búnker o diesel en los 90, unas cuantas en los últimos 10 años, y una de ellas muy reciente, en 2008. Los ingenios azucareros producían 381 MW de energía que quema biomasa de caña de azúcar y bagazo y se aseguraron contratos de 20 años a precios muy altos. *Estos contratos son también parcialmente culpables de los altos costos de la electricidad en Guatemala junto con la generación a base de derivados de petróleo.* Muchos de estos contratos expiraron en 2011 y deberían ser renegociados a precios más bajos. *Los planes actuales de eliminar gradualmente la generación basada en petróleo también deberían contribuir a tener precios de electricidad más bajos en Guatemala.* (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

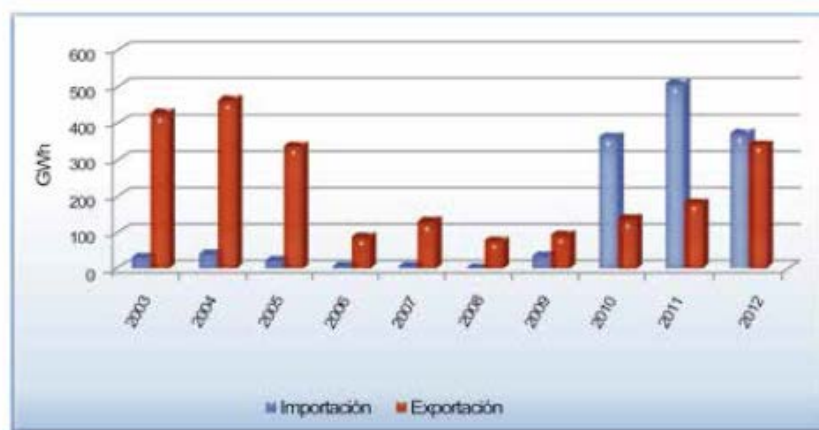
Los generadores privados representan una parte creciente de la potencia instalada del país y todos los proyectos actualmente en construcción son emprendimientos privados de entidades individuales o consorcios formados tanto por inversionistas nacionales como extranjeros. Toda la energía de proyectos nuevos es financiada por empresas privadas y por lo tanto, la adopción de energía renovable que no sea la energía hidroeléctrica en Guatemala dependerá de la confianza del sector privado en retornos atractivos sobre la inversión. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

La política energética 2013-2027, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo energético sostenible del país con equidad social y respeto al medio ambiente, es el resultado de un proceso de revisión técnica, metodológica y política necesaria para fortalecer la institucionalidad y la rectoría del MEM y del conjunto de instituciones públicas vinculadas con el sector. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Guatemala es el país que tiene la mayor capacidad instalada de energía eléctrica (2,700MW) y, por lo tanto, también es el principal exportador de electricidad de Centroamérica y Panamá. En el año 2009, oficialmente entro a operar la interconexión eléctrica entre Guatemala y México. Con esto el país dio apertura a otra oportunidad de realizar transacciones de importación y exportación de energía eléctrica que permitan garantizar el abastecimiento de la demanda a precios competitivos. La Gráfica 7.1

muestra el balance comercial de importación y exportación de energía eléctrica del país durante el periodo 2003-2012. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

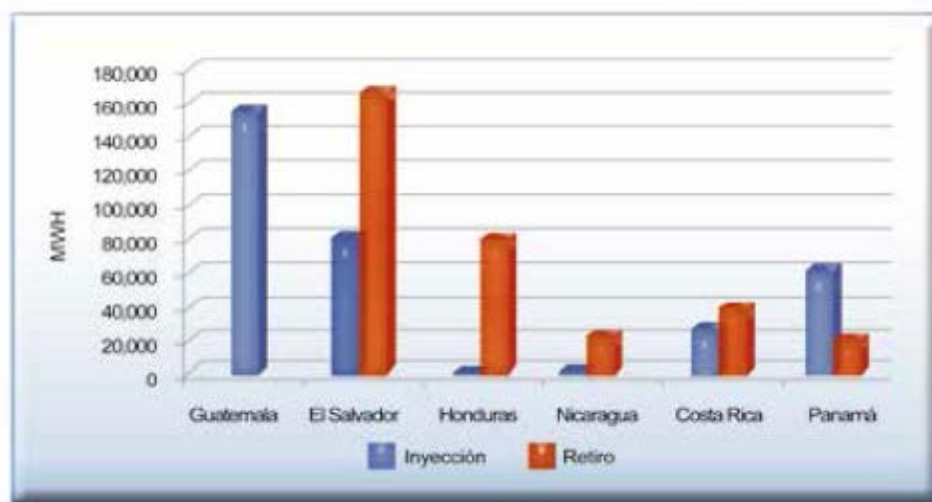
Gráfica 7.1. Importación y exportación de energía



Fuente: (Estadísticas Energéticas de la Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)

En la Gráfica 7.2 se puede observar que Guatemala es un país netamente exportador de energía eléctrica. La ilustración da cuenta de las operaciones comerciales que se realizan en el Mercado Eléctrico Regional (MER) de Centroamérica. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

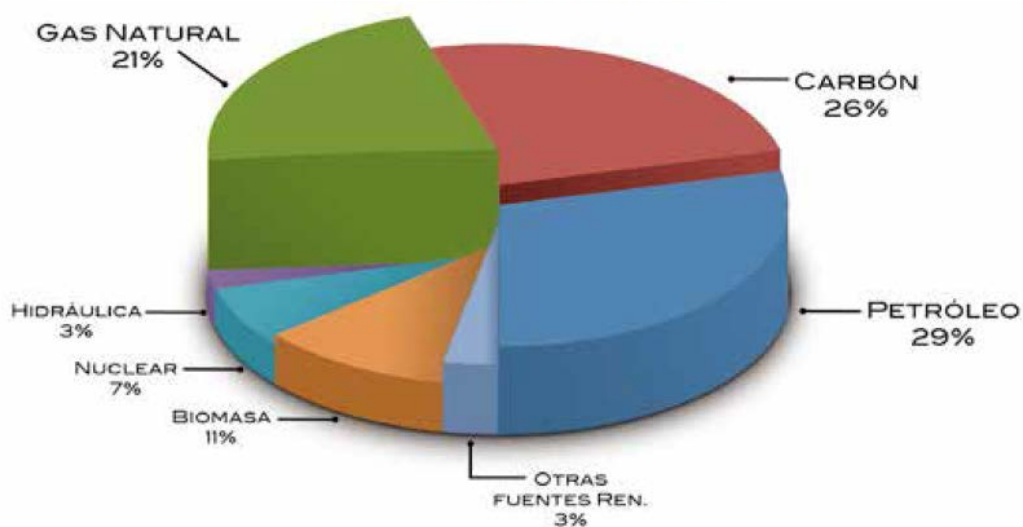
Gráfica 7.2. Transacciones regionales (2012)



Fuente: (Ente Operador Regional, 2012)

Con la puesta en vigencia de la regulación definitiva del MER, en el año 2013, se espera un incremento de las transacciones comerciales, lo cual puede incentivar el mercado de electricidad intrarregional desde México hasta Panamá. Ello permitirá mayores opciones para garantizar el suministro de energía eléctrica a todos los países de la región, así como nuevas oportunidades de inversión en generación eléctrica en el país (ya que los países centroamericanos constituyen un mercado potencial para los excedentes de energía eléctrica que puedan generarse como se ve en la Gráfica 7.3 y 7.4). (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Gráfica 7.3. Proyección de la demanda mundial de energía por tipo de fuente (al año 2030)



FUENTE: US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.

Fuente: (E.E.U.U. Departamento de Energía, 2012)

Gráfica 7.4. Comportamiento de los precios internacionales del petróleo y sus derivados (2002-2012)



Fuente: (Dirección General de Hidrocarburos, Ministerio de Energía y Minas, 2012)

## 7.2 Potencial energético

Guatemala posee una amplia biodiversidad, lo que le permite contar con recursos naturales para la generación de energía, en la Tabla 7.1 se puede apreciar el potencial energético que tiene el país proveniente de varias fuentes disponibles. Entre estos recursos se encuentra el potencial hidrocarburiíferos: aproximadamente el 65% del territorio guatemalteco se compone de rocas sedimentarias, lo que indica la probabilidad de encontrar petróleo en cualquier parte del país. Por otro lado, por su ubicación geográfica y topográfica, el territorio nacional posee un potencial hídrico compuesto por sistemas montañosos que determinan dos grandes regiones hidrográficas: la de los ríos que desembocan en el Océano Pacífico y los que lo hacen en el Atlántico. En cuanto al potencial geotérmico, Guatemala es un país volcánico que posee 36 volcanes que se encuentran diseminados en una extensión aproximada de 300km.

Además, el potencial solar del país es de alrededor de 200,000 TWh. El territorio cuenta con una superficie de 1,568 km<sup>2</sup> en donde la clase de viento se clasifica como 4 o superior, lo cual podría generar energía eléctrica en el orden de magnitud de 20,000 GWh por año. Finalmente, la industria azucarera de Guatemala ha crecido de manera importante y, por medio de la cogeneración de energía eléctrica, su participación en la matriz energética supera los 350 MW, a la fecha. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Tabla 7.1. Potencial energético del país y nivel de aprovechamiento

RECURSO	ESTIMADO	APROVECHAMIENTO
Petróleo	Reserva de 195,146,605 barriles	Producción de 10,500 barriles / día
Gas natural	No contabilizado	Sin aprovechar
Potencial hidroeléctrico	6,000 MW	Aprovechado un 15%
Potencial geotérmico	1,000 MW	Aprovechado un 5%
Potencial eólico	280 MW	Sin aprovechar
Potencial solar	5,3 kWh/m <sup>2</sup> /día	Utilizado en sistemas aislados
Potencial biomásico	No contabilizado	306.5 MW aprovechados

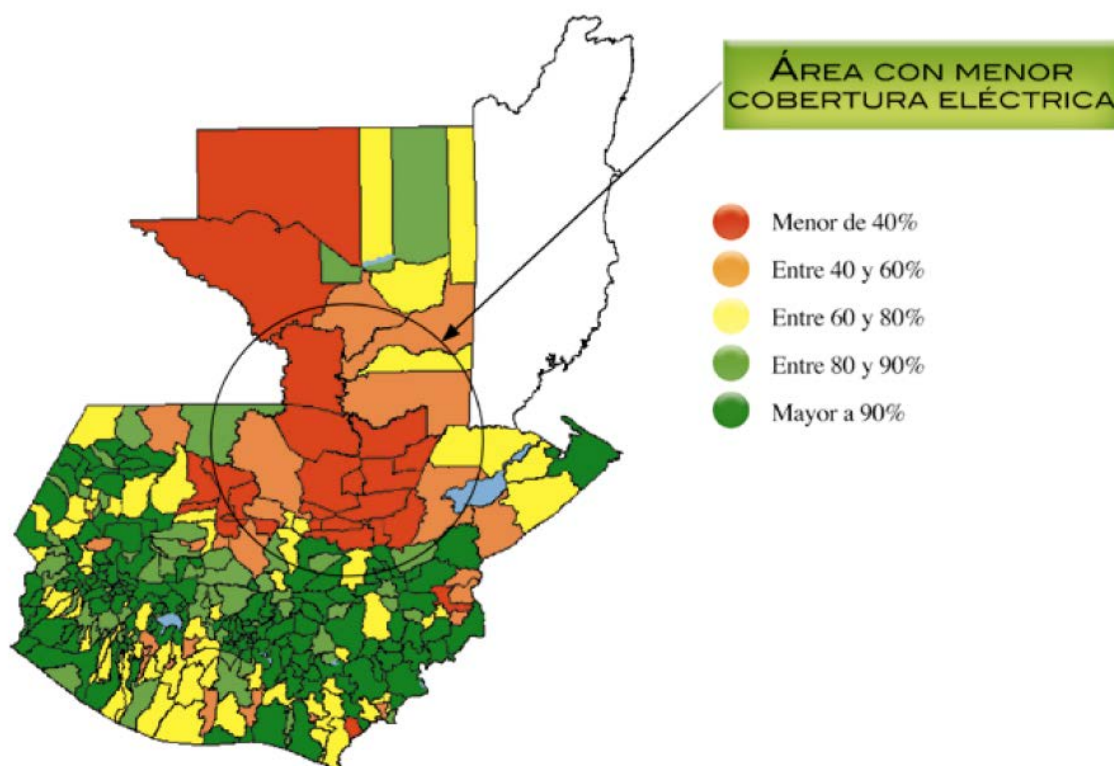
*Fuente: (Dirección General de Hidrocarburos, Ministerio de Energía y Minas, 2012)*

### 7.3 Acceso al servicio de energía eléctrica

Para el año 2012, el índice de cobertura eléctrica registro un 85.6%, lo cual muestra que aún persisten diferencias de brechas en el índice de electrificación entre distintas regiones. Ello evidencia la necesidad de inversión en electrificación en el área rural, especialmente. En este sentido, el Estado de Guatemala tiene un desafío que afrontar, incrementar la cobertura de energía eléctrica en todo el territorio nacional. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

El departamento con mayor cobertura eléctrica es Guatemala, con un 97%, mientras que el que cuenta con menor cobertura eléctrica es Alta Verapaz, con un 35.4%. Así lo muestra el Mapa 7.1. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Mapa 7.1. Cobertura eléctrica municipal



*Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)*

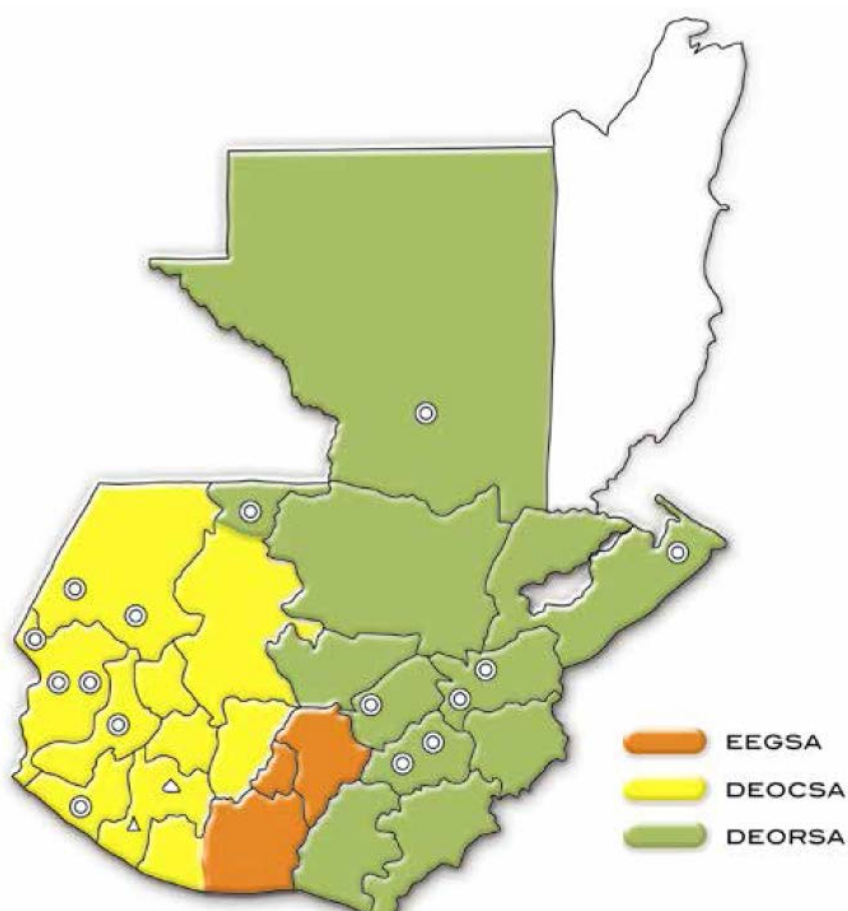
#### 7.4 Sistema de transmisión eléctrica

A partir de 1996, con la promulgación de la Ley General de Electricidad, la actividad del transporte de energía eléctrica se abrió a cualquier agente del mercado mayorista que desee construir líneas de transmisión bajo la regulación eléctrica y bajo el conocimiento de que se trata de un servicio abierto y regulado (ver Mapa 2). En la actualidad, el MEM registra un número de siete agentes transportistas debidamente autorizados que prestan el servicio de transporte de energía eléctrica. Sin embargo, existen regiones en varios departamentos del país que a la fecha no forman parte del Sistema Nacional Interconectado (SIN), como puede observarse en el Mapa 7.2. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)



Entre las tres empresas distribuidoras más grandes del país se atiende a cerca de 2.4 millones de usuarios finales, clasificados en diferentes categorías, en tanto que las empresas municipales atienden a cerca de 205,000 clientes. El consumo de energía en GWh registrado por las tres distribuidoras supera los 4,600 GWh, de los cuales el 59% corresponde a la empresa EEGSA, 23% a Deocsa, y el restante 18% a Deorsa. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Mapa 7.3. Distribuidoras y región de cobertura

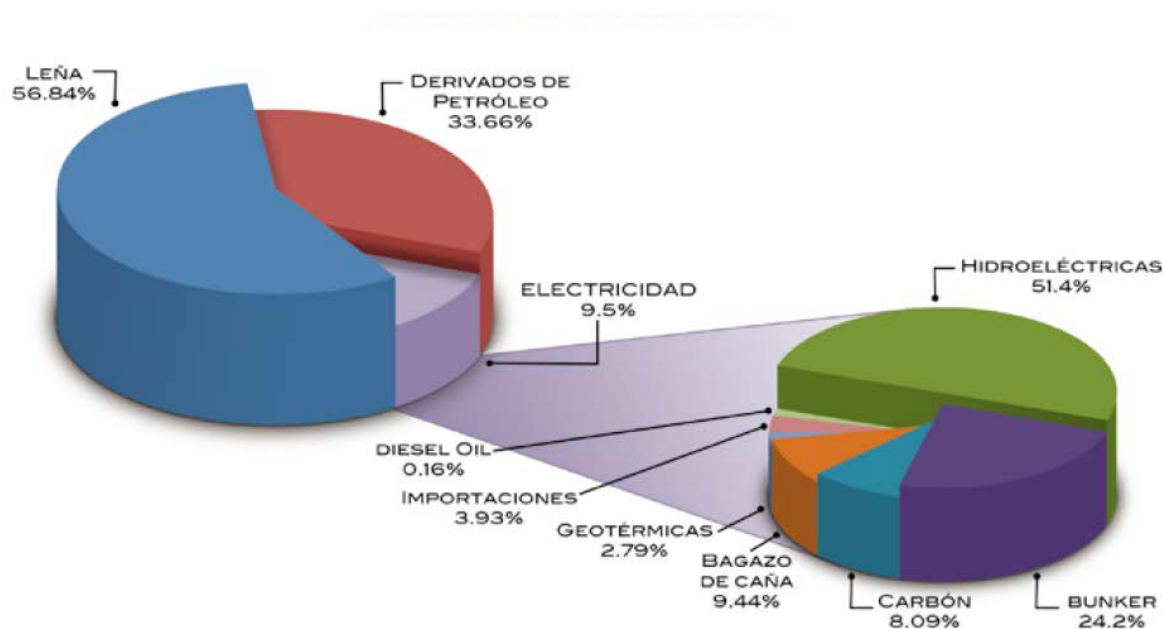


*Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)*

## 7.6 Demanda de recursos energéticos a nivel nacional

La fuente de energía que más se utiliza en el país es la leña, principalmente para cocción de alimentos en las áreas rurales. El consumo de productos derivados del petróleo se debe principalmente al sector transporte y al sector industrial, para la generación de calor en sus procesos productivos. Ello se observa en la Gráfica 7.5. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Gráfica 7.5. Consumo energético nacional 2012



Fuente: (Dirección General de Energía, Estadísticas Energéticas 2012)

## 7.7 Demanda de electricidad

En los últimos 25 años, la demanda de energía eléctrica en Guatemala ha presentado un crecimiento promedio sostenido de un 7% anual, como puede observarse en la Gráfica 7.6, durante el periodo 2008-2012, la demanda tuvo una desaceleración en su crecimiento, asociada directamente con la crisis económica mundial que impactó en la economía nacional. En 2012 hubo un aumento de consumo de energía eléctrica de 350 GWh con relación al año anterior. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

En la actualidad, la demanda de potencia eléctrica reporta valores cercanos a los 1,500 MW, mientras que el parque generador guatemalteco posee una capacidad instalada cercana a los 2,700 MW, lo que implica una sobreoferta, principalmente de centrales de generación térmica. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Gráfica 7.6. Consumo de energía eléctrica (1986-2027)



Fuente: (Dirección General de Energía, Estadísticas Energéticas 2012)

Tomando como base el supuesto de que la demanda de energía eléctrica mantendrá un crecimiento promedio de 7% anual para el periodo 2012-2027, la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) proyecta una demanda de energía para el año 2027 de 16,800 GWh según se muestra en la Gráfica 7.6. Con las proyecciones de demanda de energía arriba indicadas y con un factor de carga alto, la capacidad instalada de potencia necesaria para cubrir la demanda en el año 2027 será de aproximadamente 3,000 MW. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

## 7.8 Consumo de leña

La leña es el energético de mayor demanda en Guatemala: en 2012, el consumo de la leña alcanzó el 57% del total de consumo energético en el país (ver Mapa 7.4). Su

mayor uso se encuentra en las áreas no electrificadas y en los hogares más pobres, en donde se emplea principalmente para la cocción de alimentos. La quema de leña carece de control y frecuentemente se realiza en áreas cerradas con generación de humos (CO<sub>2</sub>) que representan un riesgo para la salud y causan enfermedades respiratorias a los seres humanos. Otro efecto negativo del uso de leña es la deforestación, dado que en el país no existen suficientes planes de manejo de bosques. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Mapa 7.4. Densidad de consumo de leña por municipio



*Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)*

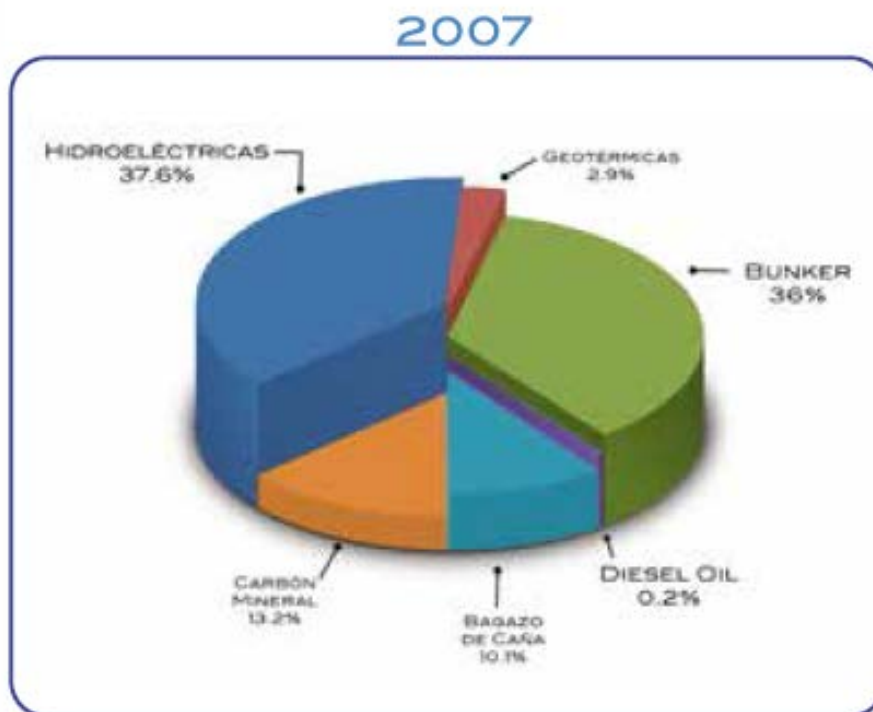
Se estima que anualmente se consumen cerca de 16 millones de metros cúbicos de leña en Guatemala. Entre el 60 y 70% de hogares donde se cocina con leña no cuentan con una chimenea adecuada para la extracción del humo, y entre un 5 y un 20% de las familias en extrema pobreza cocinan en el mismo lugar donde duermen. Además, según la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), el 72% de los hogares guatemaltecos utiliza leña como fuente energética para cocinar, lo cual es preocupante

por los daños que causa a la salud el humo que se produce al quemarla. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

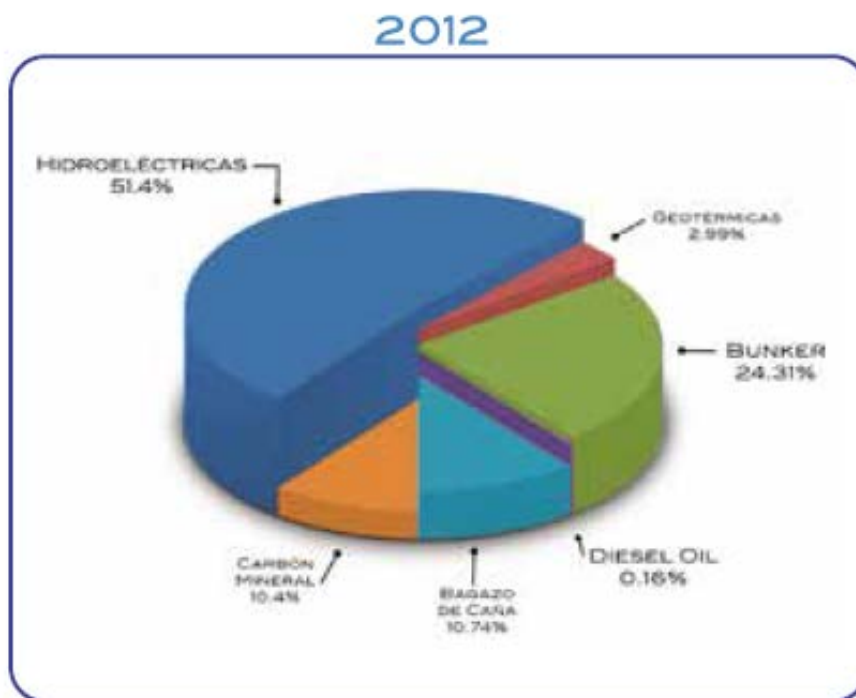
### 7.9 Oferta de recursos energéticos a nivel nacional: Generación eléctrica

Si se realiza un análisis comparativo entre los años 2007 y 2012 se puede observar que la generación energética mediante fuentes renovables se incrementó en el orden de 50.6 a 65.1% (ver Gráfica 7.7). Sin embargo, se observa que en ambos casos la generación por medio de búnker o fuel oil tiene un valor muy importante y, además, tiene un impacto directo en los costos marginales del mercado de oportunidad. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

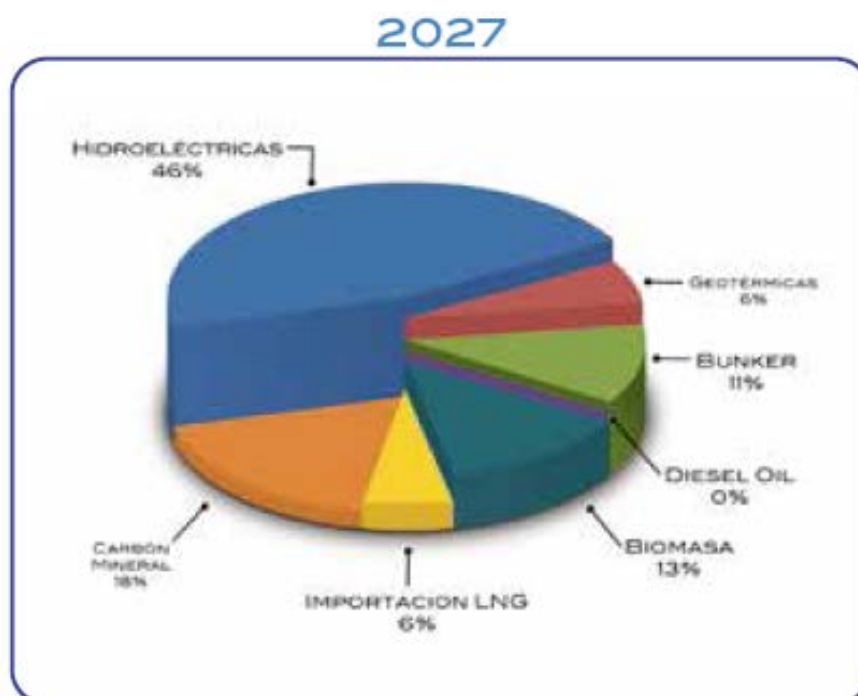
Gráfica 7.7. Matriz de generación eléctrica  
2007, 2012, 2027



Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)



Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)



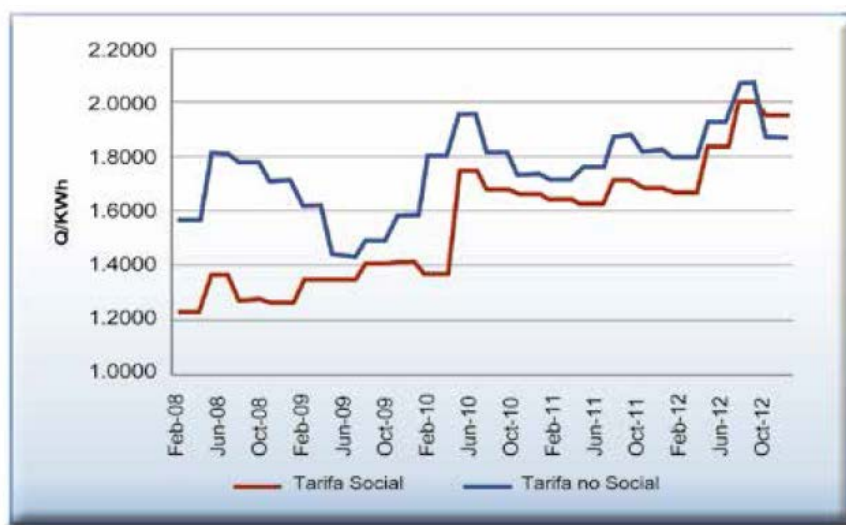
Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)

Es importante mencionar que, aunque aún no está presente en la matriz de generación eléctrica del país el uso y aprovechamiento del gas natural, este constituye una alternativa de suministro en el futuro, dadas las condiciones de costo y la estabilidad en el precio que se proyectan en la media y largo plazos. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

### 7.10 Tarifas eléctricas

Las tarifas eléctricas de Guatemala están definidas por nivel de voltaje y consumo. Sin embargo, para tener un parámetro de referencia, se muestra en la Gráfica 7.8 el comportamiento de las tarifas en baja tensión: social y no social. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Gráfica 7.8. Comportamiento de las tarifas eléctricas en baja



Fuente: (Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2012)

El comportamiento de las tarifas eléctricas en los últimos años ha reportado una tasa de crecimiento interanual de aproximadamente un 1%, lo cual depende, en gran medida, de los costos asociados a la matriz de generación eléctrica.

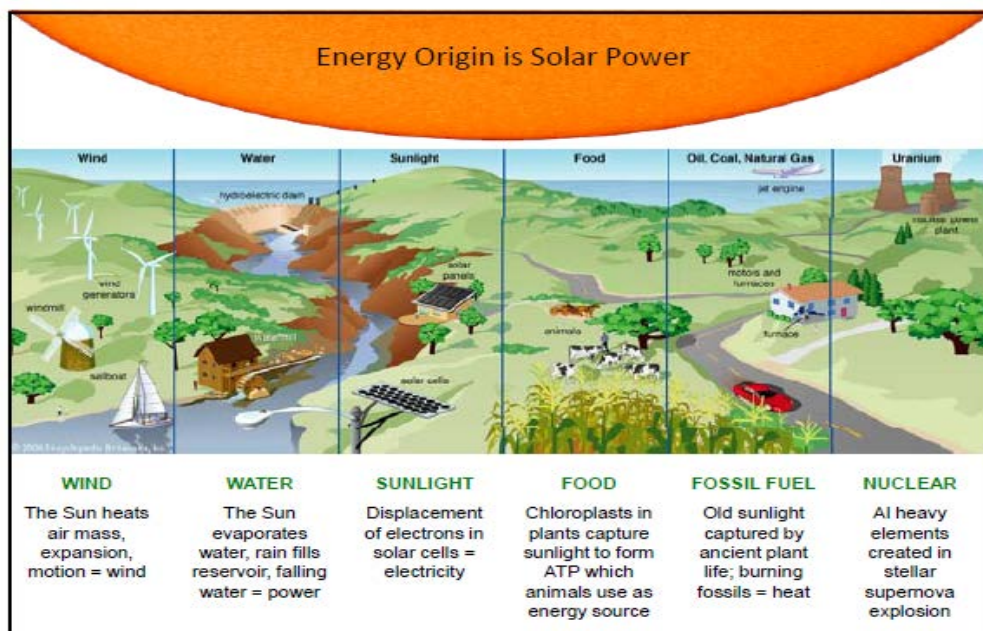
Por este motivo, en época seca, las tarifas dependerán en mayor medida de los precios del bunker, mientras que en época lluviosa podrán verse disminuidas por el efecto de las lluvias para la producción hidroeléctrica. Sin embargo, es importante notar que, debido a que dentro de la matriz eléctrica aún se depende de la generación mediante búnker, las tarifas reflejarán los costos de este último. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

## 8. LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS: LA ENERGÍA SOLAR

### 8.1 Información general

Las fuentes de energía primarias hoy en día son los combustibles fósiles. Estos proveen aproximadamente un 90% de la energía consumida por las personas. Todas las demás fuentes de energía son consideradas alternativas, y están divididas en renovables y no renovables. Las energías no renovables son fuentes que incluyen la energía nuclear, la energía geotérmica de gran profundidad en la corteza terrestre, entre otras. Este tipo de energía geotérmica es considerada no renovable ya que el calor se extrae a una tasa más alta que lo que la Tierra puede renovarla. La energía nuclear es considerada no renovable porque requiere de un mineral que debe ser extraído de la tierra. (Botkin, 2010) El origen de toda la energía en el planeta proviene directa o indirectamente del Sol (Figura 8.1). Las fuentes renovables son la energía solar, los ríos, el viento, el océano, la energía geotérmica superficial y los biocombustibles. Las fuentes renovables son analizadas en grupo porque todas se derivan de la energía del sol. Se consideran renovables ya que estas son regeneradas por el sol en un espectro de tiempo utilizable a las personas. (Botkin, 2010)

Figura 8.1. Origen de la energía es solar



Fuente: (Zevitas, 2013)

Figura 8.2. Tipos de energía

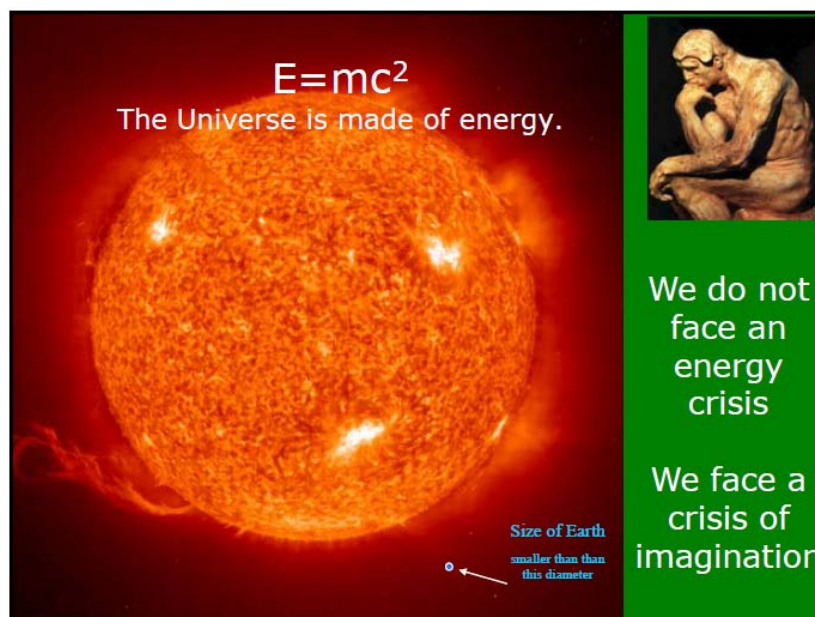


*Fuente: (Zevitas, 2013)*

El total de energía que podemos extraer de las fuentes alternativas es enorme. Por ejemplo, la energía recuperable estimada de la energía solar es aproximadamente 75 veces la energía usada por la población cada año. El estimado recuperable de energía que proviene del viento es comparable con el consumo energético global actual. (Botkin, 2010)

La energía solar total que llega a la superficie terrestre es tremenda. Por ejemplo, en una escala global, diez semanas de energía solar es equivalente a la energía almacenada en todas las reservas de carbón, crudo y gas natural en el planeta. La energía solar es absorbida en la superficie terrestre a una tasa promedio de 90,000 teravatios, lo cual es aproximadamente 7,000 veces el total de la demanda global de energía (Eaton, 1978). En los E.E.U.U., en promedio, 13% de la energía original del sol que entra la atmósfera llega a la superficie. Equivalente a  $177\text{W}/\text{m}^2$  o  $16\text{W}/\text{ft}^2$  continuamente. La energía solar es dependiente del sitio, y se requiere una observación detallada del potencial del sitio para determinar el potencial de la energía solar diaria y su variabilidad con las estaciones (Brown, 1999).

Figura 8.3. Reflexión sobre los retos energéticos en el mundo



*Fuente: (Zevitas, 2013)*

La energía solar puede ser usada por medio de sistemas pasivos y activos. Un sistema de energía solar pasivo no utiliza ningún dispositivo mecánico, para mover el aire o agua. En su lugar, utiliza el diseño arquitectónico para maximizar la absorción de energía solar. Desde el surgimiento de la civilización, muchas sociedades han usado la energía solar pasiva. Los arquitectos islámicos, por ejemplo, han usado la energía solar pasiva tradicionalmente en climas muy calientes para mantener fresca una edificación. Hoy en día no enfrentamos una crisis energética, sino una crisis imaginación (Figura 8.3) (Botkin, 2010)

## 8.2 Definición de la energía solar pasiva

Miles de edificios en los E.E.U.U. utilizan sistemas pasivos de energía solar. La energía solar pasiva promueve el enfriamiento en climas cálidos y la retención del calor en climas fríos a través del diseño arquitectónico, el término pasivo se refiere a que no involucra ningún sistema mecánico para lograr dicho objetivo. Los métodos incluyen cornisas en los edificios para bloquear la luz solar en verano cuando el ángulo del sol es mayor y así mantener frescos los ambientes, y permitir que la luz solar entre por las ventanas en invierno cuando el sol está en un ángulo menor, para calentar los ambientes. Utilizar paredes que absorban la luz solar durante el día y que la irradian en forma de

calor durante la noche. Plantar árboles en el lado de la edificación con mayor exposición al sol. La idea es que durante el verano, estos árboles provean sombra para mantener fresco el lugar y durante el invierno, al perder sus hojas, permita el paso de la luz solar lo cual caliente la edificación. La energía solar pasiva provee luz natural a las edificaciones a través de las ventanas y los tragaluces. Los sistemas de ventanería modernos, poseen cristales desarrollados de tal forma que permitan el paso de la luz, bloqueando los rayos infrarrojos y proveen asilamiento contra ruido. (Botkin, 2010)

Los sistemas de energía solar activos requieren potencia mecánica, como bombas eléctricas para circular el aire, agua u otros fluidos desde los colectores solares a la locación donde el calor es almacenado y luego es bombeado donde la energía será utilizada. (Botkin, 2010)

Los colectores solares que proveen calefacción ambiental o agua caliente son planos, con placas de cristal que cubren un fondo negro donde el fluido que absorbe el calor circula a través de tubos. La radiación solar entra en el cristal y es absorbida por el panel negro. El calor es emitido desde este material negro, calentando el fluido que circula por el sistema de tubos. Otro tipo de colector solar, es similar al colector de placa plana, con la diferencia que cada tubo, junto con el fluido que circula por él, pasa a través de un tubo mayor que ayuda a reducir la pérdida de calor. El uso de los colectores solares se está expandiendo rápidamente; el mercado global ha crecido 50% desde 2001 al 2004. En los E.E.U.U., los calentadores de agua solares generalmente tienen un periodo de retorno de la inversión de 4 a 8 años (Annual Photovoltaic Module, 2008).

Los sistemas fotovoltaicos convierten la energía solar directamente en electricidad. Los sistemas utilizan celdas solares, también conocidas como celdas fotovoltaicas, constituidas de capas delgadas de semiconductores (silicón o de otro material) y por componentes electrónicos de estado sólido con pocas partes en movimiento. Los sistemas fotovoltaicos son el sistema de generación energética con mayor crecimiento en el mundo, con una tasa de crecimiento de 35% por año (duplicándose cada dos años). En los E.E.U.U., la cantidad de sistemas fotovoltaicos

despachados incremento 90% entre 2007 y 2008, con un incremento promedio de 64% por año desde 2005. La industria fotovoltaica se espera que crezca a \$30 billones para 2010 (Starke, Vital Signs, 2005).

La tecnología de celdas solares está avanzando rápidamente. Mientras unas décadas atrás estas convertían únicamente el 1 o 2% de la luz solar en electricidad, hoy en día estas convierten hasta un 20%. Las celdas son construidas en módulos estandarizados y son encapsulados en plástico o cristal, los cuales pueden ser combinados para producir sistemas de distintos tamaños para que la energía de salida sea la que se desea. La electricidad es producida cuando la luz solar llega a la celda. Las distintas propiedades electrónicas de las capas causan que los electrones fluyan fuera de la celda a través de cables eléctricos. (Botkin, 2010)

Los grandes sistemas fotovoltaicos pueden ser conectados a la red eléctrica. También existen aplicaciones que pueden ser independientes a la red eléctrica. Sistemas fotovoltaicos fuera de la red están emergiendo como un gran contribuyente a países en desarrollo que no pueden costear la construcción de redes eléctricas adicionales o grandes plantas de generación eléctrica que usan combustibles fósiles. Una empresa en E.E.U.U. está produciendo sistemas fotovoltaicos para proveer electricidad para iluminación y para hacer funcionar televisores a un costo instalado de menos de \$400 por vivienda (Berger, 2000). Se estima que aproximadamente medio millón de hogares en todo el mundo, sobre todo en países en desarrollo, que no están conectados a la red eléctrica nacional, ahora reciben su electricidad de sistema fotovoltaicos (Demeo, 1990).

El uso de la energía solar generalmente tiene poco impacto en el medio ambiente, sin embargo hay algunos factores que si generan preocupación en el tema ambiental. Una preocupación es la gran variedad de metales, vidrio, plásticos y fluidos utilizados en la manufactura y uso del equipo solar. (Ministerio de Energía y Minas, 2013)

Las personas han adorado al Sol como un dios en el pasado. Han reconocido la gran importancia que tiene este astro para la vida en el planeta. Sin embargo, con el crecimiento tan rápido de la ciencia y tecnología, la humanidad ha llegado a creer que todos los problemas pueden ser resueltos con alta tecnología y que ya no es necesario vivir en armonía con la naturaleza. Un ejemplo arquitectónico de esta actitud es la construcción de un edificio 100% de vidrio en el desierto, el cual puede ser habitable únicamente teniendo en operación continua sistemas gigantes de aire acondicionado. (Lechner, 2009)

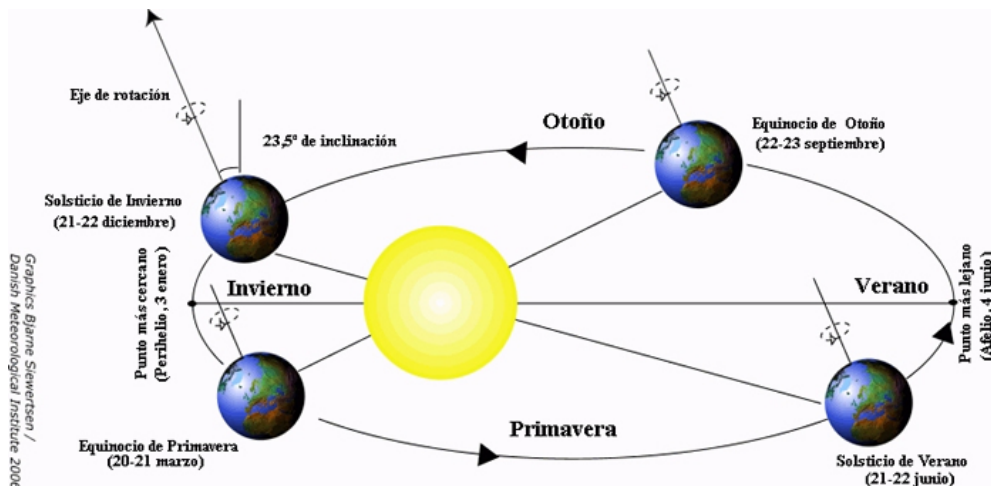
El creciente interés en los diseños verdes o sostenibles ilustra un cambio de actitud. En la arquitectura, este punto de vista está representado por edificios que dejan que la luz solar llegue al edificio durante el invierno y bloquearlo durante el verano. Esto requiere que el diseñador tenga un entendimiento amplio del mundo natural. Un concepto central para este entendimiento es la relación del Sol con el planeta Tierra. (Lechner, 2009)

El Sol es un reactor de fisión gigante, donde los átomos ligeros son fusionados para formar átomos más pesados, y en el proceso, se libera energía. Esta reacción puede ocurrir únicamente en el interior del Sol, donde existe una temperatura necesaria de 25,000,000 °F (14,000,000 °C). Sin embargo, la radiación solar que alcanza la Tierra, es emitida por la superficie del Sol, la cual tiene una temperatura mucho menor. La radiación solar es el tipo de radiación emitida por un cuerpo con una temperatura de 10,000 °F (5,500 °C). La cantidad y la composición de la radiación solar que llega a la parte exterior de la atmósfera terrestre, son bastante similar, y es llamada constante solar. La cantidad y composición de radiación que llega a la superficie terrestre varía considerablemente con los ángulos solares, elevaciones y la composición de la atmósfera. (Lechner, 2009)

La órbita de la Tierra no es circular, sino elíptica, de tal forma que la distancia entre la Tierra y el Sol varía mientras el planeta se mueve alrededor del Sol (ver Figura 8.4). La distancia varía en aproximadamente 3.3%, y esto resulta en una pequeña

variación anual en la intensidad de la radiación solar. Esto explica, ¿por qué es más frío en enero que en julio? No, porque de hecho se está más cerca del Sol en enero que en julio. De hecho, esta variación en distancia desde el Sol reduce ligeramente la severidad de los inviernos y veranos en el hemisferio norte. ¿Qué es entonces lo que provoca el cambio de las estaciones? (Lechner, 2009)

Figura 8.4. Equinoccio y solsticio



Fuente: (Danish Meteorological Institute, 2006)

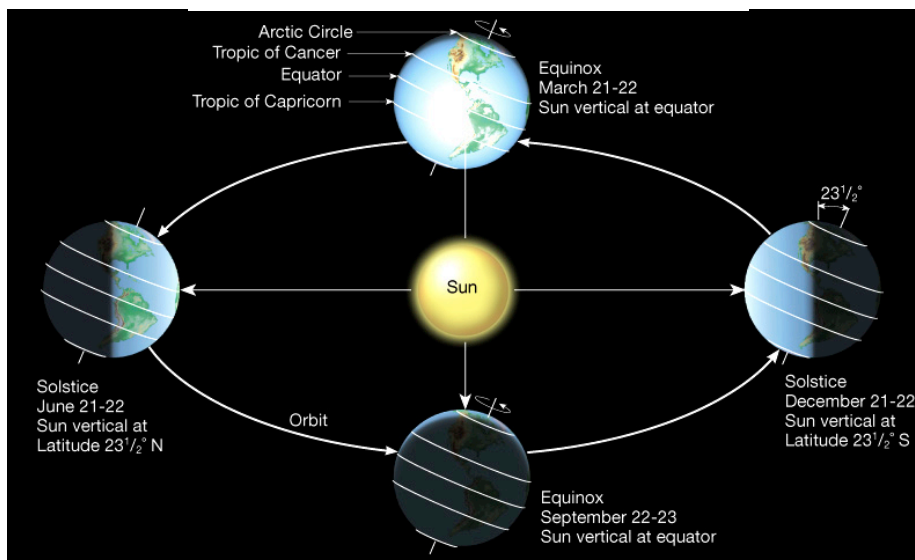
Mientras que la Tierra da vueltas alrededor del Sol, también está girando en su propio eje (eje norte-sur). Debido a que este eje no es perpendicular al plano orbital sino que está inclinado 23.5 grados fuera de la normal de este plano, y debido a que la orientación en el espacio de este eje de rotación permanece fijo mientras la tierra da vueltas alrededor del Sol, el ángulo al que los rayos solares llegan a la Tierra continuamente cambia durante todo el año. Esta inclinación de 23.5 grados es la causa de las estaciones y tiene grandes implicaciones para el diseño solar. (Lechner, 2009)

### 8.3 Inclinación del Sol

Debido a que la inclinación del eje terrestre es fija, el hemisferio norte encara al Sol en junio y el hemisferio sur encara al Sol en diciembre (ver Figura 8.5). Las condiciones extremas ocurren el 21 de junio, cuando el Polo Norte está apuntando más

cercano hacia el Sol, y el 21 de diciembre, cuando el Polo Norte está apuntando más lejos del Sol. (Lechner, 2009)

Figura 8.5. Ángulos de los rayos solares



Fuente: (Schrage, 2009)

Nótese que el 21 de junio, los rayos solares son perpendiculares a la superficie terrestre en todo el Trópico de Cáncer, el cual, no por coincidencia, es la latitud  $23.5^{\circ}$  Norte. Ninguna parte del planeta al norte del Trópico de Cáncer tiene el Sol directamente sobre ella. Es también el día más largo en el hemisferio norte, y es llamado el solsticio de verano. Ese día, todo el planeta al norte del Círculo del Ártico tendrá 24 horas de día. (Lechner, 2009)

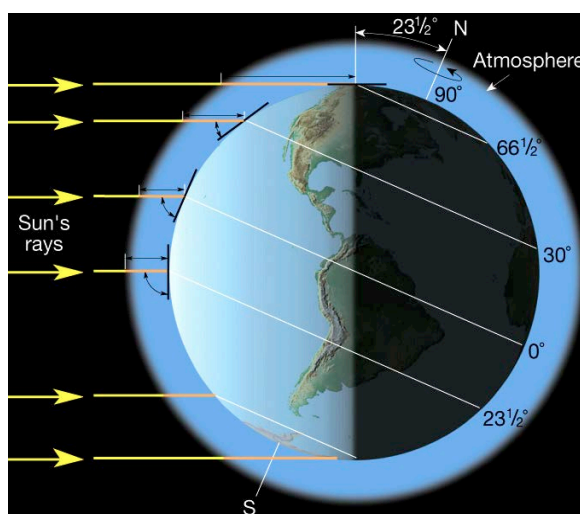
Seis meses después, el 21 de diciembre, en el lado opuesto de la órbita terrestre, alrededor del Sol, el polo norte apunta tan lejos del Sol, que ahora todo lo que está arriba del círculo ártico experimenta 24 horas de oscuridad. En el hemisferio norte, este es el día con la noche más larga y es conocido como el solsticio de invierno. En este día, el Sol es perpendicular al hemisferio sur, a lo largo del Trópico de Capricornio, el cual, por supuesto, está a una latitud  $23.5^{\circ}$  Sur. Mientras tanto, los rayos solares que caen en el hemisferio norte lo hacen a un ángulo mucho más bajo (ángulos en altitud) que los que caen en el hemisferio sur. (Lechner, 2009)

A la mitad entre el día más largo y el día más corto, está el día con la misma cantidad de horas de luz como de oscuridad. Esta situación ocurre dos veces por año, el 21 de marzo y el 21 de septiembre, y es conocido como el equinoccio de primavera y de otoño. En estos días el Sol está directamente arriba del Ecuador. (Lechner, 2009)

El ángulo vertical al cual los rayos solares llegan a la Tierra es llamado ángulo de altitud y es una función de la latitud geográfica, el momento del año y el tiempo del día. La situación más simple ocurre a medio día en el equinoccio, cuando los rayos solares son perpendiculares a la Tierra en el Ecuador. Para encontrar el ángulo de altitud del Sol a cualquier latitud, se dibuja el plano del suelo tangente a la Tierra en esa latitud. Por simples principios geométricos, se puede mostrar que el ángulo de altitud es igual a 90 menos la latitud. Hay dos consecuencias importantes a este ángulo de altitud en el clima y en las estaciones. (Lechner, 2009)

El segundo efecto del ángulo de altitud se ilustra por la ley del coseno. Esta ley indica que un haz de luz solar dado iluminará un área más grande, mientras el Sol este en una posición más baja en el cielo. Dado un haz de luz esparcido en áreas grandes, la luz solar en cada unidad cuadrada de tierra naturalmente se va debilitando. La cantidad de luz solar que una superficie recibe cambia con el coseno del ángulo entre los rayos solares y la normal a la superficie (ver Figura 8.6). (Lechner, 2009)

Figura 8.6. Ángulos según latitud geográfica y estación



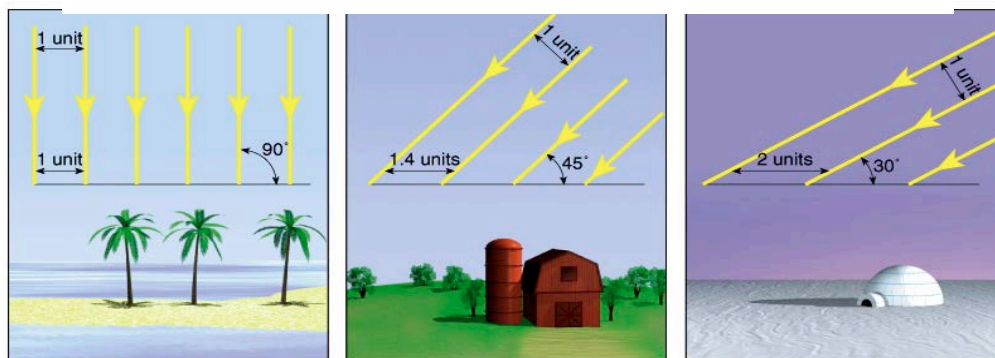
Fuente: (Schrage, 2009)

Esto es importante ya que el Sol tiene mucho que ver con la cantidad de calor que recibimos en una locación determinada. Es experiencia común que a distintos días durante el año, el sol esta a una altura distinta en el cielo.

A pesar que cada rayo de Sol contiene la misma cantidad de calor cuando el ángulo solar cambia esa cantidad de calor se esparce en un área mayor o menor por ejemplo en el trópico podemos ver que una unidad de ancho del rayo solar cuando llega al suelo cubre un área de una unidad de ancho, en este caso no hay esparcimiento del rayo solar (ver Figura 8.7).

Otro ejemplo, en el Polo Norte, podemos ver que al estar el Sol a un ángulo menor, el rayo solar de una unidad de ancho, al tocar el suelo se esparce y abarca dos unidades de ancho, en este caso la misma cantidad de calor se esparce en un área mayor, por lo que la misma cantidad de calor debe calentar un área mayor.

Figura 8.7. Esparcimiento de los rayos solares llegando a la Tierra

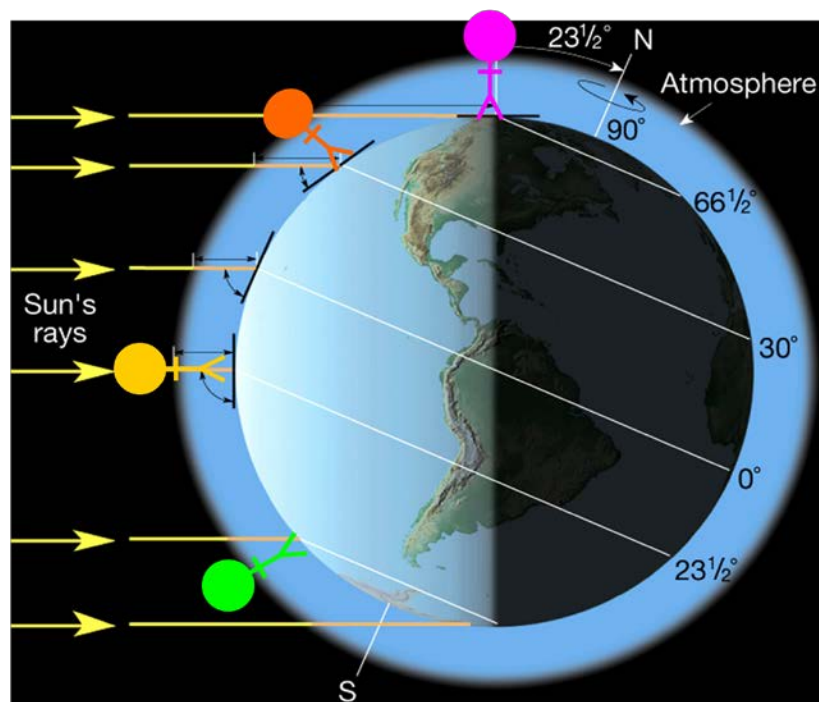


*Fuente:* (Schrage, 2009)

Los rayos que recibimos del Sol son efectivamente paralelos. El Sol emite rayos en todas las direcciones, pero estamos a una distancia tan grande del Sol, que los rayos que alcanzan a llegar a la Tierra llegan de forma paralela entre ellos, esto no quiere decir que todos experimenten el Sol en la misma forma.

Al ver la Figura 8.8 a continuación, podemos ver a cuatro personas ubicadas en distintas latitudes de la Tierra, cada una experimenta un ángulo solar diferente. La persona en el trópico, percibe el sol más intenso, debido a que los rayos están directamente arriba de él. En el caso de la persona en el polo norte, el ángulo solar es menor, y por lo tanto la intensidad debida al esparcimiento del rayo, es menor para esta persona.

Figura 8.8. Rayos solares a distintas latitudes



Fuente: (Schrage, 2009)

Los solsticios de verano e invierno y el equinoccio de marzo y septiembre son fechas fáciles de memorizar, y se conoce el ángulo máximo que tendrá el Sol en cada una de ellas. Pero como hacer para conocer el ángulo en otras fechas durante el año. Para esto se utiliza un diagrama llamado analema, el cual básicamente es tipo de calendario, el cual puede usarse para leer la latitud y en ángulo. El analema tiene los meses y los días. De wikipedia la definición de analema dice: «el analema (del griego ἀνάλημμα "pedestal de un reloj de sol") es la curva que describe la posición del Sol en el cielo si todos los días del año se lo observa a la misma hora del día (tiempo civil) y desde el mismo lugar de

observación. El analema forma una curva que suele ser, aproximadamente, una forma de ocho (8)».

Para estimar el ángulo máximo a medio día de un día cualquiera, se deben seguir tres pasos: teniendo la fecha del día que se quiere calcular el ángulo, se debe buscar cual es la declinación solar en ese día, es decir, en que latitud el Sol está en su punto más alto a medio día, por ejemplo, para el solsticio de junio es en el Trópico de Cáncer mientras que en el solsticio de diciembre esta en el Trópico de Capricornio. El paso dos es encontrar la distancia entre su actual latitud y dónde está ubicada la declinación solar. El tercer paso es 90 grados menos la distancia entre su actual latitud y la declinación solar.

Ejemplo encontrar el ángulo solar a medio día en Omaha (40N) en diciembre 21.

Paso 1: Declinación solar. Es el solsticio de diciembre, la declinación solar está en el Trópico de Capricornio. El cual es 23.5 Sur.

Paso 2: Distancia entre su latitud y la declinación solar: como estamos a 40 grados norte, debemos bajar esos 40 grados al ecuador, que es el punto cero, y luego bajamos 23.5 grados hacia el sur, esto hace que sumemos 40 grados N más 23.5 grados S, dando un total de 63.5 grados.

Paso 3: Encontrar el ángulo del sol: 90 grados menos 63.5 grados, esto da 26.5 grados.

#### **8.4 Confort térmico**

El ser humano es una máquina biológica, la cual quema los alimentos como combustible y genera calor como un sub-producto. Este proceso metabólico es muy similar a lo que pasa en un automóvil, donde la gasolina es el combustible y el calor también es un sub-producto significativo del proceso. Ambos tipos de máquinas deben ser capaces de disipar el calor para prevenir el sobrecalentamiento. (Lechner, 2009)

Todos los mamíferos, y los humanos en particular, requieren una temperatura constante. El hipotálamo, una parte de nuestro cerebro, regula el cuerpo humano para mantener una temperatura interior de aproximadamente 37°C, y con cualquier pequeña

desviación se crea un desorden considerable. Una desviación de 10 a 15 grados más alto o 20 grados menos, puede llegar la muerte. Nuestros cuerpos tienen varios mecanismos para regular el flujo de calor para garantizar que la pérdida de calor iguale el calor generado, para que el equilibrio térmico sea de aproximadamente 37°C. (Lechner, 2009)

Se pierde calor exhalando aire húmedo de los pulmones. Pero la mayor parte del flujo de calor es a través de la piel. La piel regula el flujo de calor en parte controlando la cantidad de sangre que fluye a través de ella. En verano, el flujo de sangre es alto para incrementar la pérdida de calor, mientras que en invierno el flujo de sangre en la piel es menor, para minimizar la pérdida de calor, en este caso la piel actúa como aislante. La temperatura de la piel será más baja en invierno que en verano. La temperatura de la superficie de la piel puede variar alrededor de 27°C en respuesta a la temperatura del ambiente. La piel también contiene glándulas sudoríparas que controlan la pérdida de calor a través de evaporación. (Lechner, 2009)

El cabello es otro medio importante para controlar la tasa de pérdida de calor. Sin embargo, el ser humano ya tiene suficiente cabello en el cuerpo, pero los músculos que hacen que el cabello se erice para proveer mayor aislamiento térmico. Después de varios días de exposición, el cuerpo puede aclimatarse a temperaturas muy bajas o altas. Cambiando el total de sangre es uno de los mecanismos, con mayor sangre producida durante condiciones más cálidas. Un exceso en pérdida de calor es conocido como hipotermia y poca pérdida de calor es conocido como hipertermia. Los mecanismos de pérdida de calor están relacionados con la diferencia de temperatura. No es sorpresa que la pérdida de calor decrece mientras la temperatura ambiente incrementa. Cuando la temperatura ambiente llega a la temperatura de 37°C, el flujo de calor no puede ocurrir por conducción, convección o radiación. Afortunadamente, existe otro mecanismo para controlar el flujo de calor que no depende de la temperatura del ambiente. La pérdida de calor por evaporación funciona mejor a temperaturas mayores. Las terminaciones nerviosas no perciben temperatura, sino el flujo de calor. Por lo tanto, el metal, con su alta conductividad, se siente más frío que la madera a la misma temperatura. (Lechner, 2009)





### 8.5 Las barreras térmicas.

El mundo actual, pone al ser humano en una situación de constante estrés térmico. Cualquier barrera tan delgada como la piel tendrá gran dificultad de mantener una temperatura constante en el altamente cambiante ambiente en el que vivimos. Consecuentemente, barreras adicionales son necesarias para alcanzar el confort térmico. La vestimenta actúa como una capa de piel adicional, muchas veces no es suficiente para alcanzar el confort térmico. Los edificios o casas proveen un ambiente más moderado para el ser humano. (Lechner, 2009)

### 8.6 Tasa metabólica

Para mantener el equilibrio térmico vital, el cuerpo humano debe perder calor a la misma tasa a la que el mismo metabolismo lo produce. Esta producción de calor es en parte una función de la temperatura del exterior, pero mayormente es una función de la actividad. Una persona muy activa genera calor a una tasa de más de ocho veces que una persona en estado sedentario. La Figura 8.9 muestra la producción de calor relacionada con varias actividades. Para un mejor entendimiento intuitivo, el equivalente de producción térmica en términos de lámparas de 100 watts también se muestra en esta figura. (Lechner, 2009)

Figura 8.9. Producción de calor corporal por actividad

Activity	Heat Produced (Btu/h)	Watts
 Sleeping	340	100
 Light work	680	200
 Walking	1020	300
 Jogging	2720	800

Fuente: (Lechner, 2009)

## 8.7 Condiciones térmicas del ambiente

Para crear confort térmico, se debe entender no solo los mecanismos de disipación de calor del cuerpo humano, pero también las cuatro condiciones ambientales que permiten que el calor sea disipado. (Lechner, 2009)

Las cuatro condiciones son: Temperatura del aire, humedad, flujo de aire y temperatura radiante media. Todas estas condiciones afectan el cuerpo simultáneamente. Examinemos primero como cada una de estas condiciones afectan la tasa de pérdida de calor en los seres humanos.

- Temperatura del aire: La temperatura del aire determinará la tasa a la cual el calor es disipado al aire, mayormente por convección. Arriba de 37 °C, el flujo de calor se reversa y el cuerpo absorberá calor del aire. El rango de confort para la mayoría de personas se extiende de los 20°C en invierno a los 25°C en verano. El rango es amplio mayormente porque la vestimenta más cálida es utilizada en invierno. (Lechner, 2009)
- Humedad relativa: La evaporación de la humedad de la piel es ampliamente una función de la humedad del aire. El aire seco puede absorber rápidamente humedad de la piel, y la rápida vaporización resultará en el enfriamiento efectivo del cuerpo. Por otro lado, cuando la humedad relativa alcanza 100%, el aire está almacenando todo el vapor de agua que puede, y el enfriamiento por evaporación se detiene. Para el confort, la humedad relativa debe ser mayor al 20% todo el año, menor al 60% en verano y menor al 80% en invierno. Estos límites no son muy precisos, pero a niveles de humedad bajos habrán reclamos de nariz, bocas, ojos y piel secas, y hay un incremento en enfermedades respiratorias. La electricidad estática y el encogimiento de la madera también son problemas causados por la baja humedad. (Lechner, 2009)

La alta humedad en el ambiente no sólo reduce el enfriamiento por vaporización, pero también promueve la formación de humedad en la piel (sudor), el cual el cuerpo lo percibe como incomodo. Adicionalmente, también se produce la formación de moho. (Lechner, 2009)

- Flujo de aire: El flujo de aire afecta la tasa de pérdida de calor tanto por convección como por evaporación. Consecuentemente, la velocidad del aire tiene un efecto pronunciado en la pérdida de calor. En el verano es un gran activo, en el invierno es un gran problema. El rango cómodo es entre 20 hasta 60 pies por minuto (0.1 a 0.3 m/s). Desde 60 a 200 pies por minuto (0.3 a 1 m/s), el aire en movimiento es detectable pero aceptable, dependiendo de la actividad que se esté realizando. Arriba de este valor, el aire en movimiento puede ser molesto. (Lechner, 2009)
- Temperatura radiante media (TRM): Cuando la TRM difiere grandemente de la temperatura del aire, sus efectos deben ser considerados. Por ejemplo, cuando se está sentado frente a una ventana orientada hacia el sur en un día soleado en invierno, se llegará a sentir muy cálido, a pesar que la temperatura del aire esta en un rango cómodo de 24°C. Esto es debido a que los rayos solares incrementa la TRM a un nivel muy alto para el confort. En cuanto el sol cae, sin embargo, se puede sentir frío, a pesar que la temperatura del ambiente sigue en un rango cómodo de 24°C. (Lechner, 2009)

En este momento, el vidrio de la ventana más frío redujo la TRM demasiado, y por eso se experimenta una pérdida radiante neta. Es importante entender que la piel y la ropa no tienen una temperatura de 37°C, sino que varía grandemente con la temperatura del ambiente. Para visualizar el intercambio radiante, asumamos que la temperatura de la piel sea 27°C. En general, la meta es mantener el TRM cerca de la temperatura del aire en el ambiente. En un edificio bien asilado y bajo sombra el TRM será muy cercano a la temperatura del aire adentro. (Lechner, 2009)

## 9. LA ENERGÍA SOLAR EN GUATEMALA

### 9.1 El país y el reto de la sostenibilidad

Las autoridades del sector energético en Guatemala presentan que para 2011, 57% de la electricidad fue producida por plantas hidroeléctricas durante la temporada de lluvias y un 36% durante la temporada seca (Reporte Estadístico CNEE, 2012) (Apéndice A). El resto de la electricidad se produce a través de la quema de combustibles fósiles (en su mayoría plantas de carbón) y la quema de biomasa (bagazo de caña de azúcar en los Ingenios Azucareros). El término “energía renovable” se usa con frecuencia ya que la principal fuente para producir energía es la energía hidráulica, pero adicional a esta fuente, hay una inexistencia en el uso de otras fuentes renovables como la energía geotérmica, viento y energía solar. Entre 2003 y 2005 el presidente de turno, Alfonso Portillo, planteó “la ley de incentivos para el desarrollo de energías renovables” (Congreso de Guatemala, 2003), la cual fue aprobada por el Congreso, donde se otorgaron deducciones de impuestos a los inversionistas deseosos de invertir en estas áreas.

Desde ese momento, la mayoría de inversionistas siguieron con la tendencia preferencial de inclinarse por las plantas hidroeléctricas, creándose una capacidad adicional de 177MW proveniente de nuevos proyectos, y la biomasa, creándose una capacidad adicional de 66MW proveniente de nuevos proyectos (MEM 2006, 2006). Nada relevante ha sido realizado en cuestiones relacionadas con la energía solar o eólica. Respecto a la energía geotérmica, el potencial estimado que tiene el país con sus 33 volcanes es de 1,000MW, y únicamente el 3% de esta capacidad está siendo explotada actualmente, con 25MW de capacidad instalada.

El actual presidente, Otto Pérez declaró: “vamos a construir el parque solar más grande de Latinoamérica” (Diario de Centroamerica, 2013), en su viaje a España en marzo 2013, donde firmó una concesión para la construcción del parque solar al Grupo

Ortiz, una empresa española del sector, para producir 50MW de electricidad mediante paneles solares.

## **9.2 ¿Cómo están los precios de la electricidad en Guatemala?**

En términos de precios por kWh en Guatemala, de acuerdo al reporte estadístico para el sector eléctrico en Centroamérica, presentado por la comisión de la Naciones Unidas, CEPAL (CEPAL, 2010), el precio por kWh en Guatemala es de \$0.22, siendo este el precio más alto en la región centroamericana (Apéndice B). En 2011, el proyecto ARECA (Acelerando las inversiones en energías renovables en Centroamérica) fue creado por tres grandes entidades: El Banco de América Central para la integración económica (BCIE), el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM) y el programa para el desarrollo de las naciones unidas (PDNU). El principal objetivo de este proyecto es desarrollar un reporte comparativo de la estructura regulatoria, incentivos y sistemas tarifarios de la industria eléctrica en Centroamérica (ARECA, 2010), para asistir al inversionista interesado en desarrollar proyectos renovables y que así puedan tener un panorama general de la situación actual de cada país.

## **9.3 ¿Qué hay de la energía solar en Guatemala?**

Trabajando con el proyecto de las Naciones Unidas SWERA (Programa de evaluación de los recursos energéticos eólicos y solar), USAID y algunos socios de los países, el NREL (Laboratorio Nacional de Energías Renovables por sus siglas en inglés) ha provisto a los planificadores en Centroamérica y México con información en el potencial de sus recursos (NREL, 2010).

Este reporte muestra el potencial solar en Guatemala. De acuerdo con los mapas realizados por el NREL (Apéndice D y E), la radiación solar en Guatemala es en promedio 5.5kWh/m<sup>2</sup>/día. El promedio de radiación solar por año es de 5.5 kWh/día x 365 días al año, el total es de 2,007.5kWh/m<sup>2</sup>. Estos valores comparados con Alemania, quien es un principal exponente en cuestiones de energía solar residencial, son considerablemente mayores (casi el doble de la radiación solar en Alemania), ya que en Alemania se tiene una radiación máxima promedio de 1,200kWh/m<sup>2</sup> (Apéndice D y E).

Esto nos ayuda a concluir que en términos de potencial, las viviendas en Guatemala tienen la disponibilidad del sol como una fuente de energía renovable.

Todos los incentivos para las energías renovables en Guatemala, están orientadas a proyectos grandes, por ejemplo, el parque solar de la empresa española Grupo Ortiz. Para el inversionista individual, es decir, el propietario de una vivienda, no existe ningún incentivo vinculado a exoneraciones de impuestos o subsidios, así como tampoco para las empresas que importan los sistemas fotovoltaicos y calentadores solares que se comercializan en el país.

## **10. VIVIENDAS CERO ENERGÍA EN GUATEMALA**

### **10.1 Descripción general**

Guatemala es un pequeño país en Centroamérica, con una extensión territorial de 108,889 kilómetros cuadrados. Dada su geografía, el país cuenta con varios microclimas gracias a la gran variedad de altitudes encontradas a lo largo de la región. En el sur, la costa del Pacífico mantiene temperaturas en promedio de 30 °C; en el norte, las antiguas ciudades Mayas presentan bosques tropicales, cuyas temperaturas pueden llegar hasta los 35 °C; al oriente, bordeando el océano atlántico, El Salvador, Belice y Honduras, las temperaturas oscilan en un rango promedio de 30 °C y en la meseta central, dependiendo de la altitud donde se mida la temperatura, estas pueden oscilar entre 12°C hasta 25°C. La ciudad de Guatemala está ubicada en la meseta central; el clima está clasificado en dos categorías, la temporada lluviosa y la temporada seca. La temporada lluviosa abarca desde mayo hasta octubre, con una temperatura promedio de 19°C y la temporada seca abarca desde noviembre hasta abril con una temperatura promedio de 22°C, la ciudad está localizada a 1,500 metros sobre el nivel del mar. En general el país está catalogado como una región tropical húmeda.

### **10.2 Viviendas en Guatemala**

La gran mayoría de casas en Guatemala se construyen usando el sistema de mampostería confinada, utilizando blocks de concreto o ladrillo y en algunos casos ya se construyen las casas usando el sistema de moldes para fundir las paredes de concreto. En la actualidad, la mayoría de casas se construyen de block, con una capacidad a la compresión de 100kg/cm<sup>2</sup>. El grosor de las paredes está dado por el ancho de los blocks de concreto, el cual es de 15cm o 19cm. El sistema de confinamiento consiste en un sistema de columnas y vigas de concreto reforzado, con una capacidad a la compresión de 3,000 psi del concreto y acero grado 40 o 60. Las losas de entrepisos o techos, son losas de concreto reforzado o sistemas prefabricados, dependiendo del constructor. El espesor de las losas está dado por el cálculo estructural, y va desde 10cm en adelante dependiendo del diseño de la casa y la topografía del terreno, entre otros factores.

Es muy común que las casas utilicen sistemas de uPVC para la ventanería de las casas, con vidrio de 5mm de espesor. En algunos casos aún se usa la ventanería de aluminio anodizado o cromado dependiendo del gusto del cliente. En lugares como Antigua Guatemala se usa todavía ventanería de madera.

En general, el sistema constructivo en Guatemala no fomenta el uso de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado en las viviendas. Esto es debido a que el clima en el país no presenta temperaturas extremas que requieran de esos sistemas, por lo que independientemente del sistema constructivo que se utilice, no se utilizan sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para uso residencial. Estos sistemas sí son comunes en edificios de oficinas, gubernamentales o de uso industrial.

Debido a lo anterior, el consumo de un hogar promedio se basa esencialmente en el uso de electrodomésticos, aparatos eléctricos y los sistemas de calentadores de agua, bombas hidroneumáticas y portones eléctricos (Edminster, 2009). El consumo no está vinculado necesariamente al metraje de la casa, sino al comportamiento de consumo de casa familia. Influye grandemente el tipo de electrodomésticos que se usen en el hogar, ya que los certificados como energéticamente ahorradores (Energy Star) consumen considerablemente menos que los electrodomésticos que carecen de esta certificación. También si la iluminación es con focos CFL (Compact Fluorescent Light por sus siglas en inglés) o LED (Light Emitting Diode por sus siglas en inglés). De todo el consumo, el cual para la clase media en el país ronda los 100-300kWh por mes, entre un 40-50% de dicho consumo está vinculado al uso de calentadores eléctricos para agua. (Gutiérrez, 2013)

En la siguiente Tabla 10.1 se estimó el consumo de una familia promedio en Guatemala, se presenta el desglose de los valores que se recolectaron durante un mes de consumo eléctrico, tomando en cuenta todos los electrodomésticos, dispositivos electrónicos y todo aparato que se usa en el día a día que consume electricidad. El valor total cálculo es prácticamente idéntico al consumo en kWh enviado en la factura eléctrica

de dicho mes, por lo que se concluye que los valores son precisos y los cálculos son válidos.

Los valores se presentan a continuación:

Tabla 10.1. Consumo energético de una vivienda de 170m<sup>2</sup>

Consumo energético vivienda de 170m <sup>2</sup>				
Descripción	Watts	Por día (hr)	Por Mes (hr) 30 días	kWh por mes
Calentador de agua de paso	11,500 W	0.2	6	69
Secadora	5,720 W	---	4	22.88
Lavadora	660 W	---	4	2.64
Microondas	1,460 W	0.08	2.5	3.65
Refrigeradora Energy Star	1,650 W	0.58	17.4	28.7
Secadora de cabello	2,000 W	0.25	7.5	15
TV LCD 40"	151 W	5	150	22.65
Focos CFL (75W)	20 W	3	90	1.8
Focos CFL (40W)	11.5 W	0.16	4.8	0.05
Cafetera	900 W	0.05	1.5	1.35
Plancha	1500 W	---	1	1.5
Dos laptops (60W c/u)	120 W	1	30	3.6
3 Cargadores teléfonos 22W c/u	66 W	1	30	1.98
				174.8kWh

Fuente: Propia

### 10.3 Realidad o utopía

Podemos categorizar a una “casa o vivienda” en tres categorías principales: viviendas existentes, casas nuevas, o edificios (construcción vertical). La valuación que se realizó en este trabajo se enfoca en que tan viable es para los guatemaltecos agregar un sistema fotovoltaico a sus viviendas (independientemente si es una vivienda ya existente y o si es un proyecto nuevo). El análisis de edificios de apartamentos no será incluido en este análisis, ya que la disponibilidad de área de techos disponibles es limitada al nivel superior, así que otras medidas deben ser analizadas para este tipo de edificación, como usar sistemas fotovoltaicos en las ventanas.

De acuerdo a Ann Edminster, en su libro *Energy Free: Homes for a Small Planet*, la mejor manera de evaluar la viabilidad de un sistema fotovoltaico es estimar cual es la demanda energética de una casa. Esto tiene una relación directa al comportamiento de los

ocupantes, así como también al diseño, orientación de la casa, aislamiento térmico, tipo de electrodomésticos y los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. La construcción en Guatemala se hace con una estructura de mampostería de bloques de concreto, el uso de sistemas de calefacción, ventilación y AC no aplica en las viviendas, debido a que las temperaturas durante el año en el país son muy moderadas. Con esto en mente, se puede realizar una estimación del consumo energético en una casa, solo llevando control del consumo por ocupante, el cual está vinculado mayormente al uso de electrodomésticos, electrónicos y el calentador de agua (si es eléctrico). El diseño y la orientación de las casas puede ser analizado en algunos casos, pero este factor es difícilmente considerado debido a que la mayoría de lotificaciones no toman en consideración este factor durante la fase de planeación. El plan maestro de una urbanización está enfocado principalmente a maximizar las ganancias en la venta de las unidades sea el terreno o la casa completa.

Como la distribución de los terrenos o casas es realizada pensando en maximizar las utilidades, algunas casas van a tener una mejor orientación que otras. Por esta razón muchas casas en el mismo residencial pueden sentirse más calientes que otras durante el mismo día. En la mayoría de casos es debido a su orientación y ubicación. Sin embargo, esto no afecta considerablemente el consumo energético, ya que las casas no poseen sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, y la forma en la que las personas enfrentan esto es utilizando técnicas simples, como abrir las ventanas para aumentar la circulación del viento durante las horas más cálidas del día, utilizar ropa apropiada a la temperatura dentro de la casa, y en algunos casos utilizar ventiladores para crear el flujo de aire artificialmente. En climas fríos, muchas personas usan calentadores eléctricos o chimeneas para aumentar la temperatura en un ambiente durante la época fría.

#### **10.4 Pasos a seguir antes de considerar un sistema fotovoltaico**

Para lograr una vivienda cero-energía, las familias deben tomar ciertas acciones relacionadas a la demanda base mensual de su vivienda. El primer paso implica revisar el sistema de iluminación de la casa. Se debe considerar que el alambre tenga el calibre

adecuado para minimizar pérdidas, así como las bombillas que se están utilizando para alumbrar los ambientes en la casa. Este paso implica una inversión inicial, en el cambio de las bombillas incandescentes por bombillas CFL o LED. La inversión inicial no es excesivamente alta, y los ahorros en kWh consumidos por mes son significativos. Se puede ahorrar hasta un 80% del consumo por iluminación), considerando el hecho que las lámparas incandescentes producen únicamente un 7% de luz mientras que el restante 93% es desechado como pérdidas en forma de calor. Su duración es de 3,000 horas comparada con las bombillas CFL que pueden durar hasta 10,000 horas, y estas producen 22% de luz. Las bombillas LED son las más costosas, pero tienen una duración de hasta 50,000 horas y producen un 30% de luz (Lechner, 2009).

Los calentadores de agua son uno de los componentes más altos en el costo de la factura eléctrica cada mes (Gutierrez, 2013), llegando a representar casi un 38% del total de la factura eléctrica y de los kWh consumidos al mes. Utilizar calentadores solares se está volviendo muy popular en el país, precios en promedio están en alrededor de \$1,200 por calentador solar, lo cual puede llegar a reducir el consumo en calentamiento de agua en un 90% del total actual consumido utilizando un calentador eléctrico (de acuerdo a la información técnica de algunas empresas que venden dichos calentadores solares) (Green, 2013).

El último paso sería usar electrodomésticos que sean certificados como “Energy Star”. Todos los electrodomésticos que tienen dicho certificado fueron manufacturados de tal forma que su operación es más eficiente que un electrodoméstico que no lo tiene. Esto tiene una relevancia grande en cuestión del lavado de ropa y en la refrigeración. Los electrodomésticos etiquetados como “energéticamente eficientes” son más eficientes y consumen menos kWh por mes que un electrodoméstico normal. En la fase de diseño se pueden tomar ciertos pasos para reducir el consumo base. Una de ellas es diseñar aprovechando al máximo la iluminación natural, y diseñar una casa pensada para el clima donde estará localizada, para aprovechar al máximo fuentes naturales para calentamiento o para enfriamiento de los ambientes (Lechner, 2009). En Guatemala la mayoría de estos elementos pasivos son obviados y no tienen un impacto significativo en la carga base de

una vivienda, contrario a países que tienen estaciones bien definidas con climas extremos en algunos meses del año, donde considerar estos factores de diseño si es relevante en la carga base.

En promedio, de acuerdo a lo presentado por el reporte de ARECA para Guatemala, la información del Banco Mundial para 2010 indica que en Guatemala el consumo promedio es de 543kWh per cápita por año, lo cual es la mitad del promedio de la región de 1,124kWh per cápita por año (Banco Mundial, 2012). Esto significa que el consumo por mes *per cápita* es de aproximadamente 45kWh, una vivienda con una ocupación de 5 personas, tiene un promedio de 225kWh por mes. A pesar de que el costo por kWh es el más alto en Guatemala comparado con el resto de Centroamérica, el consumo sigue siendo menor que la media de la región. Esto plantea el escenario perfecto para evaluar la utilización de paneles fotovoltaicos para producir la electricidad de la vivienda.

### **10.5 Información general de un panel fotovoltaico**

Los paneles solares fotovoltaicos se componen de celdas que convierten la luz en electricidad. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, por lo que se produce un campo eléctrico con la capacidad de generar corriente. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas.

### **10.6 Funcionamiento de los paneles fotovoltaicos**

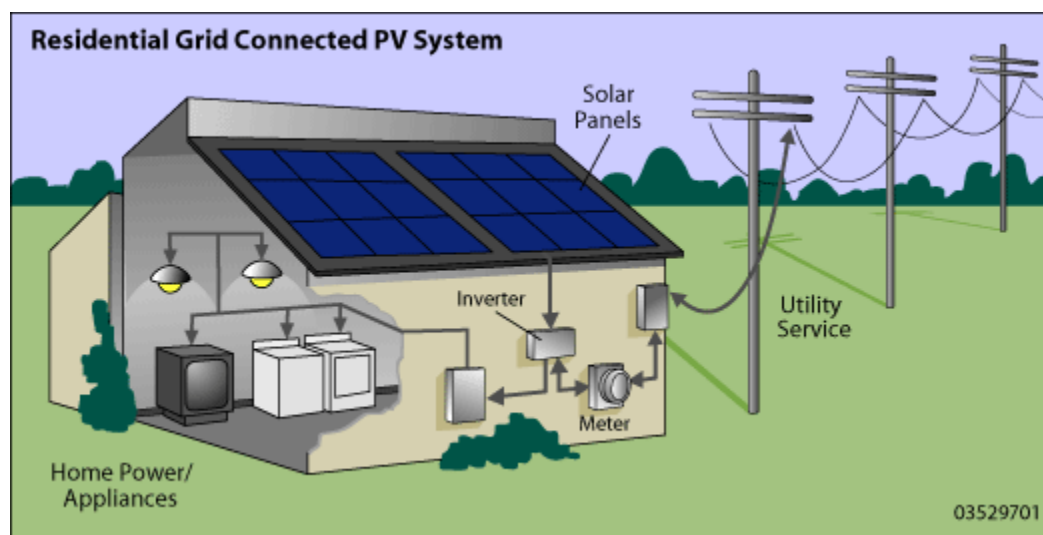
Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio. Los electrones, sub partículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados. (Más detalle en Apéndice G)

Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Se ha de comentar que, así como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa, los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.

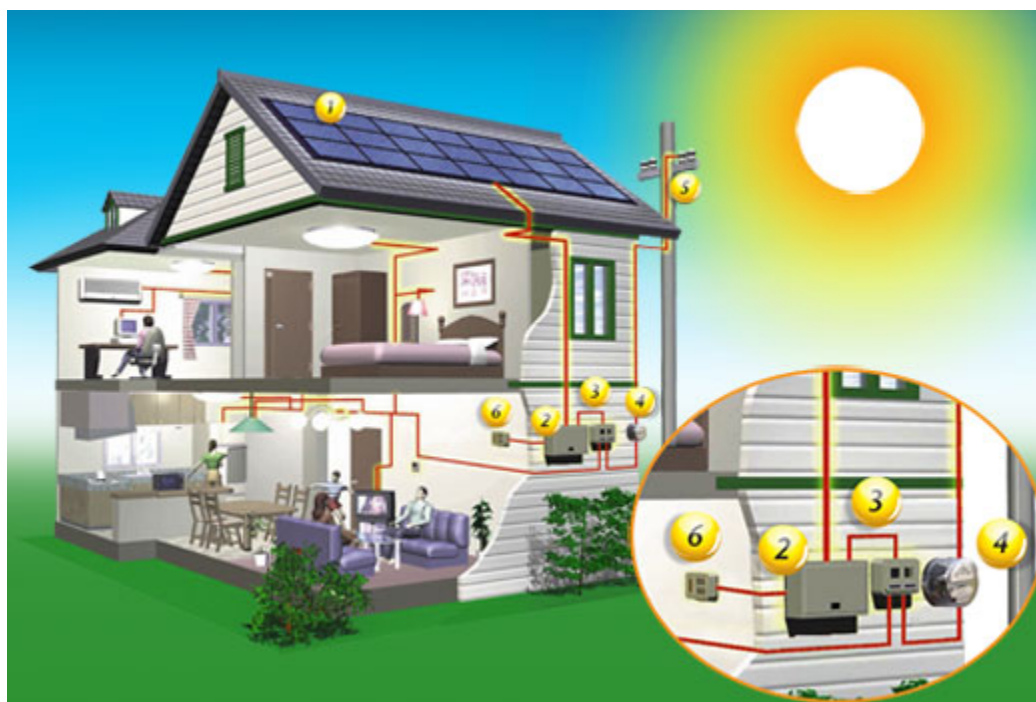
La corriente continua se lleva a un circuito electrónico convertidor (inversor) que transforma la corriente continua en corriente alterna, (tipo de corriente disponible en el suministro eléctrico de cualquier hogar) de 120 o 220 voltios. La potencia de AC entra en el panel eléctrico de la casa. La electricidad generada se distribuye a la línea de distribución para ser utilizada en las instalaciones de la vivienda (ver Figura 10.1 y 10.2).

Figura 10.1. Aparatos conectados a una instalación fotovoltaica domiciliar



Fuente: ([energyeducation.tx.gov](http://energyeducation.tx.gov), 2013)

Figura 10.2. Diagrama de un sistema fotovoltaico en una vivienda



*Fuente: (Siemens, 2013)*

### 10.7 Actualidad de los paneles fotovoltaicos en Guatemala

Antes de contestar esta pregunta, un punto importante es que en Guatemala, las empresas productoras de energía no tienen ninguna legislación o incentivo que promueva o forcé a dichas empresas para que paguen a los individuos auto productores por cada kWh que generan utilizando sistemas fotovoltaicos conectados a red. Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos deben estimarse para que cubran un máximo del 80 a 90% de la demanda mensual, ya que cualquier excedente que se inyecte a la red será prácticamente regalado a la empresa de electricidad.

Los sistemas fotovoltaicos en Guatemala, son distribuidos y comercializados por 5 empresas principales, por cuestiones de derechos de confidencialidad, se omitió el nombre real de las empresas, únicamente se indica el origen de los paneles, costos y garantías. Empresa A (Española), Empresa B (China), Empresa C (China), Empresa D (China) y Empresa E (Americana).

Los precios se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 10.2. Empresas que comercializan sistemas fotovoltaicos

<b>Empresas comercializan sistemas fotovoltaicos en Guatemala</b>					
Descripción	A	B	C	D	E
Sistema PV	1.1kWh	1.68kWh	1kWh	1.53kWh	1kWh
Precio	\$3,375	\$5,500	\$4,000	\$4,500	\$4,300
Origen	China	China	E.E.U.U.	China	España
Garantía	5	25	25	30	25
Energía Mensual (kWh)	175	227.5	131	200	150
USD / kWh	3.06	3.27	4.00	3.00	4.30

*Fuente: Propia*

La factura eléctrica para una vivienda que consume 200kWh por mes es de aproximadamente \$50 (\$0.22/kWh mas cargos adicionales por alumbrado público e impuestos). Usando un sistema fotovoltaico de 160kWh, produciría aproximadamente un 80% de la demanda mensual, requiriendo una inversión inicial de \$3,500.

Para un consumo de 40kWh al mes, la factura tiene una tarifa social, con un costo menor a los \$0.22/kWh. La tarifa social es de aproximadamente \$0.125kWh, así que para un consumo de 40kWh el total a pagar es de \$5 por mes. Esto representa un ahorro por mes de \$45, lo cual representa \$540 al año. El tiempo de recuperación de la inversión sería de  $\$3,500/\$540 = 6.5$  años.

El costo promedio de los sistemas fotovoltaicos residenciales en E.E.U.U. va entre \$8 y \$10 por kilovatio instalado. Al agregar incentivos, créditos en impuestos y subsidios que se ofrecen en el mercado de E.E.U.U., el costo por kilovatio instalado se reduce hasta una cifra de \$2.50. (U.S. Department of Energy, 2009). El costo por kilovatio instalado en Guatemala es en promedio de \$3.50, el cual es muy cercano al precio en E.E.U.U. el cual es de \$2.50 ya con incentivos y créditos en impuestos.

La siguiente pregunta es, ¿si se ve tan atractivo todo el escenario, por que las personas no están abrazando esta tecnología de forma inmediata? Para contestar esta pregunta, es importante realizar un análisis de la estratigrafía socio económica del país. De acuerdo al Dr. Guillermo Díaz (Díaz, 2012) (Apéndice C), las clases media y alta en Guatemala representan apenas un 17% de la población total. La clase media comprende técnicos, profesionales jóvenes con algún título universitario y staff de oficinas en rangos administrativos medios. La clase alta, incluye empresarios, altos ejecutivos y profesionales con alto nivel académico.

No es de sorprenderse que únicamente el 17% de la población pertenezcan a un estrato de ingresos que les pueda permitir realizar una inversión inicial en un sistema fotovoltaico. La siguiente pregunta sería, ¿por qué este 17% de la población no están optando por estos sistemas, si los números son tan atractivos? La respuesta es porque la mayoría de personas no han escuchado que esta tecnología está disponible. El consumidor de hoy está consciente de la existencia en el mercado de los calentadores solares, esto se ve reflejado en que el consumidor que esta por comprar o construir su casa nueva solicita que se deje la instalación preparada para poder conectar un calentador solar. La sorpresa es que este mismo grupo objetivo no conoce mucho sobre los sistemas fotovoltaicos para producir su propia electricidad.

En la actualidad las empresas que comercializan los sistemas fotovoltaicos están invirtiendo en medios para comunicar al consumidor de la existencia de los sistemas fotovoltaicos y sus beneficios. Un dilema muy común es que el cliente que pueda considerar la inversión en un sistema fotovoltaico debe decidir entre el sistema fotovoltaico versus más metros cuadrados de construcción, o ciertas amenidades tinas, jacuzzis, etc. El reto entonces es cómo hacerlos conscientes del bien que estarían realizando al planeta más allá del ahorro a largo plazo, como para que consideren realizar esta inversión. Las buenas noticias son que los sistemas fotovoltaicos están bajando de precio con el paso del tiempo, quizás algunos clientes construyan su casa hoy y luego en unos años realicen la compra del sistema fotovoltaico.

Algunos clientes solicitan financiamiento para construir sus casas, y analizando, se puede ver que agregar el costo del sistema fotovoltaico al saldo a financiar a 15-20 años agrega un incremento mínimo a la amortización mensual por el pago de la casa. Haciendo un ejemplo vemos que para alguien solicitando \$100,000 para construir su casa de 285m<sup>2</sup>, da un pago mensual de \$878. Si se agrega el costo del sistema fotovoltaico de \$3,500, el préstamo sería por \$103,500. El pago mensual sería de \$910, un incremento de únicamente \$35 por mes. Si consideramos el ahorro mensual en la factura eléctrica, de \$45, el cliente tendrá un balance favorable de \$13 por mes.

Los valores juegan bien, y se ve muy atractivo para el mercado del 17% en Guatemala. Adicional al factor monetario, como Ann Edminster dijo en su libro: «el gran crecimiento en la demanda de casas Cero Energía está siendo motivado por dos factores, uno es el cambio climático, debido al incremento en la emisión de los gases que producen el efecto invernadero, y segundo, el fenómeno del pico petrolero, basado en la creencia que la humanidad ha pasado el punto donde se podrá seguir extrayendo crudo de una forma económicamente viable de la Tierra». (Edminster, 2009).

## **10.8 Otros factores a considerar**

El primer factor que los clientes siempre analizan es el costo de la inversión inicial, pero existen dos factores adicionales que los clientes analizan a la hora de sopesar la instalación de un sistema fotovoltaico, los cuales son la durabilidad y confiabilidad y la estética. En cuanto a durabilidad y confiabilidad, los clientes quieren tener la certeza que el producto tendrá el rendimiento ofrecido, y que no se dañará fácilmente, especialmente si optan por las opciones que implican financiar la compra del sistema. Las personas normalmente asocian los paneles solares con vidrio, por lo tanto la percepción es que es un sistema frágil. El reporte de la NREL, “asegurando la calidad de los paneles solares”, declara que los clientes para los sistemas fotovoltaicos necesitan tener confianza en el sistema que compraron” (Kurtz, Ensuring Quality of PV Panels, 2011). Actualmente, no existen pruebas que puedan cuantificar la vida útil de los paneles con cierto margen de

confianza, algunas investigaciones están siendo realizadas, y la necesidad de la seguridad en la calidad es una necesidad.

Actualmente, cada compañía que manufactura los paneles tiene sus propios estándares de calidad. Debido a que no existe ningún procedimiento formal para la certificación de calidad por lo estándares IEC, no hay una forma simple para que los clientes de los sistemas fotovoltaicos puedan evaluar los procesos de control de calidad de las empresas que manufacturan dichos paneles. Esto presenta un gran reto para las empresas al ofrecer las garantías de hasta 25 años. Debido a que el control de calidad sigue siendo realizado por las mismas empresas, estas deben tener controles estrictos y estándares para poder alcanzar niveles de calidad altos, para evitar que productos de baja calidad puedan dañar su reputación. Hay mucho trabajo que realizar en este asunto concerniente a la calidad basada en estándares aceptados internacionalmente.

El otro factor que los clientes analizan es el relacionado con la estética. Muchos clientes cuestionan como el sistema fotovoltaico va a afectar el diseño arquitectónico de la casa. En casas con diseños minimalistas o modernos, con líneas rectas y techos planos, los paneles se pueden instalar en una base en el techo los cuales serán difícilmente visibles por las personas. En los diseños más coloniales, donde existen muchos techos inclinados, los paneles si son visibles, y esto preocupa a muchos clientes que quieren que su diseño se luzca. Las buenas noticias son, que como el reporte de la NREL declara: «históricamente, las empresas de paneles solares han controlado el costo manufacturando pocos diseños disponibles. Recientemente, los volúmenes grandes en la producción han permitido la diversificación, así como la gran competencia en el mercado, ha llevado a la creación de una mayor variedad en productos» (Kurtz, The Challenge to Move from "one size fits all", 2011). Esto significa que las empresas está tomando este factor en consideración, para que en el futuro cercano, esto deje de ser una preocupación. En caso del mercado de Guatemala, debido a que los kWh necesarios para cubrir la demanda mensual es baja, esto implica que el área necesaria de techos para la colocación de los paneles es pequeña, permitiendo acomodar los paneles de tal forma que no afecten la fachada ni el diseño arquitectónico de la casa.

## 11. ANÁLISIS FINANCIERO

### 11.1 Descripción general

Es importante conocer el mercado inmobiliario en Guatemala, para lograr concluir qué tan viable es tener una vivienda auto productora de electricidad, de tal forma que pueda convertirse en una vivienda cero energía. Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta, de acuerdo a como lo describe la Ing. Claudia Lima en su Megaproyecto (Lima, 2012) donde realizó una comparación entre la energía eólica y la energía solar en Guatemala, es la cantidad de radiación solar que se recibe en el territorio nacional, tomando en cuenta las distintas estaciones a lo largo del año. De acuerdo a este análisis, y como lo indican los mapas solares para distintas regiones elaborados por el NREL (Laboratorio Nacional de Energías Renovables en E.E.U.U. por sus siglas en inglés), la radiación promedio en el territorio guatemalteco a lo largo del año, específicamente en la región central, es de 5.5kWh/m<sup>2</sup>/día, lo que coincide con los valores presentados por el Ing. Paul Wagner en su Megaproyecto sobre matrices energéticas en proyectos de pequeña demanda (Wagner, 2012).

Este valor es un promedio el cual se basa en imágenes satelitales y de la superficie tomados a lo largo del año, lo cual establece un valor promedio de las horas de radiación por día. Durante los días de verano, las horas de radiación solar alcanzan las 8 horas, mientras que en época de lluvia pueden ser únicamente 3 horas al día, dando un promedio a lo largo del año de 5.5 horas de radiación solar al día. Para un sistema fotovoltaico que produce 1 kWp, esto representa un total por día de 5.5 kWh/día, el cual es el valor utilizado en el presente análisis.

Se analizaron tres escenarios. Cada escenario presenta la opción de incluir el costo de los sistemas fotovoltaicos dentro del monto total que el banco va a financiar versus la opción de no incluir el sistema fotovoltaico. También se presenta un cuadro comparativo del caso cuando el cliente puede comprar el sistema fotovoltaico de contado.

### 11.2 Escenario 1.

La primera opción es una vivienda clase baja, de 60m<sup>2</sup> de construcción.

<b>Tabla 11. 1. CASO No. 1</b>	
VIVIENDA	60M2
OCUPACIÓN	4 PERSONAS
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL	87kWh
FACTURA PROMEDIO MENSUAL	USD12
INGRESO FAMILIAR PROMEDIO	USD500
PERSONAS GENERANDO INGRESO	2 PERSONAS

Esta vivienda que se estimó tiene un costo total incluyendo el terreno y la casa de USD20,000. El costo del sistema fotovoltaico para generar 80kWh al mes, requiere una inversión de USD1,500. El enganche requerido según las regulaciones de los bancos comerciales de Guatemala, debe ser del 20% del valor total de la propiedad, en este caso da un valor de USD4,300 mas los gastos de cierre, dando un total de USD4,500.

<b>Tabla 11.2. Precio venta casa 60m<sup>2</sup> (USD)</b>			
<b>PRECIO</b>	<b>PANEL</b>	<b>ENGANCHE</b>	<b>SALDO</b>
20000	1500	4500	17000

En la Tabla 11.3, se analiza el escenario donde el sistema fotovoltaico está incluido dentro del monto total de la negociación, con la finalidad de financiar dicha inversión dentro del total de la vivienda. Se muestra el desglose de las cuotas que genera el banco al solicitar el saldo a financiar de USD17,000 a un periodo de 20 años con una tasa del 7.5% de interés anual (en la Tabla 11.3 se muestra únicamente el primer año de cuotas). Está el dato de los pagos por concepto de seguros mensuales.

<b>Tabla 11.3. Cuadro financiamiento casa 60m2 (USD)</b>							
<b>Mes</b>	<b>Saldo de capital</b>	<b>Capital</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Seguro de vida</b>	<b>Seguro de vivienda</b>	<b>Total</b>
1	17000.00	30.70	106.25	136.95	7.08	72.00	216.03
2	16969.30	30.89	106.06	136.95	7.07	0.00	144.02
3	16938.41	31.08	105.87	136.95	7.06	0.00	144.01
4	16907.33	31.28	105.67	136.95	7.04	0.00	143.99
5	16876.05	31.47	105.48	136.95	7.03	0.00	143.98
6	16844.58	31.67	105.28	136.95	7.02	0.00	143.97
7	16812.91	31.87	105.08	136.95	7.01	0.00	143.96
8	16781.04	32.07	104.88	136.95	6.99	0.00	143.94
9	16748.97	32.27	104.68	136.95	6.98	0.00	143.93
10	16716.70	32.47	104.48	136.95	6.97	0.00	143.92
11	16684.23	32.67	104.28	136.95	6.95	0.00	143.90
12	16651.56	32.88	104.07	136.95	6.94	0.00	143.89

<b>Tabla 11.4. Precio venta casa 60m2</b>			
<b>PRECIO</b>	<b>PANEL</b>	<b>ENGANCHE</b>	<b>SALDO</b>
20000	0	4000	16000

En la siguiente Tabla 11.5 se muestran los valores del financiamiento cuando se compra la vivienda sin incluir el sistema fotovoltaico, únicamente el saldo a financiar luego de abonar el enganche (en la Tabla 11.5 se muestra el primer año únicamente).

<b>Tabla 11.5. Cuadro financiamiento casa 60m2 (USD)</b>							
<b>Mes</b>	<b>Saldo de capital</b>	<b>Capital</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Seguro de vida</b>	<b>Seguro de vivienda</b>	<b>Total</b>
1	16000.00	28.89	100.00	128.89	6.67	66.98	202.54
2	15971.11	29.07	99.82	128.89	6.65	0.00	135.54
3	15942.04	29.25	99.64	128.89	6.64	0.00	135.53
4	15912.79	29.44	99.45	128.89	6.63	0.00	135.52
5	15883.35	29.62	99.27	128.89	6.62	0.00	135.51
6	15853.73	29.80	99.09	128.89	6.61	0.00	135.50
7	15823.93	29.99	98.90	128.89	6.59	0.00	135.48
8	15793.94	30.18	98.71	128.89	6.58	0.00	135.47
9	15763.76	30.37	98.52	128.89	6.57	0.00	135.46
10	15733.39	30.56	98.33	128.89	6.56	0.00	135.45
11	15702.83	30.75	98.14	128.89	6.54	0.00	135.43
12	15672.08	30.94	97.95	128.89	6.53	0.00	135.42

En esta Tabla 11.6, se presentan las diferencias que se generan al incluir el sistema fotovoltaico dentro del saldo a financiar con el banco. Al tener las diferencias podemos hacer una comparación más real del verdadero ahorro generado por producir electricidad en casa.

<b>Tabla 11.6. Costos resultado del financiamiento</b>					
<b>Diferencia capital</b>	<b>Diferencia intereses</b>	<b>Diferencia seguro vida</b>	<b>Diferencia seguro casa</b>	<b>Total</b>	<b>Ahorro</b>
1.81	6.25	0.42	5.02	13.50	19.00
1.82	6.24	0.42	0.00	8.48	19.00
1.83	6.23	0.42	0.00	8.48	19.00
1.84	6.22	0.41	0.00	8.47	19.00
1.85	6.21	0.41	0.00	8.47	19.00
1.87	6.19	0.41	0.00	8.47	19.00
1.88	6.18	0.41	0.00	8.47	19.00
1.89	6.17	0.41	0.00	8.47	19.00
1.90	6.16	0.41	0.00	8.47	19.00
1.91	6.15	0.41	0.00	8.47	19.00
1.92	6.14	0.41	0.00	8.47	19.00
1.94	6.12	0.41	0.00	8.47	19.00
<b>22.46</b>	<b>74.26</b>	<b>4.95</b>	<b>5.02</b>	<b>106.69</b>	<b>228.00</b>

En la Tabla 11.7, se muestran el análisis de Valor Presente Neto. Se compara la opción de pagar de contado el sistema fotovoltaico versus la opción de incluir el sistema fotovoltaico dentro del monto a financiar con el banco.

<b>TABLA 11.7. Análisis casa 60M2</b>			
<b>CONTADO</b>		<b>FINANCIADO</b>	
<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>
0	(\$1.500.00)	0	(\$1.500.00)
1	\$230.00	1	\$121.00
2	\$230.00	2	\$121.00
3	\$230.00	3	\$121.00
4	\$230.00	4	\$121.00
5	\$230.00	5	\$121.00
6	\$230.00	6	\$121.00
7	\$230.00	7	\$121.00
8	\$230.00	8	\$121.00
9	\$230.00	9	\$121.00
10	\$230.00	10	\$121.00
11	\$230.00	11	\$121.00
12	\$230.00	12	\$121.00
13	\$230.00	13	\$121.00
14	\$230.00	14	\$121.00
15	\$230.00	15	\$121.00
16	\$230.00	16	\$121.00
17	\$230.00	17	\$121.00
18	\$230.00	18	\$121.00
19	\$230.00	19	\$121.00
20	\$230.00	20	\$121.00
<b>TMAR</b>	<b>4%</b>	<b>TMAR</b>	<b>4%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$1.625.78</b>	<b>VPN</b>	<b>\$144.43</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>5%</b>

Se puede concluir que disponer de los recursos para invertir en el sistema fotovoltaico al contado genera un periodo de retorno de 7 años, mientras que incluir el costo del sistema fotovoltaico dentro del monto a financiar de la compra de la casa tendría un periodo de recuperación de 12 años debido a los costos extras generados de intereses y seguros respecto a la opción de financiamiento sin los paneles solares.

### 11.3 Escenario 2.

La segunda opción es una vivienda clase media, de 170m<sup>2</sup> de construcción.

<b>Tabla 11.8. CASO No. 2</b>	
<b>VIVIENDA</b>	<b>170M2</b>
<b>OCUPACIÓN</b>	<b>4 PERSONAS</b>
<b>CONSUMO PROMEDIO MENSUAL</b>	<b>165kWh</b>
<b>FACTURA PROMEDIO MENSUAL</b>	<b>USD45</b>
<b>INGRESO FAMILIAR PROMEDIO</b>	<b>USD3,750</b>
<b>PERSONAS QUE GENERAN INGRESO</b>	<b>2 PERSONAS</b>

Esta vivienda se estimó tiene un costo total incluyendo el terreno y la casa de USD100,000. El costo del sistema fotovoltaico para generar 160kWh al mes, requiere una inversión de USD3,500. El enganche requerido según las regulaciones de los bancos comerciales de Guatemala, debe ser del 20% del valor total de la propiedad, en este caso da un valor de USD20,700 mas los gastos de cierre, dando un total de USD21,000.

<b>Tabla 11.9. Precio venta casa 170m<sup>2</sup> (USD)</b>			
<b>PRECIO</b>	<b>PANEL</b>	<b>ENGANCHE</b>	<b>SALDO</b>
100000	3500	21000	82500

En la Tabla 11.10, se analiza el escenario donde el sistema fotovoltaico está incluido dentro del monto total de la negociación, con la finalidad de financiarlo dentro del total de la vivienda. Se muestra el desglose de las cuotas que genera el banco al solicitar el saldo a financiar de USD82,500 a un periodo de 20 años con una tasa del 7.5% de interés anual (La Tabla 11.10 muestra el primer año de cuotas). Está el dato de los pagos por concepto de seguros mensuales.

<b>Tabla 11.10. Cuadro financiamiento casa 170m2 (USD)</b>							
<b>Mes</b>	<b>Saldo de capital</b>	<b>Capital</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Seguro de vida</b>	<b>Seguro de vivienda</b>	<b>Total</b>
1	82500.00	148.98	515.63	664.61	34.38	32.61	731.60
2	82351.02	149.92	514.69	664.61	34.31	32.61	731.53
3	82201.10	150.85	513.76	664.61	34.25	32.61	731.47
4	82050.25	151.80	512.81	664.61	34.19	32.61	731.41
5	81898.45	152.74	511.87	664.61	34.12	32.61	731.34
6	81745.71	153.70	510.91	664.61	34.06	32.61	731.28
7	81592.01	154.66	509.95	664.61	34.00	32.61	731.22
8	81437.35	155.63	508.98	664.61	33.93	32.61	731.15
9	81281.72	156.60	508.01	664.61	33.87	32.61	731.09
10	81125.12	157.58	507.03	664.61	33.80	32.61	731.02
11	80967.54	158.56	506.05	664.61	33.74	32.61	730.96
12	80808.98	159.55	505.06	664.61	33.67	32.61	730.89

<b>Tabla 11.11. Precio venta casa 170m2 (USD)</b>			
<b>PRECIO</b>	<b>PANEL</b>	<b>ENGANCHE</b>	<b>SALDO</b>
100000	0	20000	80000

En la siguiente Tabla 11.12 se muestran los valores del primer año del financiamiento cuando se compra la vivienda sin incluir el sistema fotovoltaico, únicamente el saldo a financiar luego de abonar el enganche.

Mes	Saldo de capital	Capital	Intereses	Cuota	Seguro de vida	Seguro de vivienda	Total
1	80000.00	144.47	500.00	644.47	33.33	31.51	709.31
2	79855.53	145.37	499.10	644.47	33.27	31.51	709.25
3	79710.16	146.28	498.19	644.47	33.21	31.51	709.19
4	79563.88	147.20	497.27	644.47	33.15	31.51	709.13
5	79416.68	148.12	496.35	644.47	33.09	31.51	709.07
6	79268.56	149.04	495.43	644.47	33.03	31.51	709.01
7	79119.52	149.97	494.50	644.47	32.97	31.51	708.95
8	78969.55	150.91	493.56	644.47	32.90	31.51	708.88
9	78818.64	151.85	492.62	644.47	32.84	31.51	708.82
10	78666.79	152.80	491.67	644.47	32.78	31.51	708.76
11	78513.99	153.76	490.71	644.47	32.71	31.51	708.69
12	78360.23	154.72	489.75	644.47	32.65	31.51	708.63

En esta Tabla 11.13, se presentan las diferencias que se generan al incluir el sistema fotovoltaico dentro del saldo a financiar con el banco. Al tener las diferencias podemos hacer una comparación más real del verdadero ahorro generado por producir electricidad en casa.

Diferencia capital	Diferencia intereses	Diferencia seguro vida	Diferencia seguro vivienda	TOTAL	AHORRO
4.51	15.63	1.04	1.10	22.28	45.00
4.55	15.59	1.04	1.10	22.28	45.00
4.57	15.57	1.04	1.10	22.28	45.00
4.60	15.54	1.04	1.10	22.28	45.00
4.62	15.52	1.03	1.10	22.27	45.00
4.66	15.48	1.03	1.10	22.27	45.00
4.69	15.45	1.03	1.10	22.27	45.00
4.72	15.42	1.03	1.10	22.27	45.00
4.75	15.39	1.03	1.10	22.27	45.00
4.78	15.36	1.02	1.10	22.26	45.00
4.80	15.34	1.02	1.10	22.26	45.00
4.83	15.31	1.02	1.10	22.26	45.00
<b>56.08</b>	<b>185.60</b>	<b>12.37</b>	<b>13.20</b>	<b>267.25</b>	<b>540.00</b>

En la Tabla 11.14, se muestran el análisis de Valor Presente Neto. Se compara la opción de pagar de contado el sistema fotovoltaico versus la opción de incluir el sistema fotovoltaico dentro del monto a financiar con el banco.

<b>TABLA 11.14. Análisis casa 170M2</b>			
<b>CONTADO</b>		<b>FINANCIADO</b>	
<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>
0	(\$3.500.00)	0	(\$3.500.00)
1	\$540.00	1	\$273.00
2	\$540.00	2	\$273.00
3	\$540.00	3	\$273.00
4	\$540.00	4	\$273.00
5	\$540.00	5	\$273.00
6	\$540.00	6	\$273.00
7	\$540.00	7	\$273.00
8	\$540.00	8	\$273.00
9	\$540.00	9	\$273.00
10	\$540.00	10	\$273.00
11	\$540.00	11	\$273.00
12	\$540.00	12	\$273.00
13	\$540.00	13	\$273.00
14	\$540.00	14	\$273.00
15	\$540.00	15	\$273.00
16	\$540.00	16	\$273.00
17	\$540.00	17	\$273.00
18	\$540.00	18	\$273.00
19	\$540.00	19	\$273.00
20	\$540.00	20	\$273.00
<b>TMAR</b>	<b>4%</b>	<b>TMAR</b>	<b>4%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$3.838.78</b>	<b>VPN</b>	<b>\$210.16</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>5%</b>

Se puede concluir que disponer de los recursos para invertir en el sistema fotovoltaico al contado genera un periodo de retorno de 7 años, mientras que incluir el costo del sistema fotovoltaico dentro del monto a financiar de la compra de la casa tendría un periodo de recuperación de 13 años debido a los costos extras generados de intereses y seguros respecto a la opción de financiamiento sin los paneles solares.

### 11.4 Escenario 3.

La tercera opción es una vivienda clase alta, de 340m2 de construcción.

<b>Tabla 11.15. CASO No. 3</b>	
<b>VIVIENDA</b>	<b>340M2</b>
<b>OCUPACIÓN</b>	<b>4 PERSONAS</b>
<b>CONSUMO PROMEDIO MENSUAL</b>	<b>440kWh</b>
<b>FACTURA PROMEDIO MENSUAL</b>	<b>USD140</b>
<b>INGRESO FAMILIAR PROMEDIO</b>	<b>Q30000</b>
<b>PERSONAS QUE GENERAN INGRESO</b>	<b>2 PERSONAS</b>

Esta vivienda se estimó tiene un costo total incluyendo el terreno y la casa de USD200,000. El costo del sistema fotovoltaico para generar 320kWh al mes, requiere una inversión de USD7,000. El enganche requerido según las regulaciones de los bancos comerciales de Guatemala, debe ser del 20% del valor total de la propiedad, en este caso da un valor de USD41,400 mas los gastos de cierre, dando un total de USD41,500.

<b>Tabla 11.16. Precio venta casa 340m2 (USD)</b>			
<b>PRECIO</b>	<b>PANEL</b>	<b>ENGANCHE</b>	<b>SALDO</b>
200000	7000	41500	165500

En la Tabla 11.17, se analiza el escenario donde el sistema fotovoltaico está incluido dentro del monto total de la negociación, con la finalidad de financiar dicha inversión dentro del total de la vivienda. Se muestra el desglose de las cuotas que genera el banco al solicitar el saldo a financiar de USD165,500 a un periodo de 20 años con una tasa del 7.5% de interés anual (La Tabla 11.17 muestra el primer año de cuotas). Está el dato de los pagos por concepto de seguros mensuales.

<b>Tabla 11.17. Cuadro financiamiento casa 340m2 (USD)</b>							
<b>Mes</b>	<b>Saldo de capital</b>	<b>Capital</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Seguro de vida</b>	<b>Seguro de vivienda</b>	<b>Total</b>
1	165500.00	298.88	1034.38	1333.26	68.96	65.22	1467.44
2	165201.12	300.75	1032.51	1333.26	68.83	65.22	1467.31
3	164900.37	302.63	1030.63	1333.26	68.71	65.22	1467.19
4	164597.74	304.52	1028.74	1333.26	68.58	65.22	1467.06
5	164293.22	306.43	1026.83	1333.26	68.46	65.22	1466.94
6	163986.79	308.34	1024.92	1333.26	68.33	65.22	1466.81
7	163678.45	310.27	1022.99	1333.26	68.20	65.22	1466.68
8	163368.18	312.21	1021.05	1333.26	68.07	65.22	1466.55
9	163055.97	314.16	1019.10	1333.26	67.94	65.22	1466.42
10	162741.81	316.12	1017.14	1333.26	67.81	65.22	1466.29
11	162425.69	318.10	1015.16	1333.26	67.68	65.22	1466.16
12	162107.59	320.09	1013.17	1333.26	67.54	65.22	1466.02

<b>Tabla 11.18. Precio venta casa 340m2 (USD)</b>			
<b>PRECIO</b>	<b>PANEL</b>	<b>ENGANCHE</b>	<b>SALDO</b>
200000	0	40000	160000

En la siguiente Tabla 11.19 se muestran los valores del financiamiento cuando se compra la vivienda sin incluir el sistema fotovoltaico, únicamente el saldo a financiar luego de abonar el enganche.

<b>Tabla 11.19. Cuadro financiamiento casa 340m2 (USD)</b>							
<b>Mes</b>	<b>Saldo de capital</b>	<b>Capital</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Seguro de vida</b>	<b>Seguro de vivienda</b>	<b>Total</b>
1	160000.00	288.95	1000.00	1288.95	66.67	63.01	1418.63
2	159711.05	290.76	998.19	1288.95	66.55	63.01	1418.51
3	159420.29	292.57	996.38	1288.95	66.43	63.01	1418.39
4	159127.72	294.40	994.55	1288.95	66.30	63.01	1418.26
5	158833.32	296.24	992.71	1288.95	66.18	63.01	1418.14
6	158537.08	298.09	990.86	1288.95	66.06	63.01	1418.02
7	158238.99	299.96	988.99	1288.95	65.93	63.01	1417.89
8	157939.03	301.83	987.12	1288.95	65.81	63.01	1417.77
9	157637.20	303.72	985.23	1288.95	65.68	63.01	1417.64
10	157333.48	305.62	983.33	1288.95	65.56	63.01	1417.52
11	157027.86	307.53	981.42	1288.95	65.43	63.01	1417.39
12	156720.33	309.45	979.50	1288.95	65.30	63.01	1417.26

En esta Tabla 11.20, se presentan las diferencias que se generan al incluir el sistema fotovoltaico dentro del saldo a financiar con el banco. Al tener las diferencias podemos hacer una comparación más real del verdadero ahorro generado por producir electricidad en casa.

<b>Tabla 11.20. Costos resultado del financiamiento</b>					
<b>Diferencia capital</b>	<b>Diferencia intereses</b>	<b>Diferencia seguro vida</b>	<b>Diferencia seguro vivienda</b>	<b>TOTAL</b>	<b>AHORRO</b>
9.93	34.38	2.29	2.21	48.81	90.00
9.99	34.32	2.29	2.21	48.81	90.00
10.06	34.25	2.28	2.21	48.80	90.00
10.12	34.19	2.28	2.21	48.80	90.00
10.19	34.12	2.27	2.21	48.79	90.00
10.25	34.06	2.27	2.21	48.79	90.00
10.31	34.00	2.27	2.21	48.79	90.00
10.38	33.93	2.26	2.21	48.78	90.00
10.44	33.87	2.26	2.21	48.78	90.00
10.50	33.81	2.25	2.21	48.77	90.00
10.57	33.74	2.25	2.21	48.77	90.00
10.64	33.67	2.24	2.21	48.76	90.00
<b>123.38</b>	<b>408.34</b>	<b>27.22</b>	<b>26.52</b>	<b>585.46</b>	<b>1080.00</b>

En la Tabla 11.21, se muestran el análisis de Valor Presente Neto. Se compara la opción de pagar de contado el sistema fotovoltaico versus la opción de incluir el sistema fotovoltaico dentro del monto a financiar con el banco. En este caso en particular se utilizó una Tasa Mínima Atractiva de Retorno del 3%, ya que usar un valor del 4% igual que los escenarios anteriores daba como resultado un valor presente neto negativo en la opción de financiamiento y por lo tanto no era una opción viable, por lo que fue necesario reducirla para lograr un valor presente neto positivo.

<b>TABLA 11.21. Análisis casa 340M2</b>			
<b>CONTADO</b>		<b>FINANCIADO</b>	
<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>
0	(\$7.000.00)	0	(\$7.000.00)
1	\$1.080.00	1	\$495.00
2	\$1.080.00	2	\$495.00
3	\$1.080.00	3	\$495.00
4	\$1.080.00	4	\$495.00
5	\$1.080.00	5	\$495.00
6	\$1.080.00	6	\$495.00
7	\$1.080.00	7	\$495.00
8	\$1.080.00	8	\$495.00
9	\$1.080.00	9	\$495.00
10	\$1.080.00	10	\$495.00
11	\$1.080.00	11	\$495.00
12	\$1.080.00	12	\$495.00
13	\$1.080.00	13	\$495.00
14	\$1.080.00	14	\$495.00
15	\$1.080.00	15	\$495.00
16	\$1.080.00	16	\$495.00
17	\$1.080.00	17	\$495.00
18	\$1.080.00	18	\$495.00
19	\$1.080.00	19	\$495.00
20	\$1.080.00	20	\$495.00
<b>TMAR</b>	<b>3%</b>	<b>TMAR</b>	<b>3%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$9.067.67</b>	<b>VPN</b>	<b>\$364.35</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>4%</b>

Se puede concluir que disponer de los recursos para invertir en el sistema fotovoltaico al contado genera un periodo de retorno de 7 años, mientras que incluir el costo del sistema fotovoltaico dentro del monto a financiar de la compra de la casa tendría un periodo de recuperación de 14 años debido a los costos extras generados de intereses y seguros respecto a la opción de financiamiento sin los paneles solares.

### 11.5 Análisis VPN.

Para analizar el Valor Presente Neto (VPN) de los tres escenarios descritos anteriormente, es importante conocer la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) utilizada para el análisis de los Flujos de Efectivo Libres.

La TMAR que se utilizó en los escenarios 1 y 2 fue del 4%. Se tomó como base el costo de oportunidad de utilizar los recursos destinados al sistema fotovoltaico versus invertirlos en alguna opción alterna de inversión. En este caso se utilizó una opción de bajo riesgo, la cual es depositar el dinero en una cuenta a plazo fijo de algún banco de sistema nacional. Actualmente para el año 2013, las tasas que el banco paga a cuentas de plazo fijo llegan a un máximo de 4% anual, razón por la cual se utilizó este valor como TMAR, ya que es lo que el cliente dejará de percibir en caso de decidir invertir en los paneles solares.

Algunos análisis financieros toman en cuenta el valor de la inflación, en este caso no se tomó ya que se analizó la opción de inversión de un depósito a plazo fijo, donde la tasa ya está establecida y es de 4%. Es importante entender que durante los distintos ciclos económicos, durante los periodos de recesión las tasas que los vehículos de inversión de bajo riesgo ofrecen son mínimas, y los inversionistas durante estos periodos únicamente buscan mantener el valor de su dinero a lo largo del tiempo. Un inversionista que invierte en este tipo de producto financiero lo que busca es que su dinero al año mantenga su poder adquisitivo, y no que merme debido a los efectos de la inflación durante ese año.

El resumen de los valores del primer escenario, para la opción de compra del sistema fotovoltaico de contado está en la columna de la izquierda mientras que la opción con financiamiento está en la columna derecha.

<b>Tabla 11.22. VPN ESCENARIO 1</b>			
<b>TMAR</b>	<b>4%</b>	<b>TMAR</b>	<b>4%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$1.625.78</b>	<b>VPN</b>	<b>\$144.43</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>5%</b>

De estos valores se puede concluir que en ambos casos la Tasa Interna de Retorno es mayor que la Tasa Mínima Atractiva de Retorno establecida de 4%, por lo que en ambos casos es viable realizar la compra del sistema fotovoltaico. La diferencia radica en

que si la persona es capaz de adquirir el sistema fotovoltaico de contado, la Tasa Interna de Retorno es de 14% lo cual indica que es un 10% más alta que la Tasa Mínima Atractiva de 4%, mientras que para la opción de la compra por medio de financiamiento la Tasa Interna de Retorno es de 5% versus la Tasa Mínima Atractiva de Retorno de 4%.

El resumen de los valores del segundo escenario, para la opción de compra del sistema fotovoltaico de contado está en la columna de la izquierda mientras que la opción con financiamiento está en la columna derecha.

<b>Tabla 11.23. VPN ESCENARIO 2</b>			
<b>TMAR</b>	<b>4%</b>	<b>TMAR</b>	<b>4%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$3.838.78</b>	<b>VPN</b>	<b>\$210.16</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>5%</b>

De estos valores se puede concluir que al igual que en el escenario 1, tanto para la compra del sistema fotovoltaico con pago de contado o por medio de financiamiento, en ambos casos la Tasa Interna de Retorno es mayor que la Tasa Mínima Atractiva de Retorno establecida de 4%, por lo que en ambos casos es viable realizar la compra del sistema fotovoltaico. La diferencia radica en que si la persona es capaz de adquirir el sistema fotovoltaico de contado, la Tasa Interna de Retorno es de 14% lo cual indica que es un 10% más alta que la Tasa Mínima Atractiva de 4%, mientras que para la opción de la compra por medio de financiamiento la Tasa Interna de Retorno es de 5% versus la Tasa Mínima Atractiva de Retorno de 4%.

El resumen de los valores del tercer escenario, para la opción de compra del sistema fotovoltaico de contado está en la columna de la izquierda mientras que la opción con financiamiento está en la columna derecha.

<b>Tabla 11.24. VPN ESCENARIO 3</b>			
<b>TMAR</b>	<b>3%</b>	<b>TMAR</b>	<b>3%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$9.067.67</b>	<b>VPN</b>	<b>\$364.35</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>4%</b>

De estos valores se puede concluir que para la opción de compra al contado la Tasa Interna de Retorno es mayor que la Tasa Mínima Atractiva de Retorno establecida. En el caso de realizar la compra de contado, la Tasa Interna de Retorno es de 14% lo cual indica que es un 11% más alta que la Tasa Mínima Atractiva de Retorno.

Para la opción de compra por medio de financiamiento, los valores utilizados en los escenarios 1 y 2 de 4% no cumplieron, y fue necesario reducir la TMAR a 3%. Con esto se puede concluir que la opción de realizar la compra por medio de financiamiento no es viable debido a que la tasa de retorno es muy baja, y no compensa el costo de oportunidad de decidir entre invertir el dinero del sistema fotovoltaico en un plazo fijo versus la adquisición del sistema fotovoltaico.

### 11.6 Alternativa B para una vivienda de 170m<sup>2</sup>.

Analizando otras alternativas, se planteó una variante al escenario 2, donde se tomaron los mismos valores del costo de la vivienda, pero con un sistema fotovoltaico del doble de capacidad asumiendo que el consumo de esta vivienda sería del doble, por lo tanto el sistema fotovoltaico debe producir el doble de energía. Esto representa una inversión inicial de USD7,000. Los resultados son los siguientes:

<b>Tabla 11.25. Cuadro financiamiento casa 170m<sup>2</sup> (USD). Sistema de USD7,000 de inversión</b>							
<b>Mes</b>	<b>Saldo de capital</b>	<b>Capital</b>	<b>Intereses</b>	<b>Cuota</b>	<b>Seguro de vida</b>	<b>Seguro de vivienda</b>	<b>Total</b>
1	86000.00	155.31	537.50	692.81	35.83	33.71	762.35
2	85844.69	156.28	536.53	692.81	35.77	33.71	762.29
3	85688.41	157.26	535.55	692.81	35.70	33.71	762.22
4	85531.15	158.24	534.57	692.81	35.64	33.71	762.16
5	85372.91	159.23	533.58	692.81	35.57	33.71	762.09
6	85213.68	160.22	532.59	692.81	35.51	33.71	762.03
7	85053.46	161.23	531.58	692.81	35.44	33.71	761.96
8	84892.23	162.23	530.58	692.81	35.37	33.71	761.89
9	84730.00	163.25	529.56	692.81	35.30	33.71	761.82
10	84566.75	164.27	528.54	692.81	35.24	33.71	761.76
11	84402.48	165.29	527.52	692.81	35.17	33.71	761.69
12	84237.19	166.33	526.48	692.81	35.10	33.71	761.62

Las diferencias que genera la compra del sistema fotovoltaico a través del financiamiento de la compra de vivienda se presentan a continuación:

<b>Tabla 11.26. Costos resultado del financiamiento</b>					
<b>Diferencia capital</b>	<b>Diferencia intereses</b>	<b>Diferencia seguro vida</b>	<b>Diferencia seguro vivienda</b>	<b>TOTAL</b>	<b>AHORRO</b>
10.84	37.50	2.50	2.20	53.04	90.00
10.91	37.43	2.50	2.20	53.04	90.00
10.98	37.36	2.49	2.20	53.03	90.00
11.04	37.30	2.49	2.20	53.03	90.00
11.11	37.23	2.48	2.20	53.02	90.00
11.18	37.16	2.48	2.20	53.02	90.00
11.26	37.08	2.47	2.20	53.01	90.00
11.32	37.02	2.47	2.20	53.01	90.00
11.40	36.94	2.46	2.20	53.00	90.00
11.47	36.87	2.46	2.20	53.00	90.00
11.53	36.81	2.45	2.20	52.99	90.00
11.61	36.73	2.45	2.20	52.99	90.00
134.65	445.43	29.70	26.40	636.18	1080.00

Las diferencias muestran un ahorro de \$90 mensuales, lo cual representa \$1,080 anual. El total de las diferencias que genera la compra del sistema fotovoltaico dentro del financiamiento de la compra de la vivienda son de \$636 anuales. La diferencia favorable es de \$444 anuales.

<b>TABLA 11.27. Análisis casa 170M2</b>			
<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>	<b>AÑO</b>	<b>MONTO</b>
0	(\$7.000.00)	0	(\$7.000.00)
1	\$1.080.00	1	\$444.00
2	\$1.080.00	2	\$444.00
3	\$1.080.00	3	\$444.00
4	\$1.080.00	4	\$444.00
5	\$1.080.00	5	\$444.00
6	\$1.080.00	6	\$444.00
7	\$1.080.00	7	\$444.00
8	\$1.080.00	8	\$444.00
9	\$1.080.00	9	\$444.00
10	\$1.080.00	10	\$444.00
11	\$1.080.00	11	\$444.00
12	\$1.080.00	12	\$444.00
13	\$1.080.00	13	\$444.00
14	\$1.080.00	14	\$444.00
15	\$1.080.00	15	\$444.00
16	\$1.080.00	16	\$444.00
17	\$1.080.00	17	\$444.00
18	\$1.080.00	18	\$444.00
19	\$1.080.00	19	\$444.00
20	\$1.080.00	20	\$444.00
<b>i</b>	<b>4%</b>	<b>i</b>	<b>4%</b>
<b>VPN</b>	<b>\$7.677.55</b>	<b>VPN</b>	<b>(\$965.90)</b>
<b>TIR</b>	<b>14%</b>	<b>TIR</b>	<b>2%</b>

De esto podemos ver que para la compra del sistema fotovoltaico al contado el retorno sigue siendo de 14%, esto se debe a que el ahorro mantiene una relación lineal entre el costo del sistema fotovoltaico y el ahorro mensual, esto es un caso ideal, el cual puede variar en la parte práctica debido a factores de clima, sombras, ubicación de la vivienda y otros factores que puedan afectar el rendimiento y que pueda variar este retorno de 14%.

En el caso de financiamiento, se observa que el retorno deja de ser atractivo cuando la inversión inicial del sistema fotovoltaico es mayor. En este caso el sistema costo el doble que la otra opción para este mismo tipo de vivienda, dando como resultado que el Valor Presente Neto es negativo y la Tasa Interna de Retorno es del 2%. Esto nos

muestra que para la opción de financiamiento no siempre da resultados atractivos, ya que el costo financiero hace que los ahorros en la factura eléctrica no compensan el incremento resultado del costo financiero a largo plazo que tiene la compra de un sistema fotovoltaico por medio del mismo financiamiento de la compra de la vivienda.

### **11.7 Alternativas para la adquisición de un sistema fotovoltaico.**

Existen otras alternativas a la compra de contado y por medio de financiamiento. Entre ellas está la compra del sistema fotovoltaico utilizando facilidades de pago por medio de productos financieros ofrecidos por las tarjetas de crédito donde se puede pagar el sistema fotovoltaico en 6 pagos mensuales, sin un cargo adicional sobre el costo de contado. Esto no ofrece ninguna variación en cuanto a las tasas de retorno, pero ofrece una alternativa para poder adquirir el sistema cuando no se dispone del monto total disponible. Este mecanismo de pago es utilizado para compras de productos o servicios con un costo inicial alto, para hacerlo accesible al consumidor final.

Otra alternativa que puede ser atractiva es la de rentar los sistemas fotovoltaicos. Esta opción involucra dos entes. Uno es el consumidor el cual no dispone de fondos suficientes para realizar la inversión inicial. El otro puede ser un inversionista que tiene recursos y está buscando alguna alternativa para invertir. Debido a que tener el dinero en una cuenta a plazo fijo en un banco genera un 4% de retorno, hacer dicho vínculo donde el inversionista compre los paneles fotovoltaicos y los rente a cambio de un retorno de 8% puede ser atractivo para el inversionista y para el consumidor, siendo una situación gana-gana para ambas partes.

Por ejemplo para un sistema fotovoltaico que requiere una inversión inicial de \$3,500, el 8% representa \$280 anuales. El ahorro que tendría el consumidor para un sistema fotovoltaico con una inversión inicial de \$3,500 será de \$540 por año, por lo que para el consumidor aun hay un ahorro de  $\$540 - \$280 = \$260$  anuales en pagos por concepto de electricidad. Estos valores podrían variar de acuerdo a cada inversionista, pudiéndose llegar hasta un 10% de retorno, lo cual representa \$350 anuales. Para el consumidor que paga este 10% por concepto de alquiler, sigue representando un ahorro

de \$190 anuales por concepto de pago de electricidad. El reto que representaría esta opción es que se dependería mucho del rendimiento de los paneles y las proyecciones climáticas de la región, para tener certeza que los ahorros anuales estimados sean reales en la práctica. Otro reto es el periodo de recuperación del capital inicial por parte del inversionista. Para que esta opción pueda ser viable, tendría que haber algún convenio entre las empresas que venden los sistemas fotovoltaicos para que el costo inicial pueda ser menor y así el periodo de recuperación pueda ser menor. Esta es una alternativa que puede ser explorada mas a profundidad y podría venir por parte de las empresas que comercializan y distribuyen los paneles o bien las empresas fabricantes que los exportan, para que los periodos de recuperación sean menores y que pueda ser una alternativa viable para el consumidor final que no puede realizar la inversión inicial de compra.

## 12. DISCUSIÓN

Luego de analizar toda la información, podemos concluir que estamos en un periodo en la historia de la humanidad donde es necesario hacer cambios radicales en cuanto a nuestros hábitos de consumo energético. El consumo global de energía es de 15.7 Tera vatios por año. Se pronostica que para el 2030, se incremente en un 100% el consumo en China, 164% en India, 25% en Norte América y 10% en Europa.

La humanidad ha dependido grandemente en las últimas décadas en los combustibles fósiles, pero estos están llegando a su fin, por lo que ha crecido la necesidad de evaluar las fuentes renovables. La dependencia en los combustibles fósiles nos hace vulnerables a escasos e incrementos en los costos de la energía para el uso cotidiano. Esto es un factor sumamente importante, ya que de no cambiar nuestro comportamiento en cuanto a consumo y generación de energía, el riesgo de una crisis energética esta a la vuelta de la esquina.

Adicional a esto, también está el efecto de la contaminación generada por la quema de combustibles fósiles. La contaminación está afectando el clima en todo el planeta, generando cambios drásticos que han causado desastres naturales con grandes consecuencias económicas y de vidas humanas.

Las edificaciones son responsables del 60% del consumo eléctrico mundial y por lo tanto son responsables del 60% de la emisión de gases tóxicos y los efectos en la salud derivados de la generación eléctrica. Aproximadamente el 20% de los efectos ambientales de las edificaciones provienen de la fase de construcción, y el 80% vienen de la fase de uso.

Es importante evaluar alternativas, entre ellas está la energía solar. La energía solar es abundante y su potencial para suplir la demanda energética mundial es muy alto. A nivel mundial el desarrollo de las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar están avanzando rápidamente, permitiendo que los sistemas fotovoltaicos alcancen eficiencias de hasta 25%. El costo de los sistemas fotovoltaicos esta reduciéndose cada año, con China como uno de los principales responsables de esta tendencia.

Guatemala es un país con un potencial muy grande para aprovechar las energías renovables, en especial la solar. Durante el año Guatemala tiene dos estaciones principales, la lluviosa y la no lluviosa. Durante los periodos de lluvia se puede establecer 3 horas de Sol por día, mientras que en la época de verano el Sol está presente hasta 8 horas por día, dando un promedio durante el año de 5.5 horas por día. Lamentablemente el uso de la energía solar en el país es muy pobre, siendo la generación a través de plantas hidroeléctricas la opción preferida para los inversionistas. El potencial eólico, geotérmico y solar no está siendo explotado, lo que deja grandes oportunidades disponibles. La legislación en el país ha cambiado en los últimos años, presentando un escenario favorable para invertir en energías renovables, con subsidios y exoneraciones de impuestos para proyectos de generación a gran escala. Para el caso de los sistemas residenciales no existe ningún incentivo, y se trata como cualquier equipo para el uso residencial.

Los costos iniciales de los sistemas solares son considerables, y requiere instruir a los clientes para que vean los beneficios de adquirirlos para que decidan implementar esta tecnología en sus hogares ya que la producción que se obtiene a través de un sistema fotovoltaico sí es suficiente para cubrir la demanda de energía eléctrica en una vivienda en el país.

Entre los principales retos que enfrentan las empresas que comercializan los sistemas fotovoltaicos está el comunicar eficientemente sobre la existencia de los sistemas fotovoltaicos y sus beneficios tanto para el planeta como para el usuario individual. Es sumamente importante educar a los clientes, para que previo a la adquisición de un sistema fotovoltaico evalúen su comportamiento de consumo y lo optimicen, ya que al reducir la carga base de demanda, el sistema fotovoltaico necesario tenderá a ser de menor capacidad por lo tanto de menor costo inicial.

Previo a la adquisición de un sistema fotovoltaico, es importante revisar todos los factores de diseño de la vivienda (cuando sea posible), la utilización de aparatos eléctricos certificados como ahorradores (Energy Star), utilización de focos ahorradores y considerar el uso de gas para calentadores de agua y estufas, y si fuese posible, considerar calentadores solares para agua. Hacer conciencia del consumo basado en el

comportamiento de cada persona en una vivienda, y promover el uso racional de la energía. Todo esto ayudará junto con los demás factores, a controlar la carga base mensual requerida por la vivienda. De esta forma, el sistema fotovoltaico que se necesitara será de menor capacidad al haber realizado algunos ajustes en comportamiento que hagan más eficiente el consumo.

Cuando se está en la fase de diseño y planificación de una vivienda, es un momento ideal para optimizar muchos detalles que tendrán un impacto directo en el consumo energético, sobre todo en lugares con climas extremos. Entre los factores, está el entender los patrones del clima en la comunidad y diseñar la vivienda usando las mejores prácticas para alcanzar la eficiencia energética y la sostenibilidad. Analizar el aislamiento y los materiales adecuados son elementos de diseño que tienen consecuencias significativas en cuanto a la energía. Utilización de aparatos eléctricos eficientes, con certificación adecuada. La diferencia entre estos aparatos y los normales representa entre un 40-70% de ahorro respecto a los aparatos antiguos. Utilización de sistemas de iluminación eficientes, los cuales pueden reducir entre un 10-15% el consumo eléctrico mensual. Producción eléctrica en el mismo sitio de consumo, para reducir las pérdidas en transmisión y distribución. Y lo más importante es inculcar un comportamiento sostenible en los ocupantes de la vivienda.

En cuanto a la inversión en el sistema fotovoltaico, los retornos son mejores cuando se adquiere el sistema pagándolo de contado, versus la opción de financiarlo dentro de la compra de la casa a un plazo de hasta 20 años. El periodo de recuperación de la inversión cuando se compra al contado es entre 6.5 y 7 años. En el caso de que el sistema fotovoltaico se financie a un plazo de 20 años, el periodo de retorno oscila entre 12 a 14 años, debido al incremento en intereses y pagos de seguro que disminuyen los ahorros del pago de la factura eléctrica resultado de auto producir la energía.

Existen otros factores que afectan la toma de decisión de los clientes, aparte de la inversión inicial. Uno de los principales es la estética. Esto está relacionado en cómo va a afectar los paneles solares el diseño arquitectónico de la casa. Es importante saber estimar que área es necesaria para la instalación de los paneles. Según la página de General

Electric, el estimado se realiza partiendo del total de kilovatios hora (kWh) que se consumen al mes, y obteniendo su equivalente a kilovatios hora (kWh) diarios. Este valor de kilovatios hora (kWh) diario se multiplica por un factor de 0.25 para obtener la capacidad del sistema fotovoltaico en kilovatios pico (kWp). Cada panel mide 1.42m x 0.64m, y produce un máximo de 0.12kWp en un día. Por ejemplo, para un sistema de 1kWp se requieren aproximadamente 8 paneles. Esto viene de  $1\text{kWp} / 0.12\text{kWp} = 8.33$  paneles. Cada panel mide  $1.42\text{m} \times 0.64\text{m} = 0.91\text{m}^2 \times 8.33 = 7.5\text{m}^2$ . Para efectos prácticos podemos estimar que para 1kWp instalado se necesitan 10m<sup>2</sup> de área para colocar los paneles, aunque el cálculo indico 7.5m<sup>2</sup>, se puede estimar 2.5m<sup>2</sup> adicionales para la instalación de las bases y tomando en cuenta posibles variantes en la radiación que impliquen adicionar mas paneles para lograr producir la energía necesaria, por lo que tener una relación sencilla de 1kWp – 10m<sup>2</sup> es fácil para efectos de cálculos prácticos.

Dicha relación se mantiene para sistemas de mayor capacidad por lo que para un sistema de 3kWp se requieren aproximadamente 30m<sup>2</sup> de área para la instalación de los paneles. Esto se debe a las eficiencias actuales que tienen los paneles, que llegan a un máximo de un 20% de eficiencia. Cuando los sistemas fotovoltaicos se vuelvan más eficientes, el área requerida para producir X cantidad tendera a reducirse, ya que un panel de menor tamaño, pero con una mayor eficiencia será suficiente para producir la electricidad requerida en determinado lugar.

El área de una vivienda se estima como su área de techos. Cuando una vivienda tiene dos niveles, por lo regular el área total se divide en dos. Por ejemplo una vivienda de 150m<sup>2</sup> de dos niveles, ocupa un área real de terreno de 75m<sup>2</sup>. El primer nivel tiene 75m<sup>2</sup> y el segundo nivel 75m<sup>2</sup>, por lo que el área de techo que tiene dicha vivienda es de 75m<sup>2</sup>. Para un sistema fotovoltaico de 1kWp el área necesaria para la ubicación de los paneles es de 10m<sup>2</sup>.

Esto es importante entenderlo, para tener en mente el área necesaria para la colocación de los paneles. Para una vivienda de 300m<sup>2</sup> de dos niveles, el área de techos de cada nivel es de 150m<sup>2</sup>. Dicha vivienda podría necesitar un sistema fotovoltaico de

3kWp, para lo cual necesita 30m<sup>2</sup> de área para la colocación de los mismos. Podemos ver que el área necesaria es baja, esto es así en Guatemala debido a que las viviendas consumen menos kWh por mes que en otros países. Por ejemplo, en los países al norte, por el clima tan extremo, los sistemas fotovoltaicos necesarios para producir suficiente energía para que el balancea sea cero es de 3kWp en adelante, para lo cual las viviendas sí ocupan la mayor parte de los techos para la colocación de los sistemas. En estos casos la estética sí se ve afectada considerablemente, mientras que en Guatemala, por ser los sistemas necesarios de menor capacidad estos no afectan considerablemente la estética del diseño y es posible encontrar una ubicación en el techo que no afecte el diseño.

### 13. CONCLUSIONES

Luego de analizar toda la información sobre Guatemala referente a la producción energética, se puede concluir que si es posible tener una vivienda cero-energía en Guatemala.

La ubicación geográfica de Guatemala favorece el uso de sistemas para ser auto productor de energía, y con esto generar un balance neto cero entre el consumo y la auto producción residencial. En promedio, tomando en cuenta la temporada lluviosa y la temporada de verano, la radiación promedio de 5.5 kWh/día es un valor que permite que los paneles produzcan suficiente energía para cubrir la demanda de una vivienda.

Guatemala goza de un clima privilegiado a lo largo del año, razón por la cual no se acostumbra el uso de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado residencial para mantener niveles de confort. Esto se refleja en un consumo eléctrico menor al que se tiene en países con climas más extremos o en países que tienen un nivel de confort más exigente. El consumo depende completamente del comportamiento de los ocupantes y del tipo de electrodomésticos y aparatos electrónicos que se usen en la vivienda.

El gobierno de la República ha tenido en su agenda política de los últimos 15 años el tema de la producción energética y la importancia de la sostenibilidad como punto importante. Debido a esto, poco a poco la legislación en Guatemala ha provisto de algunas leyes que apoyan a los grandes inversionistas que deseen invertir en energías renovables, específicamente la energía solar. En cuanto a la auto-producción individual, la legislación actual otorga el permiso de que cualquier individuo pueda ser un auto productor de energía eléctrica y que este pueda inyectar cualquier excedente a la red general. Sin embargo, la legislación no contempla aun el que todo auto productor reciba una compensación monetaria por inyectar dichos excedentes a la red como lo hacen otros países como Alemania.

Los costos de los sistemas fotovoltaicos en Guatemala requieren una inversión inicial considerable. Esto entra en conflicto con otras decisiones de compra que las familias toman, como comprar un vehículo, salir a viaje de vacaciones, u otras compras o pagos importantes que las familias tienen durante el año. Los valores de retornos son atractivos, por lo que si se dispone de los recursos, el retorno sobre inversión ronda un 14% y el periodo de recuperación de la inversión es de 6.5 a 7 años. Si se quiere financiar la compra, el retorno sobre la inversión es del 4% y el periodo de recuperación oscila entre 12 a 14 años. Los costos iniciales varían dependiendo de la cantidad de energía que demanda la vivienda.

Aparte de los costos iniciales, otros factores que afectan la decisión de compra son la estética de los paneles. Básicamente es el hecho de cómo va a afectar el diseño y fachada de la vivienda el tener los paneles solares en el techo. Otro factor es la durabilidad y tiempo de vida de los paneles. Al ser una nueva tecnología, los clientes cuestionan mucho sobre la durabilidad y rendimiento a largo plazo.

Para la realidad socioeconómica de Guatemala, el estrato medio y alto tienen mayores posibilidades de adquirir un sistema fotovoltaico que el estrato bajo, sin embargo, es viable para todos los estratos debido a que el sistema adecuado para cada vivienda depende de la demanda. Las familias de estratos bajos tienen una demanda menor, ya que tienen menos electrodomésticos y aparatos que consumen electricidad. Se utiliza mucho la quema de leña para la cocción de alimentos por lo que la demanda es menor, por lo tanto, el sistema que necesitan es menos costoso.

## 14. RECOMENDACIONES

Guatemala es un país con una ubicación geográfica privilegiada, la cual favorece la utilización de energías renovables para la auto producción energética a nivel residencial. El consumo promedio del país es menor que el promedio de toda la región, lo cual implica que el sistema fotovoltaico necesario para la auto producción energética será de menor capacidad comparado con lo que necesitan las residencias en países con climas extremos.

Sería importante hacer conciencia de estos hechos a los desarrolladores inmobiliarios, ya que tiene un gran potencial para que dichos sistemas puedan ser implementados en las viviendas que comercializan. Esto daría un aporte importante como valor agregado para el cliente que compra una vivienda. Para el desarrollador inmobiliario es un factor de diferenciación respecto a la competencia, y se puede hacer algún convenio con las empresas que comercializan los sistemas fotovoltaicos para que al comprar en volumen el precio de los sistemas fotovoltaicos sea menor.

Cabe mencionar que existe el riesgo que las empresas que generan electricidad de otras fuentes, al ver reducidas sus ventas de energía, creen represalias contra los auto-productores. Esto se puede ver reflejado en presiones al gobierno para que emitan reformas en la legislación que afecten de alguna forma al auto-productor en la actualidad, como ha sucedido en otros países como España.

Con el auge que está teniendo la construcción de edificios en la Ciudad de Guatemala, es importante analizar que tan viable es implementar los sistemas fotovoltaicos en este tipo de edificaciones. Algo importante de discutir es que las personas que compran un apartamento en un edificio, comparten muchas áreas y servicios con el resto de dueños o inquilinos del edificio. Para producir suficiente energía utilizando los sistemas fotovoltaicos para poder cubrir la demanda de las áreas en común, piscina, gimnasio del edificio, los elevadores, salón de usos en común, la iluminación de los corredores, la recepción y el sistema de bombeo que suministra el agua a todos los apartamentos se debe utilizar gran parte del área de techos.

Sería interesante profundizar sobre qué opciones hay para este tipo de edificaciones, ya que en algunos países los edificios utilizan paneles solares como materiales de construcción en los edificios, para poder aprovechar toda el área expuesta que tienen y así generar la energía necesaria para que la inversión tenga un retorno razonable. Todo esto implica costos mayores durante la construcción. Entre las opciones que se han manejado está utilizar los paneles solares como fachadas, o como ventanería, lo cual requiere que el panel sea más eficiente ya que su colocación es totalmente vertical y al no poder colocarlos en ángulos para que aprovechen los rayos solares de forma directa, deben compensar esto siendo más eficientes.

Analizando de una forma superficial el tema de los sistemas fotovoltaicos para edificios, podemos estimar que un edificio de tamaño grande en la ciudad de Guatemala ocupa un área de terreno de 30m de frente por 40m de fondo. Esto da un área total de 1200m<sup>2</sup>. Si se colocan paneles fotovoltaicos en todo el techo cubriendo dicha área de 1,200m<sup>2</sup>, el sistema fotovoltaico tendría una capacidad de 120kWp. Un sistema de esta capacidad puede producir en la ciudad de Guatemala un total de 120kWp x 5.5kWh/día = 660kWh por día. Esto nos da una perspectiva del potencial que tienen los edificios para producir electricidad utilizando el techo para la instalación de los sistemas fotovoltaicos. Un sistema de 120kWp tendría un costo de \$420,000 lo cual es un monto considerable. Sería importante analizar el consumo promedio de un edificio tanto a nivel individual como en las áreas comunes, para evaluar el potencial real de un sistema fotovoltaico en un edificio.

Las empresas que comercializan los sistemas fotovoltaicos deben comunicar abiertamente sobre los beneficios que tienen los sistemas solares para la auto-producción residencial. Las personas que invierten en la compra de una vivienda buscan realizar dicha como inversión pensando en el futuro retiro. Esto implica que los clientes buscan que los costos a futuro resultado de la compra de la vivienda sean lo menos caros posibles. Esto aplica tanto a la vivienda en sí, como a los pagos de los servicios y áreas en común que pueda tener el desarrollo urbanístico que se hizo. Los paneles fotovoltaicos pueden ser utilizados también para producir la energía de las áreas en común, para que

los costos de mantenimiento mensuales de los clientes sean bajos y se mantengan así de una manera sostenible hacia el futuro.

Es importante estar atentos a los nuevos descubrimientos en este ramo, ya que cada día las eficiencias van mejorando. Esto traer implicaciones grandes para la industria, y es una gran noticia para los auto-productores residenciales, ya que a mayores eficiencias los costos de los sistemas bajan de costo. Esto puede saltar a otras industrias como la del transporte donde se puedan implementar vehículos que funcionen 100% con energía solar. También abre la puerta a más aplicaciones en la industria de la construcción, donde los sistemas fotovoltaicos puedan utilizarse como materiales de construcción. Estos ya están siendo utilizados en edificios, y son denominados BIPV (Building-Integrated Photovoltaics) por sus siglas en inglés, que significan Sistemas Fotovoltaicos Integrados en Edificios

## 15. BIBLIOGRAFÍA

1. Alekett, K. 2006. *Oil: A Bumpy Road Ahead*. World Watch 19, 10-12.
2. Annual Photovoltaic Module. 2008. *Administration Form EIA-62B*.
3. ARECA, P. 2010. *Reporte Guatemala Proyecto Areca*. [www.proyectoareca.org](http://www.proyectoareca.org)
4. Banco Mundial, B. 2012. *Reporte de País, Banco Mundial*. <http://datos.bancomundial.org/pais/guatemala>
5. Berger, J. 2000. *Beating the Heat*. Berkeley, CA: Berkeley Hills Books.
6. Berlin Snell, M. 1991. *Can Coal be Clean?* Sierra 92, 32-33.
7. Botkin, D. 2010. *Environmental Science: Earth as a Living Planet*. New Jersey: John Wiley and Sons. 1120pp.
8. British Petroleum, C. 2009. *Statistical Review of World Energy 2008*. London: British Petroleum Company.
9. Brown, L. 1999. *Crossing the Threshold*. World Watch, 12-22.
10. Butti, K. 1980. *A Golden Thread: 2500 Years of Solar Architecture and Technology*. Palo Alto, CA: Cheshire Books.
11. Cavanay, R. 2006. *Global Oil About to Peak? A Recurring Myth*. World Watch 19, 13-15.
12. CEPAL, 2010. *Centroamérica: Estadísticas del Subsector Eléctrico*. [www.eclac.cl](http://www.eclac.cl) Naciones Unidas: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
13. Clark, C. 1973. *The Economics of Overexploitation*. Science 181, 630-634.
14. Congreso de Guatemala. 2003. Decreto Energías Renovables. <http://www.oj.gob.gt/es/QueEsOJ/EstructuraOJ/UnidadesAdministrativas/Centro AnalisisDocumentacionJudicial/cds/CDs%20leyes/2003/Leyes%20en%20PDF/Decretos%202003/Decreto%2052-2003.pdf>
15. Corcoran, E. 1991. *Cleaning up Coal*. Scientific American 264, 106-116.
16. Costanza, R. 1997. *The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital*. Nature 387, 253-260.
17. Deevey, E. 1960. *The Human Population*. Scientific American 203, 194-204.

18. Demeo, E. 1990. *The U.S. Electric Utility Industry's Activities in Solar and Wind Energy*. New York: American Solar Energy Society.
19. Diario de Centroamérica, G. 2013. Artículo Energía Solar en Guatemala. Diario de Centroamérica, págs. 12-13.
20. Diaz, G. 2012. *Estratificación y Movilidad Social en Guatemala*. Revista CEPAL, <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/47599/RVE107Diaz.pdf>
21. Eaton, W. 1978. *Solar Energy*. Oxford University Press, 418-436pp.
22. Edminster, A. V. 2009. *Energy Free: Homes for a Small Planet*. California: Green Building Press. 235pp
23. Ehrlich, P. a. 1970. *Ecoscience: Population, Resources, Environment*. San Francisco, CA: W.H. Freeman.
24. Feynman, R. a. 1964. *The Feynman Lectures on Physics*. MA: Addison-Wesley.
25. Field, J. 1983. *The Challenge of Famine: Recent Experience, Lessons Learned*. Kumarian Press.
26. Glantz, M. 1987. *Drought and Hunger in Africa: Denying Famine a Future*. Cambridge University Press.
27. Gottfield, R. 1983. *The Black Death: Natural and Human Disaster in Medieval Europe*. New York Free Press.
28. Gower, B. 1992. *What do we owe future generations?* New York: D.E. Cooper and J.A. Palmers.
29. Green, 2013. Cotizador Empresa GREEN. <http://www.greenergyze.com/inicio/simulador-3.php> Guatemala.
30. Gunn, J. 1995. *Restoration and Recovery of an Industrial Region: Progress in Restoring the Smelter-Damaged Landscape near Sudbury, Canada*. New York: Springer-Verlag.
31. Gutierrez, J. 2013. Energy Audit Report. Harvard University ENVR102 Energy and the Environment Course. Boston.
32. Hardin, G. 1973. *The Tragedy of the Commons*. Science 162 , 1243-1248pp.
33. Keyfitz, N. 1989. *The Growing Human Population*. Scientific American 261, 118-126pp.

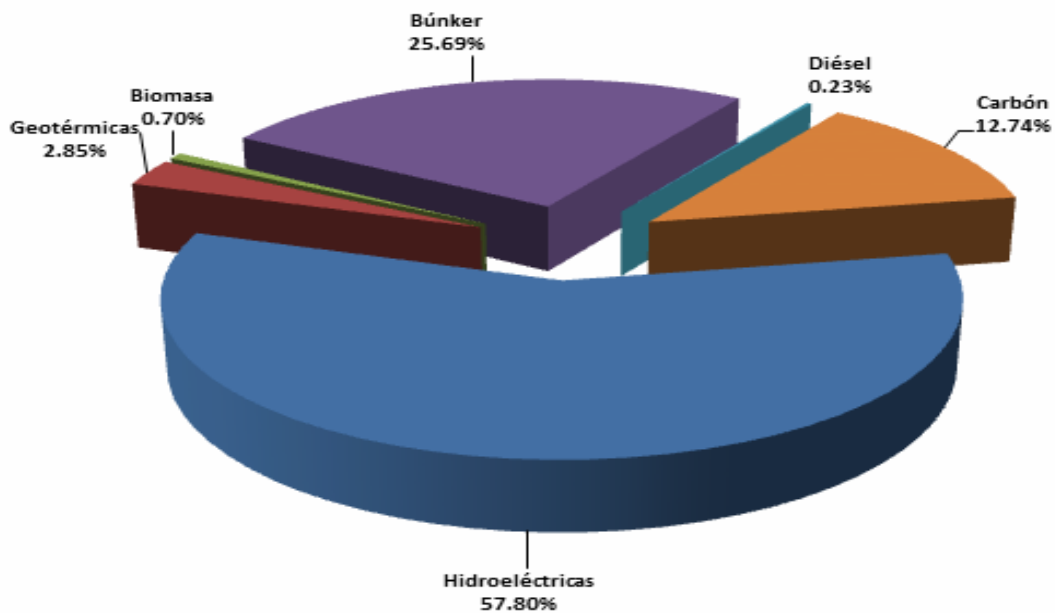
34. Komiyama, H. T. 2006. *Sustainability Science: Building a new discipline*. Sustainability Science.
35. Kurtz, S. 2011. *Ensuring Quality of PV Panels*. Photovoltaic Specialists Conference, Boston. 1-9pp.
36. Kurtz, S. 2011. *The Challenge to Move from "one size fits all"*. Photovoltaic Specialists Conference, Boston. 1-12pp
37. Lechner, N. 2009. *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons. 355pp
38. Levinson, F. 2007. *Malnutrition is Still a Major Contributor to Child Deaths*. Washington D.C.: Population Reference Bureau.
39. Lima, C. 2012. *Comparación entre Energía Eólica y Energía Solar*. Universidad del Valle de Guatemala. 107pp
40. McKibben, B. 2007. *Energizing America*. Sierra 92, 30-38:112-113.
41. MEM 2006, 2006. «*Presentación MEM Energía en Guatemala*», Congreso Uruguay.  
[http://www.oas.org/dsd/reep/reuniones/uruguay/presentations/mem\\_guatemala.pdf](http://www.oas.org/dsd/reep/reuniones/uruguay/presentations/mem_guatemala.pdf)
42. Ministerio de Energía y Minas, M. 2013. «*Política Energética 2013-2027*». Guatemala: SEGEPLAN.
43. Morowitz, H. 1979. *Energy Flow in Biology*. Oxford Press.
44. National Biological Information Infrastructure, 2009. Pollinator Communities. [www.nbi.gov](http://www.nbi.gov).
45. NREL. 2010. *How do I Use Renewable Energy in my Region?* NREL International Programs , <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/37058.pdf>
46. Rahn, P. 1996. *Engineering Geology: An Environmental Approach*. New York: Elsevier, 2nd ed.
47. Reporte Estadístico CNEE, 2012. «Reporte Estadístico 2012: Indicadores del Mercado Eléctrico en Guatemala ». [www.cnee.gob.gt](http://www.cnee.gob.gt) págs. 15-17.
48. Roberts, R. 2008. «*Tapped Out* ». National Geographic 213, 86-91.
49. Schrage, J. 2009. *The Sun*. Creighton University, Omaha Nebraska.

50. Starke, L. 2007. *State of the World: Our Urban Future*. New York: World Watch Institute.
51. Starke, L. 2005. *Vital Signs*. New York: Norton.
52. The North American Pollinator Protection Campaign and the Pollinator Partnership. (2009). [www.pollinator.org](http://www.pollinator.org)
53. U.S. Department of Energy, N. 2009. *Own Your Power: A complete guide to solar electricity for the home*. <http://www.nrel.gov/learning/pdfs/43844.pdf> U.S. Department of Energy.
54. U.S. Energy Administration, 2007. Annual Coal Report. [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
55. Van Koevering, T. 1986. *Energy: A Conceptual Approach*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
56. Wagner, P. 2012. *Análisis Técnico Económico para la Instalación de Matrices Energéticas en Proyecto de Pequeña Demanda*. Universidad del Valle de Guatemala. 156pp

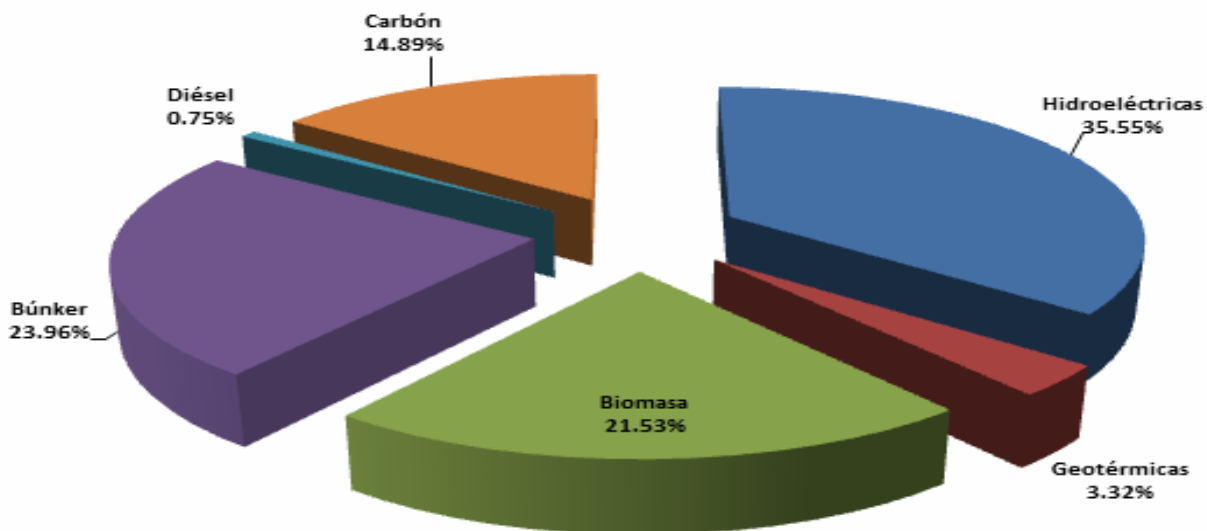
## 16. APÉNDICE

### A. Generación eléctrica en Guatemala: Fuentes

Gráfica 2. Producción de energía SNI (mayo - octubre 2011)



Gráfica 1. Producción de energía del SNI (enero - abril 2011)



## B. Precios por kWh en Centroamérica

**CUADRO 7**  
**CENTROAMÉRICA: TARIFAS VIGENTES AL 30 DE JUNIO**  
**DE CADA AÑO, 2010-2011**  
*(En centavos de dólar/kWh)*

	Costa Rica ICE	El Salvador CAESS	Guatemala EEGSA	Honduras ENEE	Nicaragua DN y DS	Panamá ENSA
<b>2010</b>						
Residencial						
50 kWh	11,18	19,82	22,93	7,90	12,59	18,49
99 kWh	11,18	16,13	21,88	7,64	15,27	18,42
200 kWh	11,18	19,81	21,34	11,00	19,15	18,39
751 kWh	22,64	20,53	24,20	15,80	25,75	19,36
Comercial						
1000 kWh	19,26	19,15	24,16	20,45	23,34	19,86
15000 kWh, 41 kW	16,40	16,17	28,92	20,83	22,69	20,17
50000 kWh, 137 kW	16,41	15,69	22,40	20,85	22,70	16,98
Industrial						
15 000 kWh, 41 kW	16,40	16,17	27,41	20,86	20,79	21,24
50 000 kWh, 137 kW	16,41	16,66	21,48	20,85	20,80	16,98
100 000 kWh, 274 kW	16,41	16,65	21,39	14,82	20,85	16,98
930 000 kWh, 2500kW	12,85	16,62	21,27	14,43	18,60	15,67
1488 000 kWh, 4000kW	12,85	16,62	21,27	14,43	18,60	15,67
Tipo de cambio 2010	581,45	8,79	8,08	19,03	21,36	1,00
<b>2011</b>						
Residencial						
50 kWh	12,62	20,88	21,38	7,90	13,24	18,10
99 kWh	12,62	17,17	20,30	7,64	16,06	17,97
200 kWh	12,62	20,83	19,75	11,62	20,14	17,90
751 kWh	22,19	21,57	21,49	16,69	27,08	18,71
Comercial						
1000 kWh	19,96	20,18	21,46	21,60	23,22	19,14
15000 kWh, 41 kW	17,09	17,12	25,98	22,00	23,86	18,96
50000 kWh, 137 kW	17,11	16,72	19,50	22,03	23,88	15,24
Industrial						
15 000 kWh, 41 kW	17,09	17,12	24,46	22,04	21,86	18,96
50 000 kWh, 137 kW	17,11	17,61	18,57	22,03	21,87	15,24
100 000 kWh, 274 kW	17,11	17,60	18,48	15,66	21,92	15,24
930 000 kWh, 2500kW	14,26	17,57	18,36	15,25	19,56	13,68
1488 000 kWh, 4000kW	14,26	17,57	18,35	15,25	19,56	13,68
Tipo de cambio 2011	530,98	8,79	8,06	19,03	21,36	1,00

Fuente: CEPAL, sobre la base de los pliegos tarifarios oficiales.

Notas: Los valores calculados no incluyen impuestos y tasas. En el sector residencial se han agregado los subsidios. Véanse las notas aclaratorias al inicio del documento.

En los consumos que se especifica la potencia se utilizó un factor de carga del 50%.

Para Honduras se consideran ajustes por variación del precio de combustible a febrero de 2011.

### C. Estratificación socioeconómica en Guatemala

CUADRO 5

#### Estructura de clases sociales en Guatemala, 2006. Esquema de Wright

Clases sociales	Número	Porcentaje
<b>Clase dominante</b>	<b>1 332</b>	<b>5,0</b>
Patronos	843	3,1
Directivos	489	1,8
<b>Clase media</b>	<b>2 470</b>	<b>9,2</b>
Profesionales	1 162	4,3
Técnicos y oficinistas	1 308	4,9
<b>Clase trabajadora</b>	<b>23 089</b>	<b>85,9</b>
Trabajadores calificados	5 195	19,3
Trabajadores no calificados	17 894	66,5
<i>Total</i>	<i>26 891</i>	<i>100,0</i>

*Fuente:* elaboración propia, sobre la base de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) del año 2006.

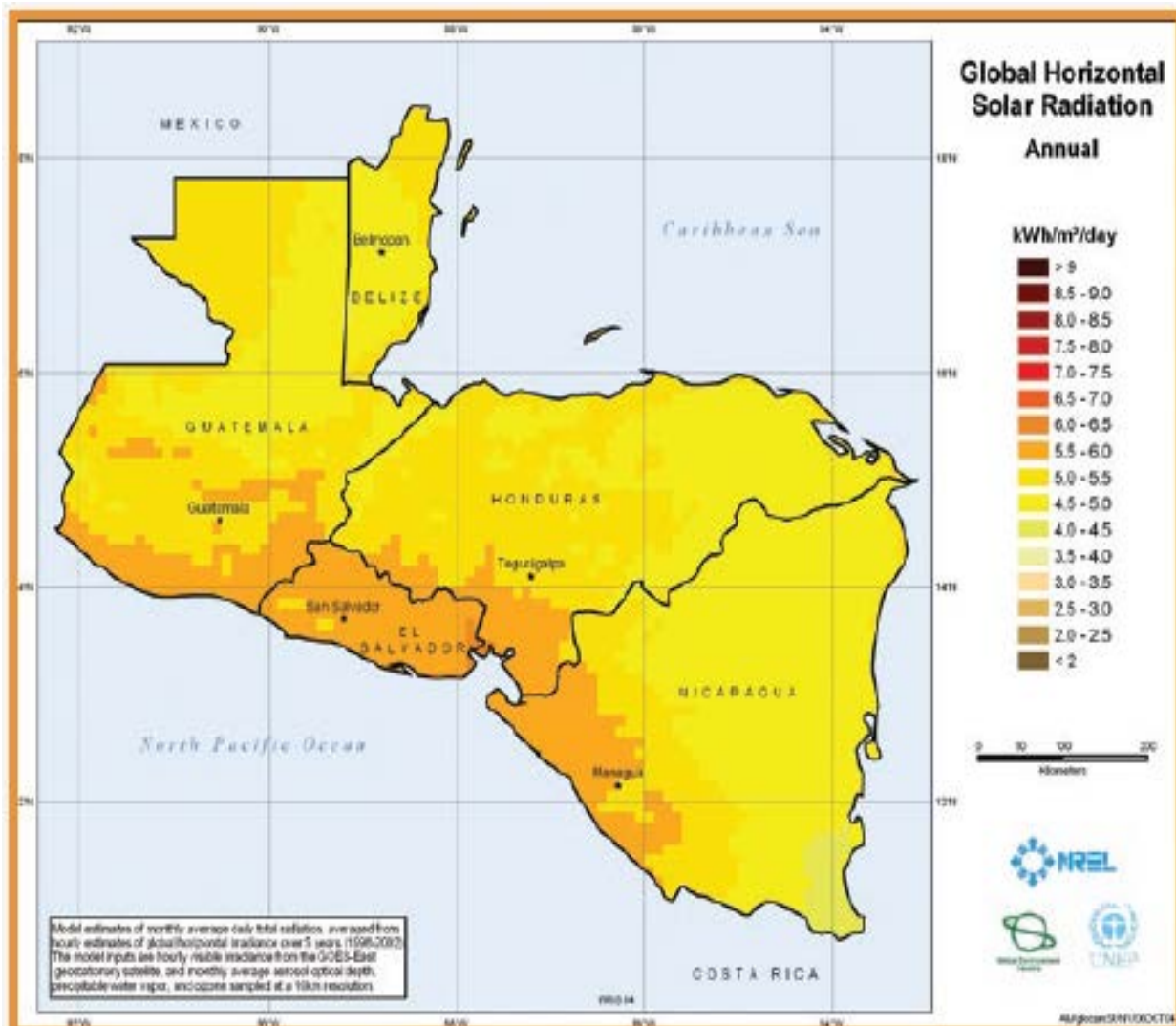
CUADRO 6

#### Estructura porcentual de clases sociales de Guatemala, según región geográfica, 2006. Esquema de Wright (En porcentajes)

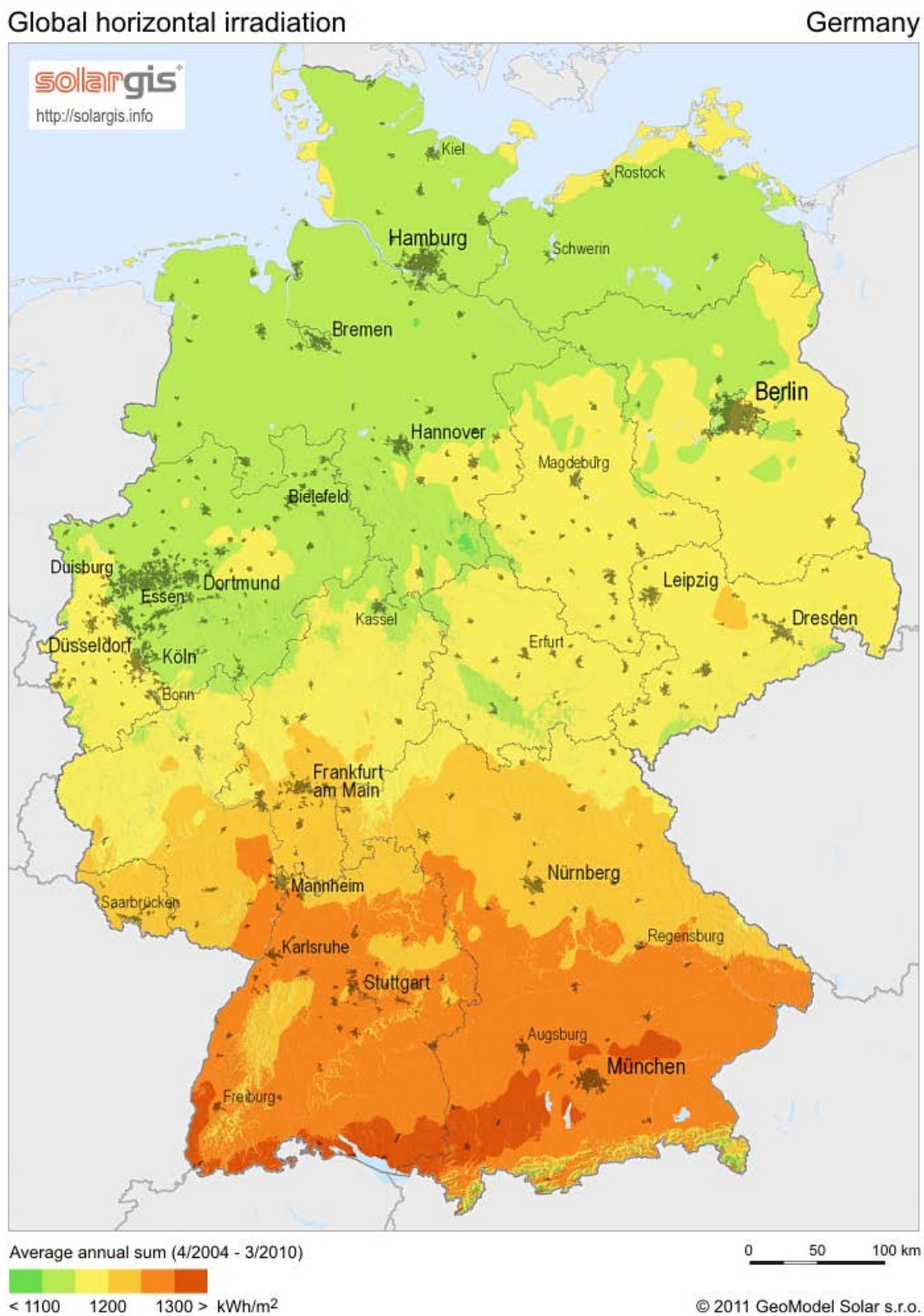
Clase social	Guatemala	Norte	Central	Oriente	Occidente
<b>Clase dominante</b>	<b>11,0</b>	<b>3,2</b>	<b>5,5</b>	<b>5,6</b>	<b>6,0</b>
Patronos	6,3	2,1	3,9	3,9	3,5
Directivos	4,8	1,1	1,6	1,7	2,6
<b>Clase media</b>	<b>22,5</b>	<b>9,4</b>	<b>12,9</b>	<b>9,3</b>	<b>9,3</b>
Profesionales	7,0	5,6	5,6	4,6	5,2
Técnicos y oficinistas	15,5	3,8	7,3	4,8	4,1
<b>Clase trabajadora</b>	<b>66,5</b>	<b>87,2</b>	<b>81,6</b>	<b>85,0</b>	<b>84,7</b>
Trabajadores calificados	29,1	14,5	25,4	17,8	19,9
Trabajadores no calificados	37,3	72,8	56,2	67,3	64,8
<i>Total</i>	<i>100,0</i>	<i>99,8</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>	<i>100,0</i>

*Fuente:* elaboración propia, sobre la base de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) del año 2006.

### D. Mapa radiación solar de Guatemala



## E. Mapa radiación solar de Alemania



## F. Muestra de factura eléctrica en Guatemala.



Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.  
6a. avenida 8-14 zona 1 NIT: 32644-5  
Teleservicio 2277-7000

**Datos del Cliente**

**Nombre** LIZA PAOLA SALGUERO SAZO  
**Dirección de Cobro** SAN CRISTOBAL, 7 AVENIDA 5-31 CASA 8, Zona 8  
**Municipio** Mixco  
**Departamento** GUATEMALA  
**Cuenta** 821-45376-009  
**NIT** 1822416-4

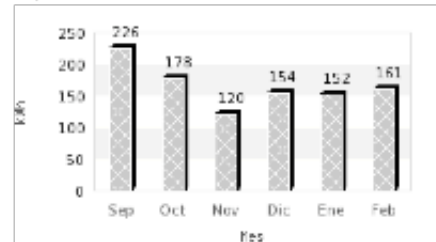
**Datos de Factura y Tarifas**

**Factura Electrónica** CFACE-1-BZ-001-130022753318  
**Referencia Bancos** BZ-022753318  
**Fecha de Emisión** 25/02/2013  
**Contador** K-51567  
**Correlativo** 872523  
**Tarifa** BTSS Tarifa Social  
**Tarifa Vigente** Febrero - Abril 2013

Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)  
Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

**Historial de Consumo**

**Dirección de Servicio** 7 AVENIDA 5-31 SAN CRISTOBAL, Zona 8  
**Municipio** Mixco  
**Departamento** Guatemala



Su consumo promedio por día durante los últimos 6 meses ha sido de 5.51 kWh/día

**Datos de Lecturas**

Fecha de Lectura	Lectura kWh	Lectura kVAh	Potencia Máxima del Mes kW
Actual 25/02/2013	21,615	0	
Anterior 28/01/2013	21,454	0	0.0

Factor de potencia 0.0000  
Le hemos servido durante 28 días

Detalle de Cargos (Q.)	Precios	Consumos	Importe Q.
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	9.261195 Q/usuario-mes		9.26
Cargo por Energía (Sin IVA) primeros 100 kWh	1.893097 Q/kWh	100 kWh	189.31
Aporte a Tarifa Social INDE	-0.143097 Q/kWh	100 kWh	-14.31
Cargo por Energía (Sin IVA) kWh restantes	1.893097 Q/kWh	61 kWh	115.48
Total Cargo (Sin IVA)		161 kWh	299.74
<b>Total Cargo Q. (Con IVA)</b>			<b>335.71</b>
Penalización por Incumplimiento a NTSD (Con IVA)			0.00
Contribución AP (cobro por cuenta de terceros) (Sin IVA)	13.8%	Municipalidad Mixco	41.36
<b>TOTAL CARGOS DEL MES Q.</b>			<b>377.07</b>
<b>Cargos: Q. 264.93 GENERACIÓN Y TRANSPORTE, Q. 77.33 IMPUESTOS Y TASAS, Q. 49.12 DISTRIBUCIÓN.</b>			
Saldo Anterior de 00 mes(es)			-377.07
(+) Mora por saldo anterior (Con IVA)	1.06% Mensual		0.00
<b>Total Saldo Anterior</b>			<b>-377.07</b>
<b>TOTAL A PAGAR</b>			<b>0.00</b>
<small>GFACE: Megaprint, S.A. NIT 5351023-1 CAEC: AjjLcTtGars0fT1zrYAZ0BGT3Vh8BmPff+Hc8KXgcGhagtc+778yhalzr6puA0GJ+u63FvaBPrstGd8W2H8ndQyyeQyrszYhg0WAWuWqjLk0rKh6pctnQ53D4j8Bn3CkC50a2d0Q==</small>			

Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

----CODO PARA BANCO----

**Referencia Bancos**

BZ-022753318

**Fecha de Emisión**

25/02/2013

**Correlativo**

872523

Detalle	Saldo Anterior	Cargos del Mes	Total a Pagar
Total Cuota Sin IVA	-299.74	299.74	0.00
IVA (12%)	-35.97	35.97	0.00
Tasa Municipal	-41.36	41.36	0.00
Mora	0.00	0.00	0.00
<b>TOTALES</b>	<b>-377.07</b>	<b>377.07</b>	<b>0.00</b>



## G. Funcionamiento de la celdas fotovoltaicas: Extracto de Wikipedia

Una celda fotoeléctrica, también llamada célula, fotocélula o celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

La eficiencia de conversión media obtenida por las células disponibles comercialmente (producidas a partir de silicio mono cristalino) está alrededor del 14%, pero según la tecnología utilizada varía desde el 6% de las células de silicio amorfo hasta el 14-22% de las células de silicio mono cristalino. También existen Las células multicapa, normalmente de arseniuro de galio, que alcanzan eficiencias del 30%.

La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable.

Al grupo de células fotoeléctricas para energía solar se le conoce como panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12V ó 24V) a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo.

El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia.

En un semiconductor expuesto a la luz, un fotón de energía arranca un electrón, creando al pasar un «hueco». Normalmente, el electrón encuentra rápidamente un hueco para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón, pues, se disipa. El principio de una célula fotovoltaica es obligar a los electrones y a los *huecos* a avanzar hacia el lado opuesto del material en lugar de simplemente recombinarse en él: así, se producirá una diferencia de potencial y por lo tanto tensión entre las dos partes del material, como ocurre en una pila.

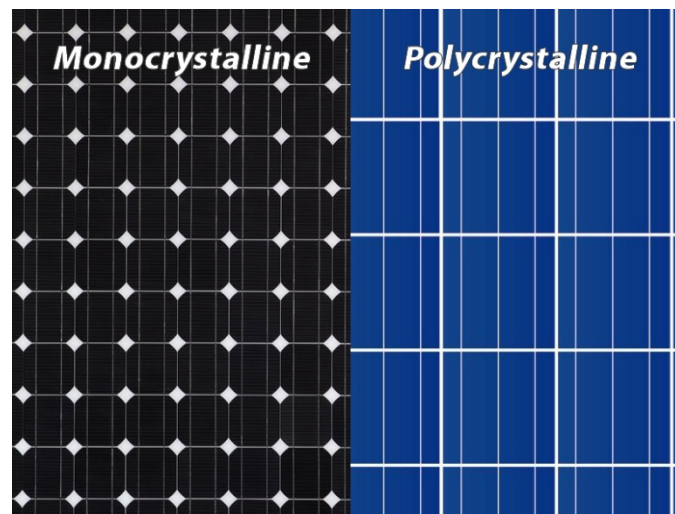
Para ello, se crea un campo eléctrico permanente, a través de una unión pn, entre dos capas dopadas respectivamente, p y n:

- La capa superior de la celda se compone de silicio dopado de tipo n. En esta capa, hay un número de electrones libres mayor que una capa de silicio puro, de ahí el nombre del dopaje n, como carga negativa (electrones). El material permanece eléctricamente neutro: es la red cristalina quien tiene globalmente una carga negativa.
- La capa inferior de la celda se compone de silicio dopado de tipo p. Esta capa tiene por lo tanto una cantidad media de electrones libres menor que una capa de silicio puro, los electrones están ligados a la red cristalina que, en consecuencia, está cargada positivamente. La conducción eléctrica está asegurada por los *huecos*, positivos (p).

En el momento de la creación de la unión pn, los electrones libres de la capa n entran en la capa p y se recombinan con los huecos en la región p. Existirá así durante toda la vida de la unión, una carga *positiva* en la región n a lo largo de la unión (porque faltan electrones) y una carga *negativa* en la región en p a lo largo de la unión (porque los *huecos* han desaparecido); el conjunto forma la «Zona de Carga de Espacio» (ZCE) y existe un campo eléctrico entre las dos, de n hacia p. Este campo eléctrico hace de la ZCE un diodo, que solo permite el flujo de corriente en una dirección: los electrones pueden moverse de la región p a la n, pero no en la dirección opuesta y por el contrario los *huecos* no pasan más que de n hacia p.

En funcionamiento, cuando un fotón arranca un electrón a la matriz, creando un electrón libre y un *hueco*, bajo el efecto de este campo eléctrico cada uno va en dirección opuesta: los electrones se acumulan en la región n (para convertirse en polo negativo), mientras que los *huecos* se acumulan en la región dopada p (que se convierte en el polo positivo). Este fenómeno es más eficaz en la (ZCE), donde casi no hay portadores de carga (electrones o *huecos*), ya que son anulados, o en la cercanía inmediata a la (ZCE): cuando un fotón crea un par electrón-hueco, se separaron y es improbable que encuentren a su opuesto, pero si la creación tiene lugar en un sitio más alejado de la unión, el electrón (convertido en *hueco*) mantiene una gran oportunidad para recombinarse antes de llegar a la zona n (resp. la zona p). Pero la ZCE es necesariamente muy delgada, así que no es útil dar un gran espesor a la célula.

En suma, una célula fotovoltaica es el equivalente de un Generador de Energía a la que hemos añadido un diodo.



Los paneles fotovoltaicos se dividen en:

- Cristalinas
  - Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (Si) (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se

puede apreciar en la imagen, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).

- Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.
- Amorfos: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

**Células de silicio amorfo:** El silicio durante su transformación, produce un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio. La celda es gris muy oscuro. Es la célula de las calculadoras y relojes llamados de «solares». Estas células fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear los mismos métodos de fabricación de diodos.

- Ventajas: Funciona con una luz difusa baja (incluso en días nublados). Una poco menos costosa que otras tecnologías. Integración sobre soporte flexible o rígido.
- Inconvenientes: Rendimiento a pleno sol bajo, del 5% al 7%. Rendimiento decreciente con el tiempo (~7%).

**Célula de silicio monocristalino:** Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones. Luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son de un azul uniforme.

- Ventajas: Buen rendimiento de 14% al 16%. Buena relación  $W_p \text{ m}^2$  (~150 WC/m<sup>2</sup>, lo que ahorra espacio en caso necesario. Número de fabricantes elevado.
- Inconvenientes: Coste más elevado

**Células de silicio policristalino:** Durante el enfriamiento del silicio en un molde, se forman varios cristales. La fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales.

- Ventajas: Células cuadradas (con bordes redondeados en el caso de Si monocristalino) que permite un mejor funcionamiento en un módulo. Eficiencia de conversión óptima, alrededor de 100 Wp/m<sup>2</sup>, pero un poco menor que en el monocristalino. Lingote más barato de producir que el monocristalino.
- Inconveniente: Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

## 17. GLOSARIO

AMM: Administrador del Mercado Mayorista

ARECA: Acelerando las Inversiones de Energías Renovables en Centroamérica

BCIE: Banco Central de Integración Económica

CEPAL: Comisión Económica para América Latina

CNEE: Comisión Nacional de Energía Eléctrica

DEOCSA: Distribuidoras de Electricidad de Occidente, Sociedad Anónima

DEORSA: Distribuidoras de Electricidad de Oriente, Sociedad Anónima

ECOE: Empresa Comercialización de Energía Eléctrica

EEGSA: Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima

EGEE: Empresa de Generación de Energía Eléctrica

ETCEE: Empresa Transporte y Control de Energía Eléctrica

FMAM: Fondo Mundial para el Medio Ambiente

MEM: Ministerio de Energía y Minas

MER: Mercado Eléctrico Regional de Centroamérica

NREL: Laboratorio Nacional para Energías Renovables por sus siglas en inglés

PDNU: Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas

PPA: Acuerdos Privados de Compra de Energía

SNI: Sistema Nacional Interconectado

SWERA: Evaluación de Recursos Energéticos Solar y Eólico por sus siglas en inglés