

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE**



Promoción del desarrollo sustentable;  
aprovechamiento del potencial solar  
mediante una granja solar fotovoltaica a  
mediana escala para viviendas de interés  
social en Ciudad Morelos

---

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**Maestro en Planeación y Desarrollo Sustentable**

PRESENTA:  
**Ing. Benjamin Tascon Mendoza**

DIRECTOR DE TESIS:  
**Dr. Jorge Augusto Arredondo**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios**

Por permitirme culminar esta meta y contribuir a mi superación personal.

### **Silvia Tascon**

Mi madre; por su dedicación, apoyo, sacrificio, ejemplo y amor que me motiva a superarme constantemente.

### **Dr. Jorge Augusto Arredondo Vega**

Mi director de tesis;  
por compartir sus conocimientos, asesoría, experiencia, amistad y su apoyo para concretar este trabajo.

### **Dr. Aníbal Luna León**

Investigador del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California  
Por compartir sus conocimientos, disponibilidad, paciencia, y su amistad para concretar este trabajo.

### **Dra. Judith Ley García**

Investigadora del Instituto de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Baja California;  
Por su asesoría, y su objetiva revisión para enriquecer este trabajo.

### **Dra. Rosa Imelda Rojas Caldelas**

Coordinadora de la maestría en Planeación y Desarrollo Sustentable;  
Por su apoyo, motivación y asesorías durante mis estudios de maestría.

### **Dr. Osvaldo Leyva Camacho**

Investigador del Instituto de Ciencias Sociales de la Universidad Autónoma de Baja California;  
Por su interés y consejos para concretar este trabajo.

### **A todos las personas**

Que directamente e indirectamente colaboraron en la elaboración de este trabajo.

### **Universidad Autónoma de Baja California**

A través de la Facultad de Arquitectura y Diseño e Instituto de Ingeniería;  
Por el apoyo, tiempo de formación docente y facilidades recibidas durante el desarrollo de los estudios de maestría.

### **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**

Por la beca otorgada para los estudios de maestría.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Contenido .....  | 2  |
| Índice de figuras.....   | 4  |
| Índice de tablas.....  | 5  |
| Abreviaturas .....   | 6  |
| Resumen .....  | 7  |
| Abstract .....   | 8  |
| <br>   |    |
| CAPITULO 1. Introducción y Antecedentes .....  | 9  |
| 1.1 Introducción .....   | 9  |
| 1.2 Antecedentes y planteamiento del problema.....                                   | 11 |
| 1.3 Pregunta de investigación.....   | 16 |
| 1.4 Objetivo general .....   | 17 |
| 1.5 Objetivos específicos.....   | 17 |
| 1.6 Justificación.....   | 18 |
| CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO .....  | 23 |
| 2.1 Desarrollo sustentable y energía .....   | 23 |
| 2.2 Recursos naturales.....  | 25 |
| 2.3 Energía de combustibles fósiles .....  | 25 |
| 2.3.1 Contaminación por explotación de combustibles fósiles .....                    | 26 |
| 2.4 Energía Renovable .....  | 27 |
| 2.5 Radiación solar.....   | 30 |
| 2.6 Disponibilidad del recurso solar en México.....                                  | 31 |
| 2.7 Energía solar fotovoltaica.....  | 32 |
| 2.7.1 Celdas fotovoltaicas .....   | 32 |
| 2.8 Energía solar fotovoltaica mediana o gran escala .....                           | 35 |
| 2.9 Flujo energético y la ciudad .....   | 35 |
| CAPITULO 3. MARCO LEGAL, REGULATORIO Y NORMATIVO.....                                | 39 |
| 3.1 Marco institucional para la gestión de la energía eléctrica en México.....       | 39 |
| 3.2 Agendas internacionales, energía y sustentabilidad.....                          | 40 |
| 3.3 Marco legal referente al aprovechamiento de la energía renovable en México ..... | 42 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4 Normas mexicanas en materia fotovoltaica.....   | 44        |
| 3.5 Conclusión de la regulación y normativa eléctrica en México.....                      | 46        |
| <b>CAPITULO 4. ASPECTOS ECONOMICOS.....</b>   | <b>47</b> |
| 4.1 Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial.....                    | 47        |
| 4.2 Comportamiento a nivel nacional de los sistemas fotovoltaicos.....                    | 49        |
| 4.3 Cobro por el suministro de energía eléctrica en México.....                           | 51        |
| <b>CAPITULO 5. METODOLOGÍA.....</b>   | <b>54</b> |
| Fase 1. Demanda eléctrica vivienda interés social.....                                    | 55        |
| Fase 2. Disponibilidad recurso solar (condiciones meteorológicas) en Ciudad Morelos.....  | 56        |
| Fase 3. Simulación fotovoltaica escenario desarrollo 200 viviendas.....                   | 58        |
| Fase 4. Identificación del tamaño del sistema fotovoltaico.....                           | 59        |
| Fase 5. Estudio económico y emisiones de CO <sub>2</sub> granja solar Ciudad Morelos..... | 62        |
| <b>RESULTADOS ESCENARIO FOTOVOLTAICO CIUDAD MORELOS .....</b>                             | <b>64</b> |
| Fase 1. Demanda eléctrica vivienda de interés social .....                                | 64        |
| Fase 2. Disponibilidad del recurso solar .....  | 66        |
| Fase 3. Simulación fotovoltaica para 200 viviendas .....                                  | 68        |
| Fase 4. Identificación del tamaño del sistema fotovoltaico para Ciudad Morelos .....      | 70        |
| Fase 5. Estudio económico y emisiones de CO <sub>2</sub> granja solar Ciudad Morelos..... | 72        |
| <b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES.....</b>  | <b>78</b> |
| 6.1 Conclusiones .....  | 78        |
| 6.2 Recomendaciones.....  | 80        |
| Bibliografía .....  | 83        |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 Radiación solar anual México.....  | 14 |
| Figura 2.1 Irradiación anual mundial. ....  | 31 |
| Figura 2.2 Irradiación anual Baja California.....   | 32 |
| Figura 2.3 Esquema del módulo solar fotovoltaico.....   | 33 |
| Figura 2.4 Esquema de celda solar, módulo y arreglo fotovoltaico. ....  | 33 |
| Figura 2.5 Modelo <i>ecodivice</i> , flujos y problemas ambientales. ....   | 37 |
| Figura 2.6 Escalas de análisis y responsabilidades para los impactos en los sistemas urbanos. ....  | 38 |
| Figura 4.1 Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial 1995-2011. ....  | 47 |
| Figura 4.2 Capacidad instalada con sistemas FV en países líderes 2000 – 2011. ....  | 48 |
| Figure 4.3 Costo del Watt Fotovoltaico instalado durante 1998-2012.....   | 48 |
| Figura 4.4 Evolución de la capacidad instalada y generación eléctrica de sistema fotovoltaicos en México 2005-2011. ....                          | 49 |
| Figura 4.5 Inversión de energías renovables en México. ....   | 50 |
| Figura 4.6 Estructura de tarifas residenciales (1A). ....   | 51 |
| Figura 5.1 Procedimiento metodológico. ....   | 55 |
| Figura 5.2 Planta tipo vivienda interés social.....   | 56 |
| Figura 5.3 Inclinación para tecnologías térmicas en Baja California.....  | 57 |
| Figura 5.4 Fraccionamiento Valle de Cuervos, Ciudad Morelos B.C.....  | 59 |
| Figura 5.5 Dimensionamiento primario fotovoltaico en hoja de cálculo Excel. ....  | 60 |
| Figura 5.6 Simulación de sistema fotovoltaico interconectado a la red TRNSYS.....   | 61 |
| Figura 5.7 Monitoreo del consumo eléctrico en los días 14 de cada mes del 2012. ....  | 65 |
| Figura 5.8 Grafica consumos eléctricos aire acondicionado y consumos totales 2012.....  | 65 |
| Figura 5.9 Irradiación horizontal anual para Ciudad Morelos. ....   | 67 |
| Figura 5.10 Separación entre módulos en mes crítico (diciembre 21). ....  | 72 |
| Figura 5.11 Consumo eléctrico y costo de 200 viviendas interés social. ....   | 73 |
| Figura 5.12 Consumo eléctrico y costo (CFE) de 200 viviendas interés social interconectadas a la red con una potencia instalada de 2.36 kWp. .... | 74 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1.1 Distribución de localidades por delegación. ....  | 15 |
| Tabla 4.1 Número de hogares con mayor potencial en la aplicación de sistemas fotovoltaicos.....   | 52 |
| Tabla 5.1 Electrodomésticos de la vivienda de interés social. ....  | 64 |
| Tabla 5.2 Demanda eléctrica máxima. ....  | 66 |
| Tabla 5.3 Consumos eléctricos anuales y diarios.....  | 66 |
| Tabla 5.4 Producción energía de acuerdo con la orientación e inclinación de paneles fotovoltaicos en Ciudad Morelos. ....                                       | 68 |
| Tabla 5.5 Consumo eléctrico de 200 viviendas interés social.....  | 69 |
| Tabla 5.6 Comportamiento eléctrico (CFE vs. FV) de 200 viviendas interés social interconectadas a la red eléctrica con una potencia instalada de 2.36 kWp. .... | 70 |
| Tabla 5.7 Especificación modulo fotovoltaico Grape Solar.....   | 71 |
| Tabla 5.8. Estrategia de interconexión a mediana escala de CFE.....   | 75 |
| Tabla 5.9 Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> por campo fotovoltaico propuesto en Ciudad Morelos.....   | 76 |
| Tabla 5.10 Consumos eléctricos días 14 primer trimestre. ....   | 88 |
| Tabla 5.11 Consumos eléctricos días 14 del segundo trimestre.....   | 89 |
| Tabla 5.12 Consumos eléctricos días 14 del tercer trimestre. ....   | 90 |
| Tabla 5.13 Consumos eléctricos días 14 del cuarto trimestre. ....   | 91 |

## **Abreviaturas**

ANCE: Asociación de Normalización y Certificación

CFE: Comisión Nacional de Electricidad

CRE: Comisión Reguladora de Energía

GEI: Gases efecto invernadero

GWh: Giga watt hora

ILLOSEN: Instituto

INE: Instituto Nacional de Ecología

KV: Kilovoltio

KWp: Kilowatt pico

MWh: Megawatts hora

NAFIN: Nacional Financiera

PND: Plan Nacional de Desarrollo

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

SEGOB: Secretaria de Gobernación

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SENER: Secretaria de Energía

TWh: Tera watt hora

UNEP: United Nation Programee

UPC: Universidad Politécnica de Cataluña

## Resumen

La historia nos muestra como la carencia o costo económico de la energía, genera desequilibrios económicos a escala mundial, esto debido a que su generación está basada en recursos no renovables como son los combustibles fósiles (gas natural, combustóleos y carbón). Estos combustibles son responsables en cierta forma del calentamiento global ya que al ser quemados para lograr la generación de energía eléctrica liberan gases de efecto invernadero (GEI) a la atmosfera.

La energía es fundamental para el desarrollo de las sociedades industrializadas y globalizadas del mundo actual, esto debido a que el comportamiento económico-social está ligado al energético. Se observa que a consecuencia del crecimiento poblacional se experimenta incrementos en la demanda eléctrica en el sector residencial por lo que se consume a gran velocidad las reservas de combustibles fósiles para mantener el *estilo actual de vida*, como satisfacer las necesidades de entretenimiento, trabajo, calentamiento de agua, iluminación, alimentación (cocción y conservación) y climatización artificial por mencionar algunos.

En esta investigación el objetivo principal es estudiar el impacto energético, que se produce al aprovechar el potencial solar a mediana escala mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad destinada a viviendas de interés social en el contexto de Ciudad Morelos B.C., a manera de promover un desarrollo sustentable a través del fomento a la transición hacia una energía limpia.

En el contexto energético de Cd Morelos, el resultado de la investigación del potencial de radiación demuestra que técnicamente si es factible la instalación de una granja solar fotovoltaica que respete el límite de 500 kW (contrato de interconexión de mediana escala) y suministre el 100% de la energía demandada anualmente por un complejo habitacional compuesto por un máximo de 200 viviendas de interés social, siendo este el conjunto básico recomendable. En lo económico se obtiene que la recuperacion de la inversion oscila en 11.7 años. Aunado a lo anterior se obtuvo que en el contexto ambiental se pueden reducir la emisión a la atmosfera de 630.8 toneladas CO<sub>2</sub> (si la electricidad se genera a partir de gas/diésel) o hasta 941.3 toneladas de CO<sub>2</sub> (a partir de carbón mineral).

## **Abstract**

The story shows how the lack or increment on the cost of energy generates global economic imbalances; this as a consequence of generating energy from non-renewable resources such as fossil fuels (natural gas, fuel oils and coal). These fuels are somehow responsible for global warming because when burned to generate electricity they release greenhouse gases into the atmosphere.

Energy is essential for the development of industrialized societies in the globalized world; this is so due to the fact that socio-economic behavior is linked to energy. The increase on the demand of electricity in the residential sector is observed as a direct consequence of the population growth. Fuel reserves are being consumed at a high speed to maintain current life style and assure the needs of entertainment, work, hot water, light, food (cooking and preservation ) and artificial climate just to name a few .

The main objective in this research is to study the energy impact as a result of harnessing the solar potential at a medium-scale by installing photovoltaic systems to generate electricity for public housing in the context of Ciudad Morelos BC, this as a way to promote sustainable development through the promotion of a clean energy transition .

In the energy context within Ciudad Morelos, the investigation results shows that it is technically feasible to install a photovoltaic solar field under the limit of 500 kW (established in the medium scale grid tied contract) supplying 100% of the annually required energy from housing complex of no more than 200 homes (public housing) becoming this number the basic housing complex recommended. In the economic aspect the payback ranges in 11.7 years. Added to this in the environmental context the solar field can reduce the emission into the atmosphere of 596.7 tons CO<sub>2</sub> (if the electricity is generated from gas / diesel) or up to 890.5 tons of CO<sub>2</sub> (from coal).

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

### **1.1 Introducción**

El objetivo principal de este trabajo de investigación es estudiar el impacto ambiental en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, que se produce al aprovechar el potencial solar a mediana escala (limite 500 kWp) a través de sistemas fotovoltaicos, así como su viabilidad económica al aplicarlos en viviendas de interés social, en el poblado Ciudad Morelos ubicado en la zona del Valle de Mexicali en Baja California.

El principal argumento aquí es que el crecimiento poblacional produce una demanda creciente de vivienda lo que a su vez ejerce cada vez una mayor presión sobre los recursos naturales no renovables como son los combustibles fósiles, esto producto de la demanda de energía por parte de esas viviendas. El suministro de energía eléctrica al sector doméstico por medio de combustibles convencionales genera externalidades tales como lluvia ácida y un incremento en el calentamiento global, producto de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por la quema de los combustibles fósiles.

En los últimos años en Baja California, se ha observado cómo el crecimiento poblacional se ha reflejado en la construcción de nuevos conjuntos habitacionales los cuales a su vez han incrementado la demanda energética eléctrica para cubrir sus necesidades. De acuerdo con la SENER (2006) para el periodo 2005 a 2015 se preveía un incremento de 4.7% anual en la demanda domestica, este aumento en la demanda eléctrica ejerce cada vez más presión sobre los recursos naturales no renovables como son los combustibles fósiles.

Para aumentar las posibilidades de que las generaciones futuras puedan desarrollarse es necesario promover un desarrollo sustentable como se establece en el Informe Mundial sobre el Desarrollo Humano de 1994 en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, sus objetivos se retoman en el contexto nacional dentro del Plan Nacional de desarrollo (PND) 2007-2012. Con relación a lo anterior el PND 2007-2012 identifica la sustentabilidad energética como factor clave para lograr ese desarrollo y atender los tratados concernientes con la reducción de GEI a los que México se ha incorporado.

Una manera de acercarse a esa sustentabilidad energética y atender los efectos secundarios que genera suministrar electricidad al sector residencial por medio de combustibles fósiles, es aprovechando las regiones climáticas que favorezcan la utilización de energías renovables. Para ello es preciso realizar investigaciones que permitan conocer el potencial de recursos renovables con los que se cuenta las distintas regiones de México, y de esta manera generar y establecer estrategias específicas para cada localidad que permitan mitigar los efectos nocivos y promover una sustentabilidad en lo que concierne el flujo energético doméstico de las ciudades.

Como se mencionó al inicio, este trabajo aborda el aspecto ambiental, económico y energético de la utilización de sistemas fotovoltaicos para el aprovechamiento de la energía solar en el contexto de Ciudad Morelos, sin embargo se profundiza o se hace mayor énfasis en el aspecto energético debido a que se tiene especial interés en investigar el potencial solar existente en esta localidad y de esta manera fomentar que este tipo de información se considere dentro de la planeación y gestión urbana de los futuros centros de población.

A pesar de que ya han pasado algunos años desde el desarrollo de esta tecnología para el aprovechamiento solar, sigue sin obtener mucha difusión y aplicación en nuestro país, cabe mencionar que con el paso del tiempo esta tecnología se ha ido mejorando, incrementando su eficiencia y disminuyendo su tamaño así como los costos de los instrumentos que transforman la energía solar a energía eléctrica. Por lo que resulta interesante investigar el dimensionamiento adecuado que deben tener los sistemas fotovoltaicos al aprovechar las características del contexto de Ciudad Morelos para suministrar energía a un desarrollo de vivienda de interés social.

En síntesis se seleccionó Ciudad Morelos como sitio de estudio debido a que es uno de los poblados que presenta rápido crecimiento y se perfila a ser un futuro centro de población en el Valle de Mexicali, en 2010 registro una tasa de crecimiento mayor a la municipal pasando de registrar en 2005 6,814 8,243 en 2010 (INEGI, 2010). Recientemente las grandes desarrolladoras han realizados proyectos de viviendas de interés social en el poblado, debido a lo anterior y aunado a las condiciones climáticas del sitio de estudio hacen atractivo investigar las ventajas del potencial solar de este tejido urbano para la generación de energía

limpia que atienda la demanda de estos nuevos desarrollos habitacionales y en consecuencia actuar de forma proactiva promoviendo un desarrollo sustentable.

En el primer capítulo se analizan algunos antecedentes en relación a la producción convencional de energía eléctrica y su consumo. Enseguida en el segundo capítulo se realiza una revisión bibliográfica y análisis de casos que sirven de referencia y soporte para la propuesta, concerniente a cómo es que las energías renovables en este caso la solar ayuda en el proceso del desarrollo sustentable. En el tercer capítulo se presenta el marco teórico el cual se divide en dos partes, en la primera se realiza el planteamiento de la energía renovable basados en los principios de la sustentabilidad, después en la segunda parte se analiza la normatividad existente en materia de generación de donde se desprenderán las oportunidades actuales y las limitantes para la generación de energías limpias en México. En el cuarto capítulo se abordan aspectos de carácter económico donde se muestra el comportamiento de las energías renovables a nivel mundial y nacional, en este mismo capítulo se presentan los nichos de oportunidad para la energía solar fotovoltaica. La metodología que dará dirección y referencia a la investigación se presenta en el quinto capítulo y se finaliza con un sexto capítulo donde se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones del trabajo.

## **1.2 Antecedentes y planteamiento del problema**

Según el Consejo Nacional del Petróleo, se anticipa que la demanda global total de energía crecerá en un 50 a 60 por ciento para el año 2030, como resultado del crecimiento de la población mundial y la búsqueda de mejores estándares de vida (Comisión Nacional del Petróleo, 2007). Al mismo tiempo, se observan cada vez más riesgos relacionados con el suministro de una energía confiable y accesible, destinada a satisfacer este crecimiento, que incluyen barreras políticas, requerimientos de infraestructura y disponibilidad de personal capacitado. Por lo que a corto plazo se necesitaran todas las fuentes de energía, económica y ambientalmente responsable, a fin de garantizar un abastecimiento adecuado y confiable.

La referencia anterior nos establece en cierta forma que la energía es determinante para la economía mundial, asimismo en los campos sociales y ambientales, por ello existe una genuina preocupación por mantener la seguridad energética y el papel que deberán jugar las

diversas fuentes de energía en el desarrollo sustentable de las sociedades durante el Siglo XXI (SENER, 2007).

La energía desempeña un rol fundamental en las sociedades del mundo actual industrializado y globalizado, pues el comportamiento socioeconómico de la humanidad presenta una dependencia energética. El déficit o costo económico de la energía, produce desequilibrios económicos a escala mundial, debido principalmente a que su generación está basada en recursos no renovables como son los combustibles fósiles (gas natural, combustóleos y carbón). La industria mundial consume a gran velocidad las reservas de combustibles fósiles para mantener el *estilo actual de vida*. Al ser estos recursos naturales finitos ocasionan una insostenibilidad en los sistemas energéticos, además de coadyuvar al problema conocido como calentamiento global. La energía de estos combustibles se obtiene al quemarlos, proceso en el que se forman grandes cantidades de anhídrido carbónico y otros gases contaminantes que se emiten a la atmósfera (Osma, Ordoñez, 2010).

Razonablemente, a partir de la década de los setenta se ha promovido mundialmente el uso de *recursos renovables* (Sol, viento, energía hidráulica, biomasa entre otras) en la producción de energía eléctrica como una medida para reducir la presión sobre los recursos no renovables. Sin embargo, barreras de mercado, financieras y legales a las energías de fuentes convencionales habían impedido su expansión.

Estas energías se consideran principalmente una buena alternativa económica frente a la volatilidad de precios de los combustibles, y además para reducir el impacto ambiental y promover el *desarrollo sustentable*. Por ejemplo, se considera una buena alternativa de desarrollo social, pues resulta económicamente más viable que la energía convencional en zonas rurales, aisladas por su lejanía de las redes de distribución. Sin embargo, su utilización es muy pequeña, ya que las consideraciones de evaluación son a corto plazo, sin considerar los beneficios a largo plazo y la ventaja de poder estabilizar precios y abasto energético a futuro. Lo anterior, más los subsidios destinados a los combustibles fósiles disponibles, frena la promoción de estas tecnologías (Ibáñez, 2009).

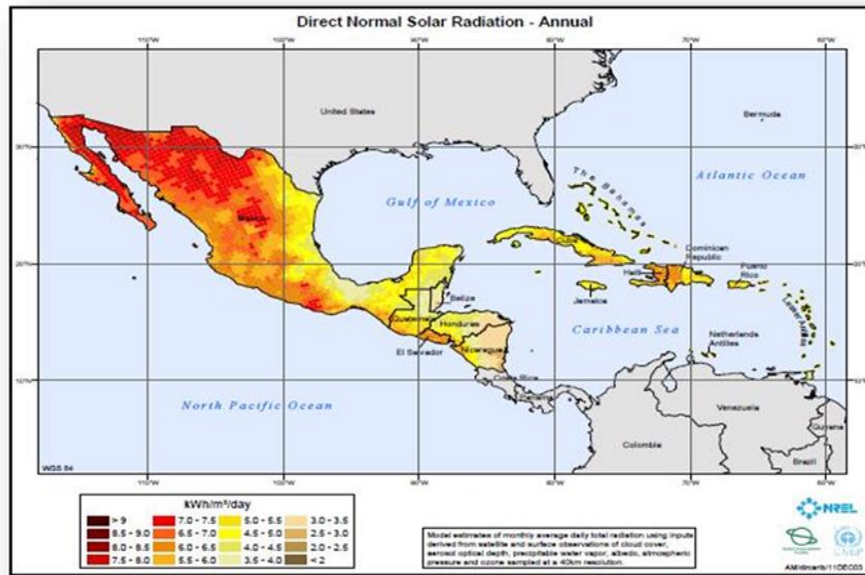
La Secretaría de Energía estima que el consumo nacional de electricidad en México para el periodo 2005-2015 crecerá con una tasa anual de 4.8%. Se espera que el consumo muestre un incremento de alrededor de 113 TWh al pasar de 191.3 TWh en 2005 a 304.7 TWh en 2015 (SENER, 2006). Este crecimiento estará impulsado principalmente por las ventas al público, que se estima crecerán con un ritmo de 5.1% en promedio anual. Se estima que las ventas internas sigan una tendencia al alza como efecto de causales muy importantes como son el ritmo de *crecimiento económico y el crecimiento poblacional*. Específicamente, *los sectores residencial, comercial y de servicios que integran el denominado desarrollo normal, crecerán anualmente 4.7% en conjunto (SENER, 2006).*

Debido a esta tendencia de crecimiento de los sectores residenciales derivados del crecimiento poblacional el cual está vinculado y se ve reflejado en el consumo de energía eléctrica, se cree conveniente realizar investigaciones concernientes al suministro de energía provenientes de fuentes renovables, sin embargo no todas las fuentes de energía renovable se pueden instalar a escala urbana, debido a la limitante de espacio y la falta de recursos de la ciudad (como la energía eólica necesita de espacio adecuado para poder instalar las turbinas).

Como punto de referencia para las energías renovables en México, el país cuenta con un potencial eólico de 40,268 MW, de 53,000 MW en lo correspondiente al potencial hidroeléctrico, el potencial geotérmico es de 40,000 MW, la biomasa cuenta con el potencial que oscila entre 83,500 y 119,498 MW, por último se considera que el potencial de insolación en la región norte de México es de los más altos del mundo, debido a que se encuentra en la zona conocida como “cinturón solar” y se estima con una irradiación media de 5 kWh/m<sup>2</sup> (Secretaría de Economía, 2013).

El estado de Baja California, particularmente el municipio de Mexicali, tiene un potencial de radiación que oscila desde los 6 hasta los 8 kWh/m<sup>2</sup>/día (figura 1.1), lo cual representa una oportunidad para la implementación de tecnología que aproveche la energía solar (UNEP, 2011).

**Figura 1.1 Radiación solar anual México.**



Fuente: SWERA, 2011.

Las características naturales que presenta el contexto del Valle de Mexicali lo convierten en un nicho de oportunidades para la generación de energía solar debido a sus características climáticas así como su topografía que presenta poca variación en su altura. Por lo anterior resulta viable aprovechar el recurso solar con el que cuenta la localidad, transformando la radiación solar en energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos.

Esta zona conocida como Valle de Mexicali tiene un clima extremo veranos cálidos con temperatura que llegan a alcanzar los 50° C e inviernos muy fríos, estos climas generan que se busque el confort climático en las viviendas a través de aire acondicionado o calentadores por mencionar algunos, lo anterior aunado al crecimiento poblacional representan otros de los factores que propician el incremento en el consumo de energía eléctrica en la ciudad (Padilla, Juárez, 2000).

Existen en el municipio de Mexicali 14 delegaciones de las cuales 11 de ellas están incluidas en la región del Valle. Las delegaciones son las siguientes: Algodones, Cd. Morelos, Benito Juárez, Ejido Hermosillo, Hechicera, Batáquez, Cerro Prieto, Guadalupe Victoria, Colonias Nuevas, Colonia Carranza y Estación Delta. En la Tabla 1.1 se muestra la distribución de las localidades que contiene cada una de estas delegaciones del Valle.

Tabla 1.1 Distribución de localidades por delegación.

| DISTRIBUCION DE LOCALIDADES POR DELEGACION |  |           |         |           |            |            |          |             |               |                 |          |       |              |
|--|--|-----------|---------|-----------|------------|------------|----------|-------------|---------------|-----------------|----------|-------|--------------|
| TIPO                                       |  | ALBAYONES | MORELOS | B. JUAREZ | HERMOBILLO | HECHICHERA | BATAQUEZ | CERRO PRETO | GRU. VICTORIA | COLONIAS NUEVAS | CARRANZA | DELTA | CIUDAD VALLE |
| POBLADOS                                   |  | 1         | 10      | 3         | 6          | 7          | 3        | 5           | 6             | 2               | 6        | 3     | 52           |
| EJIDOS                                     |  | 6         | 10      | 8         | 11         | 10         | 8        | 11          | 5             | 9               | 18       | 11    | 107          |
| COLONIAS AGRICOLAS                         |  | 6         | 9       | 8         | 5          | 5          | 4        | 15          | 17            | 4               | 17       | 4     | 94           |
| RANCHOS (CAMPOS)                           |  | 9         | 29      | 14        | 16         | 4          | 5        | 14          | 6             | 2               | 5        | 1     | 105          |
| CAMPOS TURISTICOS                          |  | 0         |         |           |            |            |          |             |               |                 | 20       | 0     | 20           |
| TOTAL                                      |  | 22        | 58      | 33        | 38         | 26         | 20       | 45          | 34            | 17              | 66       | 19    | 378          |

Fuente: XVI Ayuntamiento de Mexicali, 2000.

De la tabla 1.1 se puede observar que la delegación de Ciudad Morelos se encuentra las siguientes tipificaciones; 10 poblados, 10 ejidos, 9 colonias agrícolas y 29 ranchos, lo que lo posiciona en segundo lugar de importancia después de la delegación Carranza.

El Valle de Mexicali está atravesando por un proceso de reconcentración de población y de las actividades económicas, además son importantes las tendencias de urbanización y centros económicos que están adquiriendo ciudades como Cd. Morelos y Cd. Guadalupe Victoria Km. 43. Dos datos confirman esta tendencia, el primero es el crecimiento de ambas localidades en sus zonas y la segunda es que las actividades productivas formales registradas en los censos económicos concentraron el 3.84% de la ocupación total municipal para este año en Cd. Guadalupe Victoria Km. 43 y el 2.27 % en Ciudad Morelos (XVI Ayuntamiento de Mexicali, 2000).

Ciudad Morelos se encuentra en las coordenadas geográficas 32° 37' 47"N y 111° 51'48" O se encuentra dentro de la gran llanura aluvial que formo el Río Colorado, espacio geográfico que se caracteriza por la poca o nula variación en la altura de la superficie o terreno con respecto al nivel del mar, específicamente se encuentra a una altura entre los 30 y los 32m (snmm). Esta ubicación geográfica lo posiciona como la opción ideal dentro del país para el aprovechamiento de la energía solar mediante sistema fotovoltaicos (XVI Ayuntamiento de Mexicali Baja California, 2000).

De acuerdo con el Censo General de Población y Vivienda 2010, en el Poblado de Ciudad Morelos (Cuervos) habitan un total de 8,243 personas con una densidad de población de 22.91 hab/ha. Del total de población 50.86% son hombres (4,193) y 49.14% son mujeres (4,050) (INEGI, 2010). De 2005 a 2010 la población se ha incrementado de forma considerable, de registrar 6,814 en 2005 a 8,243 habitantes en 2010 posicionándolo con una tasa mayor a la municipal. Crecimiento que pudiera relacionarse con la inmigración o producto de la expulsión de trabajadores agrícolas indocumentados de Estados Unidos.

En consecuencia en el contexto de la vivienda en Ciudad Morelos se experimenta un constante incremento, de acuerdo con el censo INEGI 1990 la localidad contó con 1,560 viviendas, mientras que para el año de 1995 el calculó total fue de 1730 viviendas, en 1998 el registro de viviendas ascendió a 2280, y por último en 2009 se cerró con un total de 2835 viviendas presentando un aumento de 7% (555) casas de 1998 al 2009, las anteriores construidas por desarrolladores de vivienda en serie (INEGI, 2010).

De acuerdo con lo anterior, resulta interesante conocer de forma precisa el potencial solar con el que cuenta Ciudad Morelos y como puede este contribuir al desarrollo sustentable en esta localidad. Es importante conocer cuanta energía se puede generar bajo el contrato de interconexión de mediana escala de CFE, para ello es necesario conocer el potencial del recurso solar en la zona de estudio, para después proceder a investigar cual es el tamaño del arreglo fotovoltaico que se puede instalar y a cuantas viviendas se puede beneficiar con el suministro de esta energía renovable, precisamente para promover el desarrollo sustentable como lo sugieren las agendas internacionales y, en cierta manera, responder a la problemática que se mencionó en párrafos anteriores concerniente al crecimiento poblacional mismo que incide directamente en la demanda de vivienda, por ende en el consumo eléctrico y sobre el ambiente.

### **1.3 Pregunta de investigación**

Con base en lo anterior surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto energético del aprovechamiento del potencial solar a través de una granja fotovoltaica bajo el contrato de interconexión de mediana escala CFE para uso en vivienda de interés social de Ciudad Morelos (Valle de Mexicali B.C.)?

De la cual se desprenden preguntas específicas:

- ¿Cuál es la demanda promedio mensual de electricidad de las viviendas de interés social en la región?
- ¿Cuál es el potencial de radiación solar aprovechable para Ciudad Morelos B.C.?
- ¿Cuál es la orientación e inclinación óptima que los paneles fotovoltaicos deben tener para lograr la mayor producción de electricidad en Ciudad Morelos?
- ¿Es factible suministrar energía eléctrica a un desarrollo compuesto de 200 viviendas de interés social bajo el límite de potencia establecido en el contrato de interconexión de mediana escala de CFE?
- ¿Cuál es la superficie requerida con la que debe contar el campo solar fotovoltaico para satisfacer la demanda eléctrica de un desarrollo propuesto de 200 viviendas?
- ¿Cuánto dióxido de carbono se dejaría de producir de acuerdo al dimensionamiento fotovoltaico obtenido para cubrir la demanda eléctrica del desarrollo propuesto de 200 viviendas en Ciudad Morelos?

#### **1.4 Objetivo general**

El objetivo general del presente trabajo es conocer el impacto energético que se obtienen al aprovechar el potencial solar a través de una granja fotovoltaica bajo el contrato de interconexión a mediana escala CFE vinculada exclusivamente al uso en vivienda de interés social para promover el desarrollo sustentable en el contexto de Ciudad Morelos.

#### **1.5 Objetivos específicos**

Para lograr el objetivo anterior se requiere lo siguiente:

- Es preciso investigar el comportamiento del consumo eléctrico mes a mes de la vivienda de interés social para así poder proceder a proponer el dimensionamiento que responda a dichas necesidades y se adecue a los sistemas fotovoltaicos.
- Conocer el potencial de radiación solar que existe en Ciudad Morelos y cuanta energía se puede generar a partir de este, en lo que concierne a los paneles cual es la orientación, inclinación y separación adecuada para obtener una mejor captación de radiación y por ende mejor una producción de electricidad, así como cuáles son las

zonas con las mejores características ambientales para la instalación de los sistemas fotovoltaicos,

- Es importante conocer la superficie con la que se requiere contar para que el campo fotovoltaico pueda satisfacer las necesidades de un desarrollo promedio de 200 viviendas, también se tiene que tener en cuenta que el dimensionamiento del campo fotovoltaico debe respetar el límite de potencia instalada establecido CFE en el contrato de interconexión de mediana escala.
- De igual manera un objetivo es conocer el aporte en materia ambiental que generaría el campo solar fotovoltaico en Ciudad Morelos, es decir cuánto CO<sub>2</sub> se dejara de emitir a la atmosfera al sustituir la energía generada con fuentes convencionales por la de la granja fotovoltaica propuesta.

## **1.6 Justificación**

En 1979 se observó como la volatilidad en los costos del petróleo pueden crear inestabilidad energética, económica y ambiental. La energía juega un papel fundamental en el desarrollo de los países, en consecuencia para 2030 se estima que la demanda global total de energía se duplicara por lo que es recomendable investigar fuentes que puedan asegurar el suministro de energía confiable (Consejo Nacional del Petróleo 2007).

El crecimiento demográfico produce cada vez más urbanización que a su vez genera impactos negativos sobre el medio ambiente, lo anterior debido a que se intenta responder a los requerimientos de viviendas para las familias, viviendas que a su vez requieren de energía para asegurar el confort térmico, la preparación de alimentos, calentamiento de agua iluminación entre otras, por lo que cada vez se debe de incrementar la producción de energía eléctrica, este incremento en la producción viene acompañado de presión sobre recursos naturales no renovables como los combustibles fósiles así como de la liberación a la atmosfera de gases efecto invernadero los cuales contribuyen al calentamiento global.

Ciudad Morelos no es ajeno a lo anterior ya que se perfila como uno de los centros de población más importantes del Valle debido a su distribución de localidades, por ello recientemente las desarrolladoras de vivienda han construido nuevos conjuntos habitacionales en la localidad, esto es congruente con el pronóstico de la SENER (2007) en el cual establece

que el consumo para el sector residencial en el periodo de 2005 a 2015 se incrementara alrededor de 5%, resulta interesante investigar la manera de responder a la demanda eléctrica de dichas viviendas utilizando la energía renovable endógena. Para Ciudad Morelos resulta conveniente utilizar la energía solar debido a las condiciones climáticas que presenta y a los contratos de cogeneración de fuente renovable de CFE disponibles en la actualidad, de esta manera se puede realizar la transición energética y contribuir a un desarrollo sustentable, al reducir de forma parcial la presión sobre los recursos naturales particularmente sobre los combustibles fósiles, así como aumentar el valor agregado de las actividades económicas de la zona.

Para combatir los riesgos relacionados con la explotación de combustibles fósiles y para promover el desarrollo sustentable se sugieren la investigación y promoción de energías renovables tanto en las agendas a nivel internacional como en los planes y leyes a nivel nacional. A continuación se presentan algunos de los lineamientos sugeridos a nivel internacional y nacional.

### **Nivel internacional**

La transición hacia la utilización de las energías renovables sugerida en la *agenda 21 de Rio de Janeiro* (1992) para alcanzar el desarrollo de manera sustentable, en su capítulo nueve vincula estas energías como opción para mitigar el calentamiento global. De igual manera en la Cumbre Mundial de las Naciones Unidas de 2005, en la agenda titulada “*energía para el desarrollo*” la energía renovable es promovida debido a que su fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua, a diferencia de los recursos no renovables (combustibles fósiles).

Este tipo de energía es una manera de dar respuesta a la creciente demanda eléctrica y promueve el desarrollo sustentable, debido a esto el tema de energía se ha movido en las últimas décadas hasta la cima de las agendas internacionales, se ha considerado que la energía renovable ha recibido atención debido a su potencial de ganar-ganar tanto para el área ambiental como para el desarrollo (REN21, 2012).

## **Nivel nacional**

En el contexto nacional se considera a la energía como un potencial para el desarrollo, por ello en uno de los tres puntos sobre los que descansa el Programa Sectorial de Energía (2007-2012) se establece que se debe promover intensamente la eficiencia energética y las energías renovables con la finalidad de disminuir el impacto ambiental que se deriva por la utilización de combustibles fósiles (SENER, 2007).

A escala estatal y municipal este enfoque es congruente, ya que dentro de la visión de metropolización sustentable del municipio de Mexicali, la energía se considera parte esencial del sistema de flujos para proveer oportunidades de acceso a sus habitantes (Secretaría General de Gobierno del Estado de Baja California, 2012). El abasto de bienes y servicios demandan tecnologías cada vez más eficientes, es aquí donde la energía renovable jugara un papel importante para la transición hacia lo sustentable (Secretaría General de Gobierno del Estado de Baja California, 2012). Dentro de los valores de esa visión de metropolización la energía solar (energía renovable) se identifica con la innovación así como con la generación de empleos, los que a su vez contribuyen al desarrollo regional.

En la actualidad la CONUEE elabora programas para fomentar la utilización de electrodomésticos eficientes, los cuales tienen como objetivos disminuir el consumo de energía, sin embargo el crecimiento exponencial de la población y la globalización que propone estilos de vida insustentables, hace muy complicado el hecho de pensar en disminuir el consumo eléctrico y la eficiencia energética por sí sola no es suficiente. Estos programas tienen que complementarse con un suministro de energía renovable y es aquí donde la energía solar para la generación de electricidad viene a complementar esa eficiencia para así poder acercarse promover un desarrollo sustentable.

De acuerdo con todo lo anterior es necesario realizar una investigación sobre el potencial solar de una localidad específica, para lo cual se ha elegido el poblado denominado Ciudad Morelos debido a sus características de localización geográfica así como de rápido crecimiento urbano. La investigación incluirá además una propuesta de diseño de sistemas fotovoltaicos al utilizar las recomendaciones sobre el contrato de interconexión en mediana escala de CFE para responder a la demanda energética de los nuevos conjuntos habitacionales.

## 1.7 Hipótesis

Con base en lo anterior y en las investigaciones realizadas por ILLSEN (2004), SENER (2012), Luna (2008) concerniente a tecnologías renovables recomiendan la transición a energías renovables en aras de mitigar las emisiones de efecto invernadero y otros gases nocivos para la salud así como la reducción en el subsidio y el consumo de combustibles fósiles destinados para el suministro eléctrico para de esta manera combatir la volatilidad en el costo de ellos. Con base en lo anterior se plantea a continuación la hipótesis de este trabajo:

*La utilización de tecnología fotovoltaica a mediana escala para el aprovechamiento de la energía solar en el contexto de la vivienda de interés social tiene poca o nula aplicación en Ciudad Morelos B.C., sin embargo representa una alternativa energética viable y renovable para el suministro de electricidad, la mitigación de gases efecto y la promoción de un desarrollo debido al potencial solar con el que se cuenta en la región.*

Esta hipótesis se basa en que en la actualidad se recurre a combustibles fósiles y en ocasiones al uso de tecnologías fotovoltaicas en casos de vivienda individual pero no se utiliza tecnología fotovoltaica a mediana escala, es decir granjas solares para aprovechar el potencial solar y suministrar electricidad al sector residencial prorrateando los costos de inversión, sin embargo la utilización de energías endógenas representa una alternativa energética viable y una manera de promover el desarrollo sustentable en pequeñas localidades como Ciudad Morelos B.C.

## **Limitantes del estudio**

En esta investigación se pueden encontrar limitaciones derivadas del tipo de estudio y su objetivo como las siguientes; se utilizaron las lecturas de los consumos eléctricos de la vivienda de interés social en Villa del Roble debido a la oportunidad que representaba obtener la información del estudio elaborado por Instituto de Ingeniería de la UABC, en el cual se instalaron dispositivos eléctricos que registraron los consumos de forma horaria durante un año en la vivienda. Por otra parte es preciso mencionar que esta investigación se enfoca con mayor fuerza en las oportunidades energéticas del aprovechamiento de la energía solar en la zona de estudio y se apega a las normas que se establecen en el contrato de interconexión a media escala de CFE, por lo que se realiza un diseño fotovoltaico respetando dicha normativa y se analizan sus beneficios en la vivienda de interés social.

## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Desarrollo sustentable y energía

En el periodo de los años setenta, como respuesta a los efectos sociales surge como un nuevo modelo denominado “necesidades básicas”, el cual pretende satisfacer precisamente las necesidades básicas de los asentamientos humanos, particularmente a los más pobres. En esta época el Estado es asumido como proveedor de servicios y el aspecto ambiental sigue sin tomarse en cuenta (Cárdenas, 1998). Asimismo en este tiempo es cuando se produce una *crisis económica* global derivada, entre otros, del *alza en los precios del petróleo* así como un deterioro en la calidad del ambiente en 1979.

Al observar este desinterés por el ambiente en 1972 el club Roma realiza un reporte titulado “*Los límites del crecimiento*”. El anterior abordaba aspectos de importancia para los seres humanos con independencia de su procedencia, tales como, pobreza en medio de la abundancia, degradación del medio ambiente, descredito de las instituciones, urbanización descontrolada, inseguridad en el empleo, alineación juvenil, rechazo de los valores tradicionales, inflación y otras anomalías económicas. Este reporte sirvió como plataforma para empezar a construir el concepto del *desarrollo sustentable* (Mayor, 2009).

Para 1973 el director del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) Maurice Strong, presenta el concepto de *ecodesarrollo*, el cual se puede considerar como el predecesor del concepto de desarrollo sustentable. Además del PNUMA la elaboración y difusión internacional del concepto corresponde entre otros al autor francés Ignacy Sachs. Según Sachs, se trataría de un desarrollo caracterizado por sus objetivos sociales, la aceptación voluntaria de las limitaciones ecológicas, y la búsqueda de la eficacia económica. En resumen, se apuesta, a un desarrollo socialmente justo, ecológicamente compatible y económicamente viable (Riechman, Naredo, 1995).

Sin embargo no fue hasta 1987 que el termino *desarrollo sustentable* fue presentado oficialmente por la Comisión Mundial sobre el Desarrollo y Medioambiente, en el informe “*Nuestro futuro común*” (Cárdenas, 1998).

Esta Comisión define el término como:

...“*satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer la habilidad de futuras generaciones para satisfacer su propias*”.

El compromiso de la Comisión, era lograr el trabajo conjunto del ambiente y el desarrollo, para esto sostenía que el ambiente no existe como una esfera separada de las actividades, ambiciones y necesidades humanas, se le debe considerar en el mismo contexto. Las definiciones claves de la definición de desarrollo sustentable presentada por la comisión Brundtland incluye reconocer que es un problema global, con responsabilidad global, asimismo reconoce los límites del crecimiento o la necesidad de redireccionarlo de tal forma que dañe menos al ambiente. En cuanto al aspecto social se enfoca en la equidad especialmente proveer ayuda a los países menos desarrollados e introduce un nuevo elemento que es la planeación a largo plazo para las futuras generaciones.

El término no se popularizó, sino hasta la declaración de Río de 1992. Algunas naciones comenzaron a adoptar los objetivos planteados para el logro del *desarrollo sustentable*, que en términos generales implica la búsqueda de los desarrollos social y económico, sin restar importancia a la protección del *medio ambiente y los recursos naturales*, de manera equitativa. El desarrollo sustentable es concebido, en cierta forma como una triple línea base, en la cual se da la convergencia entre sustentabilidad *ecológica, social y económica*, en otras palabras en lo referente a lo ecológico, se pretende el equilibrio entre los recursos naturales, no se deben consumir los anteriores antes de que estos se puedan volver a regenerar; lo social trata de las necesidades de las personas hace referencia a la población basándose en sostener a las culturas, lugares y grupos, además tiene interés en desarrollar el capital social, las instituciones, Estados; por ultimo en lo económico trata de sobre la relación entre los recursos naturales, el ambiente y las formas de crecimiento, desarrollo, producción y consumo. Se concluye con la cognición de lo que sucede en una de ellas afecta a todas (Drexhage, Murphy, 2010).

## **2.2 Recursos naturales**

Se considera como recurso natural no solo la existencia material de ellos sino también aquellas funciones cumplidas por la naturaleza que permita satisfacer necesidades humanas, por ejemplo la purificación del aire por los bosques, regulación de escurrimientos superficiales por la vegetación natural, solo por mencionar algunos. Se considera como recurso natural a aquellos recursos que el hombre va encontrando en el medio físico y biológico natural, o modificado en función de sus conocimientos *científicos y tecnológicos*, y que permiten satisfacer necesidades humanas, como el poder transformar la radiación solar por medio de celdas fotovoltaicas en energía eléctrica (Morell, 1987 en Martínez, 1992).

En su acepción más básica se considera que cuando la tasa natural de renovación de un recurso es muy lenta, comparada con la escala humana, es decir el consumo humano es más rápido que la renovación se puede decir que es un *recurso natural no renovable* (como el petróleo, el carbón o el gas natural). Por otro lado cuando la tasa de renovación es, comparativamente, relativamente alta se trata de *recursos naturales renovables* (la radiación solar, el viento, las mareas entre otros) (Martínez, 1992).

El Sol en el contexto del aprovechamiento de su energía se considera como una gran esfera de gases a alta temperatura que genera su energía mediante reacciones nucleares de fusión que suceden en su núcleo. El Sol cuenta con un diámetro alrededor de  $1.39 \times 10^9$  m y está situado a una distancia de  $1.5 \times 10^{11}$  m de la Tierra, factores que determinan el flujo de energía que incide sobre la superficie de nuestro planeta, el Sol envía diez mil veces más energía de la que la humanidad puede utilizar. Hace llegar en 40 minutos el consumo de un año entero (ITESO, 1995). En este sentido es necesario que se desarrolle y aplique nueva *tecnología* para poder tener un mejor aprovechamiento de los recursos naturales renovables y en especial los no renovables.

## **2.3 Energía de combustibles fósiles**

Esta energía proviene de restos vegetales y otros organismos que hace millones de años fueron sepultados por efecto de fenómenos naturales y por la acción de microorganismos, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura. Enseguida se mencionan los tres más utilizados;

El petróleo y sus derivados son los principales combustibles utilizados, el petróleo es una mezcla de hidrocarburos en fase líquida mezclada con una gran cantidad de impurezas. Tanto la gasolina como el diésel y la turbosina son derivados del petróleo, los cuales se obtienen por destilación y otros procesos.

En segundo lugar aparece el gas natural; compuesto principalmente por metano, se encuentra en forma gaseosa debido a que corresponde a la fracción más ligera de los hidrocarburos.

En tercero se encuentra el carbón mineral, este se encuentra en grandes yacimientos en el subsuelo, sin embargo su explotación causa mayores problemas ecológicos que los dos anteriores combustibles mencionados.

### **2.3.1 Contaminación por explotación de combustibles fósiles**

La producción de energía mediante combustibles fósiles, el uso de tecnologías industriales atrasadas y la deforestación, entre otros factores, han provocado un aumento en la contaminación y en concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. El cambio climático es una de las principales preocupaciones a nivel mundial y el sector energético uno de los principales responsables (SENER, 2007).

Los combustibles fósiles al ser utilizados para la producción de electricidad producen alteraciones en el ambiente, tales como la liberación de gases efecto invernadero, los cuales atrapan el calor impidiendo su salida al espacio exterior e incrementando la temperatura de forma general. Entre esos gases podemos encontrar a los siguientes;

Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) representa el más importante de estos gases proviene principalmente del consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas ha contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra, sin embargo en la actualidad, es responsable de casi el 76% del calentamiento global previsto para los próximos años (SEMARNAT, 2009).

Metano ( $\text{CH}_4$ ) al igual que el  $\text{CO}_2$ , es producido por la combustión de combustible fósil, asimismo, se produce en los pozos de petróleo, minas de carbón al aire libre, cultivos de arroz y por la por la digestión alimenticia de los animales.

Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) liberado por la combustión de vehículos motorizados diésel, así como el empleo de fertilizantes nitrogenados.

El peligro del cambio climático y la contaminación por la quema de combustibles fósiles representa un grave problema de salud ambiental para cada persona y para cada lugar del mundo. Lo anterior da fuerza a la transición energética a energías renovables, tanto por disminuir la presión sobre recursos naturales como por mitigar de la contaminación.

## **2.4 Energía Renovable**

Revisando las leyes de la termodinámica, la primera ley nos menciona que la energía en cualquiera de sus formas no puede crearse ni destruirse; sólo se puede cambiar de una forma a otra, sin embargo aun cuando la energía no se pierde, sí se degrada en un proceso irreversible, lo anterior se encuentra especificado en la segunda ley de termodinámica. Dado a lo anterior es incorrecto considerar que la energía se puede renovar. Lo correcto es considerar que la fuente de dicha energía si se puede renovar, por ejemplo el viento, o una caída de agua, o la radiación solar. Sin embargo, el uso del lenguaje ha llevado a las fuentes renovables de energía a denominarse simplemente energías renovables (SENER, 2009).

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua. Las fuentes renovables de energía perdurarán por miles de años. Las energías renovables se pueden clasificar de distintas formas: por su origen primario de la energía, por el nivel de desarrollo de las tecnologías, y por las aplicaciones de las energías (SENER, 2009).

Las energías renovables se consideran principalmente una buena *alternativa económica* frente a la volatilidad de precios de los combustibles, y además para reducir el impacto ambiental y promover *el desarrollo sustentable*. A continuación se menciona los diversos tipos de energía que se pueden utilizar para la producción de energía eléctrica.

*Energía eólica:* es aquella que transforma la energía cinética del viento. Es una variante de la energía solar, la Tierra recibe una cantidad de energía procedente de la radiación solar y, funcionando como si se tratara de una máquina térmica, transforma este calor solar en energía mecánica, la energía cinética del viento. Para transformar esta energía cinética en energía mecánica aprovechable se usan multitud de máquinas eólicas, que son todas aquellas máquinas accionadas por el viento pudiéndose distinguir los aeromotores, si se usa directamente la energía mecánica, y los aerogeneradores, si se acciona un generador eléctrico (Santamarta, 2004).

*Energía geotérmica:* se refiere al calor almacenado en el interior de la Tierra, el gradiente térmico resultante de las altas temperaturas del centro de la Tierra (superiores a los mil grados centígrados) por tanto la energía geotérmica es la que se deriva de este calor que es producido por la desintegración espontánea, natural y continua de los isótopos radioactivos que existen, en muy pequeña cantidad, en todas las rocas naturales. El calor se suele transmitir por conducción a través de los materiales del subsuelo, pero debido a la baja conductividad térmica de los mismos, gran parte de esta energía se almacena en las entrañas de la Tierra durante largo tiempo (Santamarta, 2004).

*Energía hidráulica:* la energía del agua así como la eólica es esencialmente una forma de energía solar: el ciclo del agua se inicia precisamente debido al Sol, este evapora de los cuerpos de aguas en la Tierra, después incrementa la temperatura del aire que transporta dicho vapor de agua, y por último el agua vuelve a caer sobre la superficie terrestre en forma de lluvia mientras disipa su energía potencial a lo largo de las largas distancias que recorre sobre tierra firme. Es decir, la energía hidráulica aprovecha la energía potencial que aparece en algunos puntos del ciclo evaporación-condensación del agua. La potencia que puede desarrollar una masa de agua es directamente proporcional al producto de la aceleración de la gravedad, el caudal de agua y la altura de caída. Esto pone de relieve que se pueden aprovechar desde pequeños desniveles por los que circula un gran caudal como grandes desniveles por los que circula un pequeño caudal (UPC, 2012).

*Biomasa:* resulta cuando los combustibles de la biomasa de reciente origen son usados para fines energéticos. La biomasa es la materia orgánica contenida en productos de origen vegetal y animal (incluye desechos orgánicos) que pueden ser capturada y utilizada como una fuente de energía química almacenada. La formación de biomasa resulta del modelo básico de captación y acumulación de energía solar por las especies vegetales verdes, seleccionado por la naturaleza a lo largo de un proceso evolutivo de más de 3000 millones de años, y que ha mantenido la vida en la Tierra hasta nuestros días. Además, es la única forma de captación de energía solar que lleva asociado el almacenamiento, distinguiéndose así de otras como la solar o la eólica que deben concentrarse y almacenarse, muchas veces con dificultad. Es decir, la materia orgánica constituye parte de la energía solar almacenada y se denomina energía de la biomasa. La formación de esta materia orgánica se realiza a partir de la fotosíntesis con la ayuda de la luz solar, generando las grandes moléculas de alto contenido energético, con coste nulo en el almacenamiento y sin pérdidas (IILSEN, 2004).

*Energía solar:* el aprovechamiento de la energía solar está condicionado a la intensidad de radiación solar incidente sobre un área determinada, la radiación solar es el flujo de energía más grande que entra al ecosistema solar, esta radiación que recibe la superficie terrestre puede convertirse en calor, electricidad o energía mecánica mediante diversas tecnologías (IILSEN, 2004). Actualmente se disponen de mapas de radiación solar, en donde normalmente se presentan los valores promedio de radiación solar diaria, mensual o anual. El uso de estos mapas de radiación es importante para determinar las zonas geográficas que tienen un alto potencial para su aprovechamiento y para el pre-diseño de los equipos que utilizan como fuente la energía solar. Actualmente, las tablas o los mapas de radiación solar se elaboran a partir de mediciones vía satélite o a partir de los datos obtenidos en las ciudades y grandes centros poblados, y raras veces, se tienen en cuenta los niveles de radiación solar a nivel de las zonas rurales (Guevara, 2003).

De acuerdo con lo anterior se puede observar que a partir de la radiación solar se generan varias de las energías renovables, lo que le transfiere un gran potencial para su aprovechamiento, este potencial surge a raíz de que después de la reflexión y de la absorción en la atmosfera, unos 100,000 TW llegan a la superficie de la tierra y se transforma en diversas formas de energía utilizados por los humanos. La energía solar tiene el potencial de

convertirse en el mayor componente del portafolio de energías renovables, además de evitar el constante aumento de las emisiones de gases invernadero (Universidad de Standford, 2006).

## **2.5 Radiación solar**

La radiación solar es un recurso renovable que ha sido utilizado por la humanidad durante eras. Tecnologías solares pasivas eran utilizadas por civilizaciones antiguas para calentar y habitaciones para calentar agua. La radiación solar sufre ciertas transformaciones al entrar a la atmosfera, a continuación se mencionan las principales características de cada una de ellos.

Se conoce como *radiación directa*, la que se recibe directamente del Sol, sin sufrir ninguna dispersión atmosférica. La *radiación difusa* es la que se recibe del Sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo. De no haber radiación difusa, el cielo se varía negro, aun de día. Por otro lado se conoce como *radiación terrestre* la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una ventana, una pared de color claro, un charco o un lago, etc. (ITESO, 1995).

La suma de todas las radiaciones anteriores (directa, difusa y terrestre) sobre una superficie se conoce como *radiación total*. Un caso particular, pero de mucho interés practico es el estudio de la energía solar es el medir la radiación total sobre una superficie horizontal “viendo” hacia arriba. En este caso puede considerarse que no existe radiación terrestre y se conoce también como radiación global. La radiación global es la suma de la directa más la difusa (ITESO, 1995).

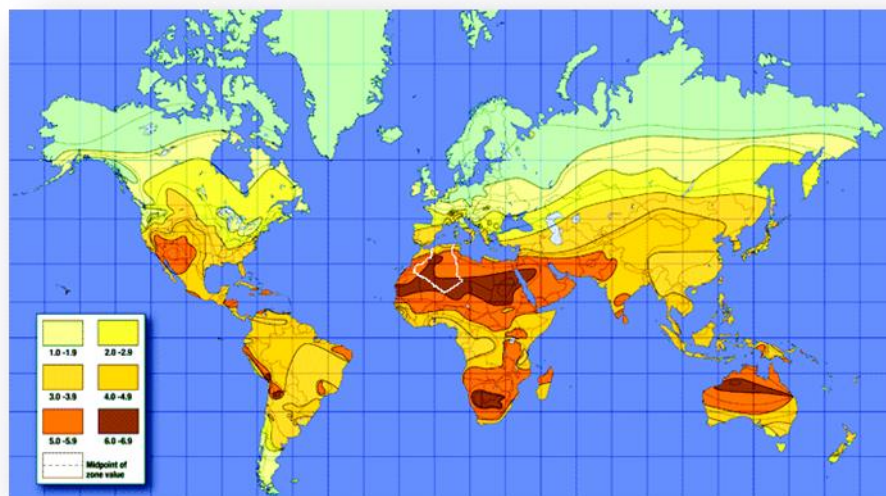
Para expresar la potencia solar, se utiliza el termino irradiancia. La irradiancia,  $W/m^2$ , es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie, por unidad de área, la cantidad de energía que se puede captar en el área la superficie de un metro por un metro. La anterior tiene la virtud de indicar claramente que la radiación es un fenómeno que transcurre en el tiempo, que no es estático.

A su vez, la energía solar puede aprovecharse o dividirse en dos tipos: la solar fotovoltaica que se encarga de transformar directamente la radiación en electricidad gracias al efecto fotovoltaico y la solar térmica que utiliza la capacidad directa de calentamiento del Sol.

## 2.6 Disponibilidad del recurso solar en México

La radiación solar promedio de México es de 5 kWh/m<sup>2</sup> anuales (figura 2.1), es un país con un gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar debido a su ubicación geográfica, su territorio se extiende entre los paralelos 14° 32' 27" y el paralelo 32° 43' 06"; así mismo está comprendido entre las longitudes oeste de Greenwich de 118° 22' 00" y 86° 42' 36", se encuentra en lo que la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA por sus siglas en Ingles) llama el Cinturón Solar (INEGI, 2013).

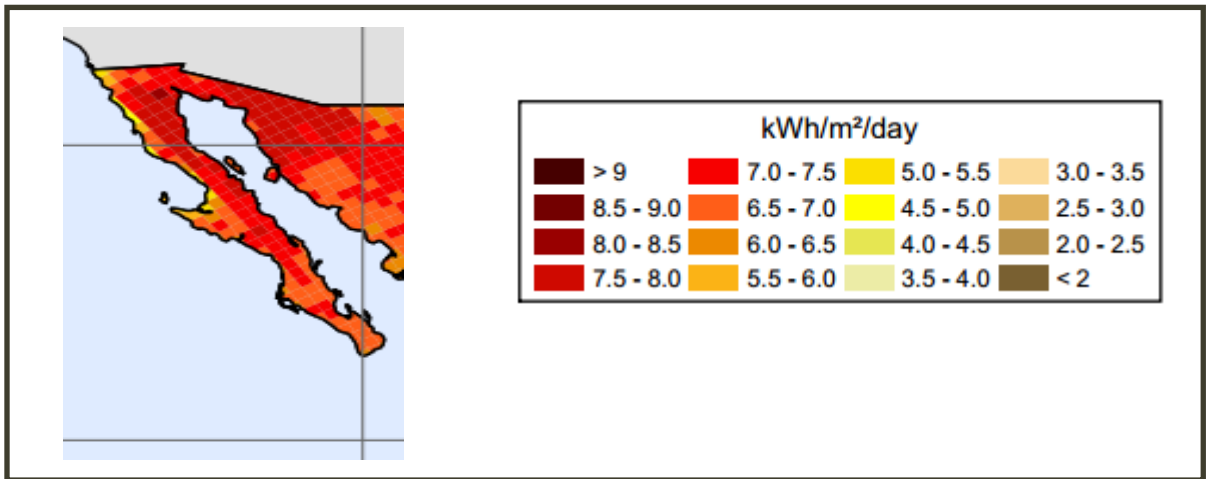
Figura 2.1 Irradiación anual mundial.



Fuente: Solargol, 2012.

En el estado de Baja California se puede observar que se tiene una irradiación mayor a la del promedio nacional, se registra un potencial en el rango de los 5 a los 7.5 kWh/m<sup>2</sup>, característica que posibilita el territorio para el aprovechamiento de la energía solar (figura 2.2).

Figura 2.2 Irradiación anual Baja California.



Fuente: SWERA, 2011.

## 2.7 Energía solar fotovoltaica

El descubrimiento del efecto Becquerel en 1839 y la creación de la primera celda fotovoltaica en los 1950 abrieron *nuevas perspectivas en el aprovechamiento de la energía solar* para la producción de electricidad. A partir de ahí la tecnología solar ha evolucionado a un ritmo acelerado. Hoy en día existen una gran variedad de tecnologías de energía solar, la fotovoltaica ha ido ganando terreno en los últimos 20 años. Desde el punto de vista científico, el gran reto es encontrar nuevas soluciones para que los sistemas de energía solar sean más accesibles económicamente y más eficientes (Universidad de Standford, 2006).

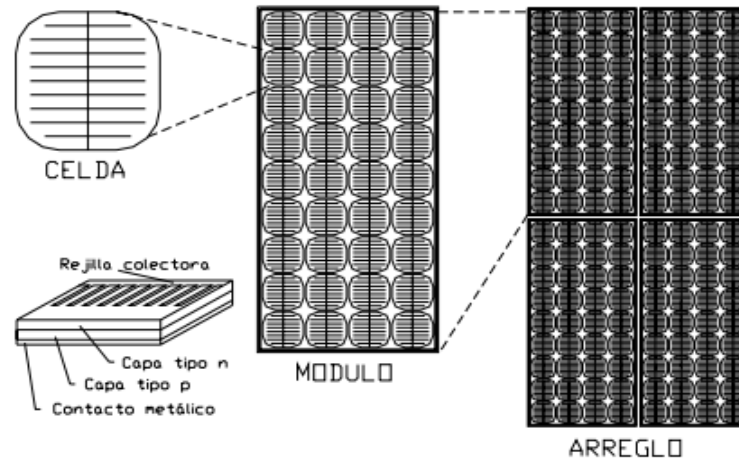
La energía solar fotovoltaica permite transformar en electricidad la radiación solar a través de unas celdas fotovoltaicas o placas solares. La electricidad producida puede usarse de manera directa, interconectarse a la red general o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas.

### 2.7.1 Celdas fotovoltaicas

Las celdas solares son frágiles y generan poca energía, por tanto se precisa agruparlas para producir suficiente energía y proporcionar robustez. La unión de varias células solares da lugar al módulo fotovoltaico, y a su vez la unión de varios módulos genera un arreglo

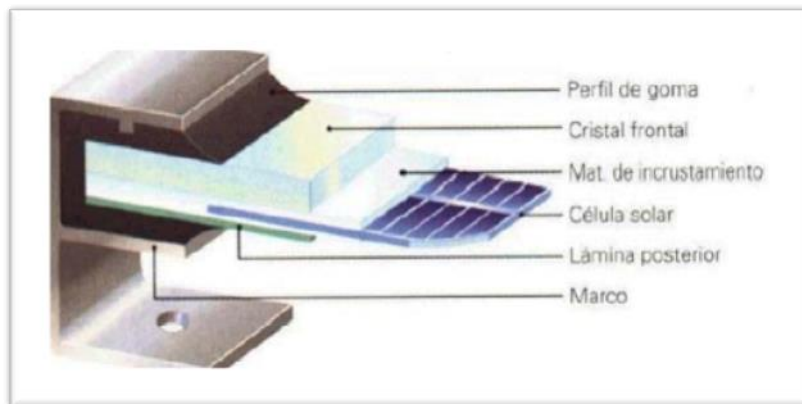
fotovoltaico y así sucesivamente pudiendo llegar a formar granjas solares. A continuación se muestran dos esquemas para esclarecer lo anterior (figura 2.3, figura 2.4).

**Figura 2.3 Esquema del módulo solar fotovoltaico.**



Fuente: ILLSEN, 2004.

**Figura 2.4 Esquema de celda solar, módulo y arreglo fotovoltaico.**



Fuente: ILLSEN, 2004.

### **Tipos de celdas fotovoltaicas**

La unidad básica, la más pequeña de todo sistema fotovoltaico son las celdas solares, estas se clasifican en monocristalinas, policristalinas, de cinta sustentado por el borde y las *thin film* o de película delgada. Cada una con sus características y beneficios.

Mono cristalinas; las células convencionales están fabricadas con obleas (finas láminas) de silicio cristalino de unos 100 centímetros cuadrados de superficie y unas décimas de milímetro de espesor. Sobre el silicio se deposita una capa fina anti-reflectante que mejora su rendimiento y da a la célula un tono azulado. Sobre esa capa se imprime una malla metálica que constituye el contacto óhmico de la cara expuesta al Sol. El contacto de la superficie posterior de la célula lo forma una capa metálica de distribución homogénea (Falk, Durschner, Remmers, 2007).

Policristalinas; también conocidas como de *multicristalinas* estas son procesadas de silicio, en este caso se realiza por el proceso de fundido, donde el silicio es calentado a altas temperaturas y enfriado controladamente dentro del molde. El aspecto azulado es debido a la capa de anti-reflejante que se vierte sobre el silicio, estas células pueden llegar a tener una eficiencia del 18% (Falk, Durschner, Remmers, 2007).

Existe un tercer tipo de célula cristalina de más reciente aparición que es la denominada 'de crecimiento en cinta sustentado por el borde', cuyas siglas en inglés son EFG (*Edge defined film- Fed Grown*). Sus propiedades eléctricas son parecidas a las de las células multicristalinas convencionales, pero pueden ser no sólo cuadradas, sino también rectangulares, y tener una longitud variable. Su aspecto es más homogéneo que el de las células multicristalinas (Falk, Durschner, Remmers, 2007).

Thin Film; la tecnología más consolidada en la familia de lámina delgada es la de silicio amorfo. Estos módulos ahorran material y tiempo en su fabricación respecto a los convencionales de silicio monocristalino, pero su rendimiento es aproximadamente la mitad. Aquí el silicio es depositado en forma de gas sobre la capa de cristal, aluminio o plástico. Su baja eficiencia, los ha relegado durante muchos años al mercado de productos de consumo de baja potencia, como relojes, calculadoras o linternas. A pesar de lo anterior, el aspecto homogéneo, la versatilidad y las posibilidades de transparencia de los módulos de silicio amorfo los están convirtiendo en una alternativa interesante para la integración en edificios. Su eficiencia es baja, oscila alrededor del 8% y requiere de gran superficie, sin embargo, es resistente a altas temperaturas y requiere de poco material para su elaboración (Falk, Durschner, Remmers, 2007).

Estas tecnologías pueden contribuir a reducir los riesgos asociados con la volatilidad de *precios de los insumos eléctricos*. Originalmente se desarrolló esta energía para su uso en el espacio, ya que requieren poco o casi nulo mantenimiento. La muestra está en la mayoría de los satélites artificiales en órbita, están en un ambiente hostil sin mantenimiento y aún siguen funcionando apropiadamente. Los fabricantes de paneles solares ofrecen una garantía de hasta 25 años, esto denota su grado de calidad y eficiencia (CONUEE, 2009).

## **2.8 Energía solar fotovoltaica mediana o gran escala**

Se le considera al despliegue de instalaciones fotovoltaicas multi-mega-watt (granjas solares) capaces de generar enormes cantidades de energía (GWh) similar al consumo eléctrico anual de miles de hogares y su consiguiente eliminación de miles de toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmosfera.

Representa una oportunidad a considerar nuevos paradigmas como son: innovaciones en la generación eléctrica solar, análisis de tecnologías fotovoltaicas a la zona de estudio, optimización de materiales regionales, aprovechamiento de las condiciones atmosféricas y topografía locales.

En Puebla en la ciudad de Tehuacán se realizó un proyecto de granja solar, en la cual se colocaron 23,000 módulos solares gigantes (2.2.m x 2.6 m = 5.7 m<sup>2</sup>) de tecnología *thin film* para maximizar la producción eléctrica por metro cuadrado, la granja ocupó 46 hectáreas para la colocación de la totalidad de los módulos mencionados, con lo que evito la inyección de 230,000 toneladas de gases efecto invernadero a la atmosfera (SAGARPA, 2010).

Estas granjas solares generan beneficios que van desde el aprovechamiento de terrenos de bajo valor productivo, mitiga el impacto de cambio en la temperatura del planeta al evitar la emisión a la atmosfera de GEI, además trae consigo la generación de empleo y desarrollo regional (SAGARPA, 2010).

## **2.9 Flujo energético y la ciudad**

De acuerdo con Tjallingii, (1995) la ciudad debe ser vista como un ecosistema abierto, al permitir que se tengan flujos de energía, organismos y materias que entran y salen de dicho

sistema. La concepción de una ciudad se puede concebir de dicha forma, no obstante, en ella el ecosistema se vuelve más complejo, debido a que aunado a los factores bióticos y abióticos, también influirán factores socio-culturales.

El proveer a la ciudad de energía, agua, materiales para la construcción puede causar contaminación y desequilibrio en las zonas rurales al convertirse en un centro de descarga (figura 2.6). La gran escala de flujos proveedores, representan la principal causa de los problemas. Existen problemas internos dentro de las ciudades, estos problemas deterioran la calidad del ambiente y sus recursos naturales, como por ejemplo la cantidad de CO<sub>2</sub> generado por consumo eléctrico o la gran cantidad de vehículos que operan a base de combustibles fósiles. Estos problemas se trasladan o se convierten en sumideros, los cuales son causados por la descarga de los flujos de áreas urbanas a zonas rurales. Un ejemplo de unas buenas decisiones, pueden ser, la orientación de la vivienda y el nivel de aislamiento, la cual tiene influencia sobre el consumo de energía a base de combustibles fósiles y las emisiones (Rombaut, 2007).

Aun cuando la orientación de la vivienda, la aplicación de aislamiento y la utilización de aparatos eléctricos eficientes en la vivienda constituyen una manera de disminuir el consumo eléctrico, no es suficiente con ser eficiente en el sector residencial es necesario combinar esa eficiencia con el suministro de energía eléctrica por medio de recursos naturales por ejemplo a través del aprovechamiento de la radiación solar, a manera de buscar obtener una sustentabilidad en materia del flujo energético de la vivienda de interés social en Ciudad Morelos.

Lo anterior respalda y da fuerza a esta investigación, debido a la necesidad de buscar la transición hacia un suministro de energía eléctrica proveniente de una fuente renovable como la energía solar, esto debido a que de esta manera se elimina los productos originados por la salida del flujo energético, como por ejemplo las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera o el consumo de combustibles fósiles.

**Figura 2.5 Modelo *ecodivice*, flujos y problemas ambientales.**



Fuente: Tjallingii, 1995.

También Newman, (2001) y Satterthwaite, (2004) coinciden en que la ciudad es un ecosistema abierto, en constante movimiento, en donde convergen factores económicos, sociales y ambientales a través de flujos. Estos flujos de energía y recursos naturales, entran y salen de la ciudad, estos están en función de las actividades sociales-económicas, por la generación de estos flujos se obtienen beneficios como la compra y bienes de servicios, intercambio de energía entre otros, sin embargo a su vez también generan un costo ambiental como por ejemplo las emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Lo anterior crea la necesidad de analizar dichos factores con el objetivo de llegar a formular estrategias que permitan encausar al desarrollo hacia una perspectiva sustentable

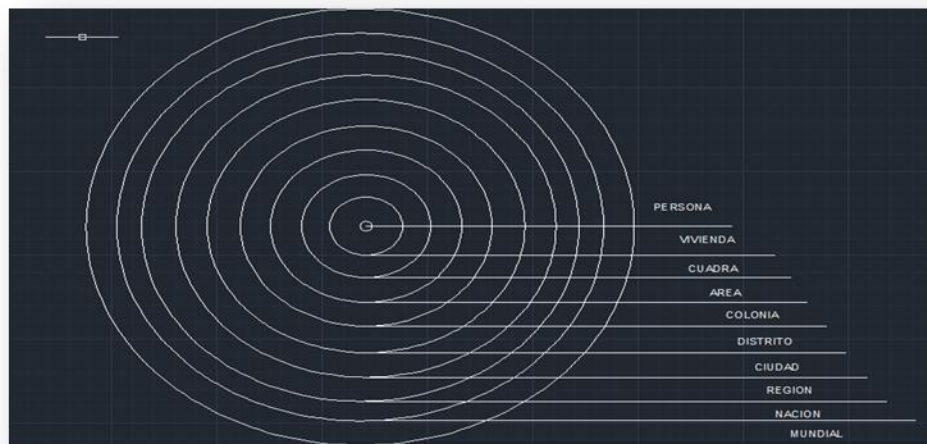
En el proceso de interacción de las ciudades con la naturaleza y al ver ésta en la figura 2.5, como un ecosistema abierto, se reconoce el impacto que se genera sobre el entorno natural y urbano, por ello al ver la interacción que guarda la ciudad con el ambiente y en aras de iniciar una planeación y gestión efectiva de la cual surjan estrategias que permitan disminuir el impacto negativo de esta interacción, resulta importante conocer y determinar las escalas y fronteras dentro de las ciudades, regiones, países y globalmente en las que se pretende trabajar.

En la planeación urbana ambiental, la ciudad-región puede ser vista como la suma de anillos concéntricos con particularidades ambientales, sociales y económicas que mantiene una constante codependencia, traducida en una sinergia entre la vivienda, el trabajo, el transporte, la producción de bienes y servicios (agua, electricidad, transporte, etc.), los alimentos y la

industria (Ravetz, 2001). De los anteriores factores la energía es básica para cualquier ciudad-región, y se observa que el impacto negativo en el contexto ambiental-urbano de la interacción resultante de la quema de recursos fósiles para suministrar energía eléctrica en este caso de estudio a las viviendas es la emisión de GEI.

De acuerdo con Ravetz, (2001) para analizar a las ciudades éstas se deben dividir en diferentes capas o niveles de análisis, donde lo que pasa en cada nivel afecta hacia adentro y hacia afuera del nivel en análisis, a continuación se presenta la figura 2.6, a manera de ejemplificar con mayor precisión lo anteriormente mencionado.

**Figura 2.6 Escalas de análisis y responsabilidades para los impactos en los sistemas urbanos.**



Fuente: Elaboración propia, basado en Ravetz, 2001.

Siguiendo las recomendaciones de las agendas internacionales sobre la utilización de energías renovables y de acuerdo con Tjallingii (1992, 1994, 1995 en Rombaut, 2007) para la sustentabilidad de la región, es preciso enfocarse en tres campos, en el primero se *encuentra los flujos*, lo cuales recomienda que se manejen adecuadamente, por flujos se puede entender a la energía, el agua, el tráfico por mencionar algunos; segundo campo se encuentra el *manejo de áreas*, aquí el objetivo es la creación de áreas que provean una buena calidad urbana para permitir tanto la biodiversidad como la diversidad social; por ultimo para que los dos campos anteriores puedan realizarse es necesario que los actores, en este caso lo habitantes o residentes locales, participen a manera de poder acercarse a conseguir la sustentabilidad de la ciudad, se menciona que se debe pensar global y actuar local.

## **CAPITULO 3. MARCO LEGAL, REGULATORIO Y NORMATIVO**

### **3.1 Marco institucional para la gestión de la energía eléctrica en México**

A continuación se describe de forma breve algunos de los principales organismos que gestionan la planeación y gestión de la energía eléctrica en México. A la cabeza de la estructura se encuentra la Secretaría de Energía de ahí se divide en dos sectores; central, y paraestatal.

**3.1.1** La Secretaría de Energía (SENER) establece las líneas generales de política, a su cargo esta asegurar la coherencia de la política energética nacional, planificar de manera metódica el desarrollo del sector, procurar que se optimice el uso de los recursos energéticos, *promover las fuentes renovables de energía*, en resumen aplicar un marco regulatorio transparente que dé certidumbre (SENER, 2007).

#### **Sector central**

**3.1.2** La Comisión Reguladora de Energía (CRE), gestiona las actividades de la industria de la energía eléctrica y el gas natural, otorgando los permisos para la producción externa de energía (incluida aquella producida por medio de fuentes renovables), certifica contratos de provisión energética y métodos por los cuales se elaboran las contraprestaciones recibidas por los proveedores privados de energía, debido a esto, este organismo forma parte del proceso de gestión de los proyectos de energía renovable (SENER, 2007).

**3.1.3** La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), queda constituida a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, publicada el 28 de noviembre de 2008, la CONUUE elabora metodologías que permiten conocer el impacto ambiental producto de las actividades realizadas desde la explotación de los recursos necesarios para la producción de energía hasta el consumo final de ésta, en relación a la energía renovable, promueve el uso eficiente y ahorro de la energía, y determina el valor de consumo de los energéticos a través de la contabilización del uso de energéticos (CONUEE, 2011).

## **Sector paraestatal**

**3.1.4** La Comisión Federal de Electricidad (CFE) se encarga de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en México, lleva a cabo la planeación del sistema eléctrico nacional para expandir la capacidad de generación y transmisión de energía eléctrica (CFE, 2012).

**3.1.5** El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) se encarga de elaborar trabajos académicos, éstos abordan temas como el desarrollo de las condiciones para facilitar la introducción y difusión de la tecnología relacionada con la energía renovable, de acuerdo al IIE, esta es una manera de permitir el desarrollo económico del país (IIE, 2012).

## **3.2 Agendas internacionales, energía y sustentabilidad**

En el informe Brundtland (1987) es donde se sugiere que las naciones busquen un desarrollo cuidando el aspecto económico, social y ambiental, la convergencia de los tres anteriores prolongara los recursos disponibles en el planeta permitiendo que las generaciones futuras puedan disponer de ellos de igual manera en como lo realizamos nosotros.

Después en Rio 1992 en la Agenda 21 se promueve la transición hacia diversas fuentes de energía, así como la eficiencia energética, aun cuando la energía no recibió su propio capitulo, en el capítulo nueve se le vincula con el cambio climático. Asimismo en la Cumbre Mundial de la Naciones Unidas en 2005, emite un agenda titulada *energía para el desarrollo* donde se explora el potencial del rol de la energía renovable para alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio (REN21, 2012).

En Kioto 1997, el Protocolo que lleva el mismo nombre de la ciudad donde se celebró, se enfocó operacionalizar la forma de como mitigar la contaminación ambiental, esto debido a que en la reunión el objetivo central fue la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Se puede resumir este protocolo en tres acciones fundamentales que deben seguir los países más industrializados, países como por ejemplo Francia, las acciones consisten en mitigar el cambio climático a través de la reducción en el consumo de energía, la sustitución de energías provenientes de recursos fósiles por energías renovables y por último la fijación del carbono por la vegetación (ONU, 1998).

En síntesis las agendas realizadas en el periodo de 1987 al 1997 nos sugieren que éstas incluyan a las energías renovables con la idea de que los gobiernos puedan elaborar e implementar propuestas concretas que promuevan su utilización. Donde cada país debe aplicar las estrategias que sean más viables para su contexto, a manera de combatir la volatilidad de los precios e ir sustituyendo a los combustibles fósiles tanto para evitar crisis energéticas como ocurrió en la década de los ochentas así como para mitigar el impacto sobre el medio ambiente.

En México la SENER elabora y aplica programas nacionales de distintas escalas en materia de energéticos, asimismo mantiene los inventarios de los recursos energéticos del país, propone los criterios y lineamientos de la política energética nacional. La participación de México en los foros internacionales siempre ha sido comprometida, ya que se sumó al esfuerzo para mitigar el cambio climático global en 1993 al adherirse a la Convención Marco de Naciones Unidas para el cambio climático y ratificar el Protocolo de Kioto en el año 2000.

De acuerdo con la SENER (2007) la sustentabilidad ambiental está definida como un eje central de las políticas públicas de México en el Plan Nacional de Desarrollo 2007–2012. Lo anterior significa que México debe reconocer al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social. *Por medio de la utilización de fuentes renovables de energía es posible disminuir parcialmente la presión sobre los recursos naturales, especialmente la generada por la quema de combustibles fósiles, y disminuir proporcionalmente la contaminación, así como aumentar el valor agregado de las actividades económicas.* Adicionalmente, las fuentes renovables pueden contribuir a reducir los riesgos asociados con la volatilidad de precios de los combustibles fósiles al equilibrar el portafolio energético, lo anterior nos habla de seguridad energética la cual es integrada dentro del programa sectorial de energía 2007-2012.

### **Programa Sectorial de Energía 2007-2012**

El documento descansa fundamentalmente en tres puntos: asegurar el abasto de energéticos que requiere la economía; fortalecer a las empresas públicas del sector para mejorar la oportunidad y calidad en el suministro de los insumos; y, promover intensamente la eficiencia

energética y las energías renovables, a fin de disminuir el impacto ambiental que se deriva por la utilización de combustibles fósiles (SENER, 2007).

Debido a que dos de los ejes centrales de las políticas públicas de México son la sustentabilidad ambiental y la economía competitiva y generadora de empleos. En este sentido, el uso eficiente de la energía y de energías renovables concilia las *necesidades de la sociedad* con el *cuidado de los recursos naturales*.

Por medio de la utilización de fuentes renovables de energía se puede reducir parcialmente la presión sobre los recursos naturales, particularmente causada por los combustibles fósiles, y disminuir proporcionalmente la contaminación, así como aumentar el valor agregado de las actividades económicas. Adicionalmente, las fuentes renovables pueden contribuir a reducir los riesgos asociados con la volatilidad de precios de los combustibles fósiles al equilibrar el portafolio energético (SENER, 2007).

### **3.3 Marco legal referente al aprovechamiento de la energía renovable en México**

En México el marco legal ofrece una gran variedad de posibilidades en el uso sustentable de fuentes renovables de energía en el sector privado para la generación de energía eléctrica. Actualmente los siguientes instrumentos legales y regulatorios permiten el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en conexión a la red en México:

*Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)*. Ley publicada en 1992, la cual permite la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica para el autoconsumo o su venta a terceros.

*Ley General de Cambio Climático*. Ley publicada por el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 6 de junio 2012, sus dos ejes rectores consisten en la adaptación al cambio climático y la mitigación de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Para cumplir el compromiso de México, el cual radica en la reducción en un 30% de sus emisiones para el 2020 y en un 50% para 2050 con base a la producción del año 2000, por lo que la transición energética jugara un papel importante para llegar a esa meta.

*Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).* Ley publicada a finales de 2008 en el Diario Oficial de la Federación (DOF), su principal función es regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad, para ello se apoya en su reglamento, el cual fue publicado de igual manera en el DOF el 2 de Septiembre del 2009 incluyendo aspectos más específicos para la remuneración de proyectos de energía renovable. Esta ley sirvió también como impulso para la resolución del contrato de interconexión para fuente renovable a mediana escala.

*Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña y Mediana Escala.* La CRE expide el 8 de abril de 2010 el contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en mediana escala el cual sustituye al de pequeña escala. Esta resolución tiene como marco las estrategias del PND 2007-2012 en donde se impulsa la eficiencia y las tecnologías limpias para fomentar la generación de energía eléctrica así como fomentar el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. El contrato es aplicable a todos los generadores con fuente renovable y generadores con sistemas de cogeneración en mediana escala con capacidad hasta 500 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones mayores a 1kV y menores a 69 kV, y que no requieren hacer uso del sistema del suministrador para portear sus cargas.

Asimismo estipula que las instalaciones y equipos necesarios en el punto de interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la interconexión con el sistema eléctrico, deberán cumplir con las especificaciones conducentes de la CFE y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Los medidores y los equipos de medición a ser usados serán instalados por CFE a costo del generador tanto para la lectura de entrega como de suministro de energía en el punto de interconexión (CRE, 2010).

Para fines de facturación, el consumo de energía normal del suministro que cuenta con fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en mediana escala se efectuara de la siguiente:

Cuando la diferencia, generada entre la energía entregada por CFE en el mes de facturación *menos* la energía recibida del generador en el mes de facturación sea negativa, se considerará

como un crédito a favor del generador y se conservará como energía acumulada de meses anteriores en favor del generador, clasificándose en el periodo horario y mes en que el crédito fue generado. Dicho crédito será compensado automáticamente en los siguientes periodos de facturación si la diferencia de energía es positiva para CFE, siempre y cuando exista energía a cargo del generador que permita efectuar la compensación, partiendo del mes más antiguo al más reciente hasta agotar el crédito. Es importante compensar esta energía en un período máximo de 12 meses siguientes al mes en que se originó cada una de sus partes, ya que de no realizarse de esta manera dicho crédito será cancelado forzando al generador a desistir de cualquier pago o compensación por el concepto (CRE, 2010).

### **3.4 Normas mexicanas en materia fotovoltaica**

Relacionado con la normalización de los sistemas fotovoltaicos en México destacan las actividades de la Asociación de Normalización y Certificación (ANCE) que tiene la atribución para la elaboración de Normas Mexicanas (NMX) para el sector eléctrico.

Normas mexicanas vigentes:

- NMX-J-618/1-ANCE-2010: evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos – Parte 1: Requisitos para la construcción.
- NMX-J-618/3-ANCE-2012: evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV)- Parte 3: Requisitos para módulos fotovoltaicos de película delgada-Calificación del diseño.
- NMX-J-618/4-ANCE-2012: evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV)- Parte 4: Requisitos para módulos fotovoltaicos de silicio cristalino-Calificación del diseño.
- NMX-J-618/5-ANCE-2012: evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV)- Parte 5: Método de prueba de corrosión por niebla salina en módulos fotovoltaicos.
- NMX-J-618/6-ANCE-2012: evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV)- Parte 6: Método de prueba UV (ultravioleta) para módulos fotovoltaicos.
- NMX-J-643/1-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 1: Medición de la característica corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos.

- NMX-J-643/2-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 2: Requisitos para dispositivos solares de referencia.
- NMX-J-643/3-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 3: Principios de medidas para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (FV) con datos de referencia para radiación espectral.
- NMX-J-643/5-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 5: Determinación de la temperatura equivalente de la celda (ECT) de dispositivos fotovoltaicos (FV) por el método de tensión de circuito abierto.
- NMX-J-643/7-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 7: Cálculo de la corrección del desajuste espectral en las mediciones de dispositivos fotovoltaicos (FV).
- NMX-J-643/9-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 9: Requisitos para la realización del simulador solar.
- NMX-J-643/10-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 10: Métodos de mediciones lineales.
- NMX-J-643/11-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos – Parte 11: Procedimientos para corregir las mediciones de temperatura e irradiancia de las características corriente tensión.
- NMX-J-643/12-ANCE-2011: dispositivos fotovoltaicos-Parte 12: Términos, definiciones y simbología.
- NMX-J-655/1-ANCE-2012: desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV)-Parte 1: Mediciones de desempeño para irradiancia, temperatura y energía en módulos fotovoltaicos.
- NMX-J-655/2-ANCE-2012: desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV)-Parte 2: Acondicionadores de energía-Procedimiento para la medición de la eficiencia.
- NMX-J-655/3-ANCE-2012: desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV)-Parte 3: Controladores de carga de baterías para sistemas fotovoltaicos-Desempeño y funcionamiento.
- NMX-J-657/1-ANCE-2012: sistemas híbridos y de energía renovable – Guía para la electrificación rural – Parte 1: Introducción general.
-

### **3.5 Conclusión de la regulación y normativa eléctrica en México**

En resumen se observa como en México a nivel federal se ha trabajado para promover y regular las energías renovables, desde 1992 con la reforma a la Ley del Servicio Público Eléctrico, en 1995 con la aprobación de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, en 2008 con la creación de la LAERFTE y en 2010 con la reforma que para el contrato de interconexión de energía solar en mediana escala, sin embargo al primer bimestre de 2012 la generación de energía eléctrica con fuentes renovables fue solo de 14,357 MW casi 20 veces menor que la capacidad instalada en China a finales del 2011.

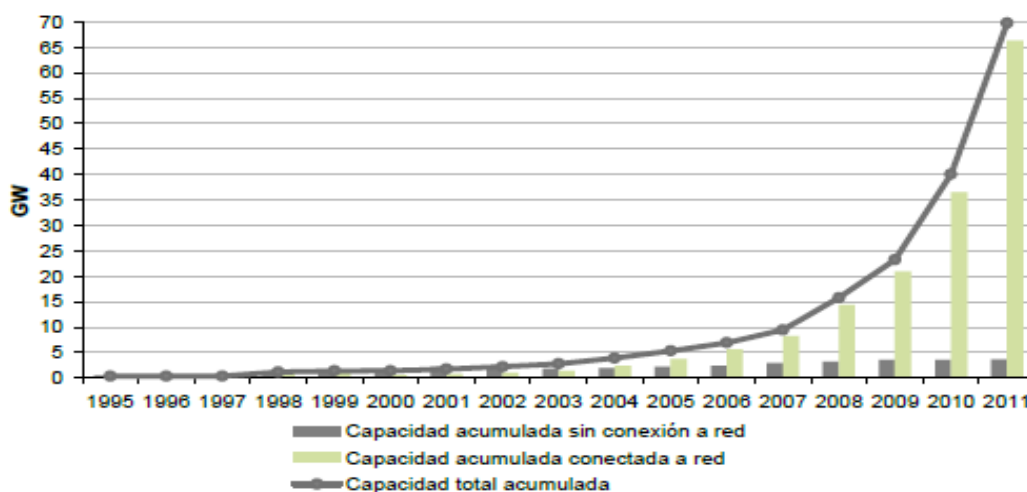
A pesar de que se cuentan con los organismos gubernamentales, programas y leyes en México que promueven la energía renovable, aun no se tiene con una buena capacidad instalada para la generación de energía eléctrica como países como China, Estados Unidos, Dinamarca, esto debido en mi opinión a que no se invierte en la investigación ni en incentivar de la manera que estos países lo hacen, por ejemplo el contrato de interconexión a mediana escala de CFE si bien incentiva con un bono energético los excedentes de energía, solo los realiza con validez de un año, es necesario ampliar los alcances de estos contratos a manera de hacerlos más atractivos. Aunado a lo anterior se observa como a nivel estatal en México la promoción y regulación de estas energías limpias no tiene tanto impacto, ya que para finales de 2012 solo diez estados del país contaban con leyes en materia de energías renovables. En ellas se fomenta el aprovechamiento de estas energías, sin embargo no se especializa en el tema. Se espera que en el futuro más estados del país fomenten la investigación sobre los potenciales disponibles en su territorio e incorporen políticas públicas que incentiven y contribuyan a cristalizar las metas en materia de sustentabilidad.

## CAPITULO 4. ASPECTOS ECONOMICOS

### 4.1 Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial

La última década del siglo XX fue vital importancia para que los sistema fotovoltaicos lograran entrar en conexión con la red eléctrica a nivel mundial, este comportamiento ha ido a la alza esta última década, en el periodo de 2000-2011 la capacidad total instalada tuvo una tasa media de crecimiento anual de 43.5%, precisamente fue en 2011 donde se adicionaron 29.6 GW lo cual se observa en la figura 4.1.

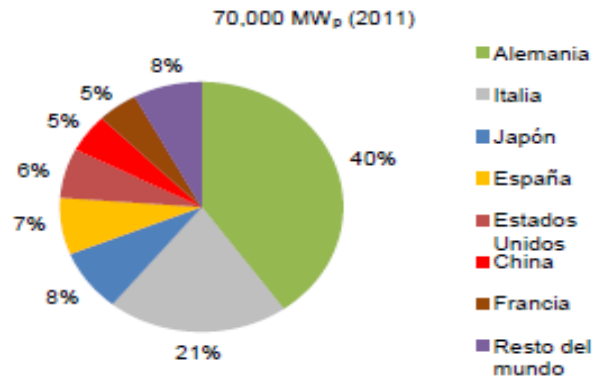
Figura 4.1 Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial 1995-2011.



Fuente: Elaboración GIZ con datos de REN 21, 2012, en SENER 2012.

En 2011, siete países representaban el 81.1% de la capacidad instalada a nivel mundial, todos ellos superaban el giga watt (GW) de potencia instalada: Alemania (24.9 GW), Italia (12.8 GW), Japón (5.0 GW), España (4.6 GW), Estados Unidos (4.0 GW), China (3.0 GW) y Francia (2.9 GW) (figura 4.2).

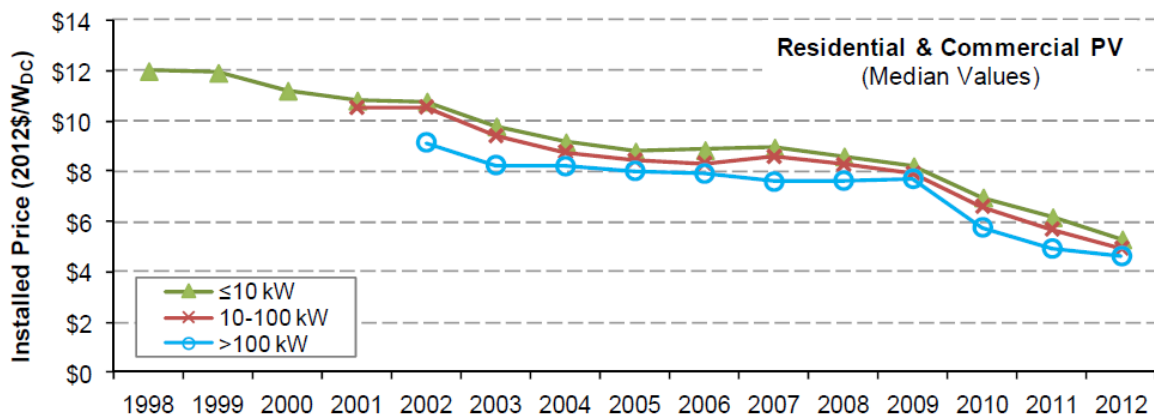
**Figura 4.2 Capacidad instalada con sistemas FV en países líderes 2000 – 2011.**



Fuente: Elaboración GIZ con datos de IEA, 2010; REN 21, en SENER 2012.

En cuestión de su costo por potencia instalado es interesante analizar el comportamiento que ha tenido en Estados Unidos, dicho comportamiento se aprecia de forma clara en el informe *Tracking the Sun VI*, que trata precisamente sobre el seguimiento del costo de sistemas fotovoltaicos elaborado por el laboratorio nacional Lawrence Berkeley del estado de California, en dicho reporte se registro que el precio medio de potencia instalada de sistemas fotovoltaicos instalados en 2012 fue de \$5.3/W (dólares) para sistemas residenciales y comerciales menores a 10 kW, de \$4.90/W para los sistemas fotovoltaicos entre 10 kW y 100 kW, y por ultimo para los sistemas fotovoltaicos en el rango de más de 100 kW en tamaño promedio presentaron un costo de \$4.60/W en 2012 (Barbose, Durghout, Weaver 2013).

**Figure 4.3 Costo del Watt Fotovoltaico instalado durante 1998-2012.**



Fuente: Barbose, Durghout, Weaver 2013.

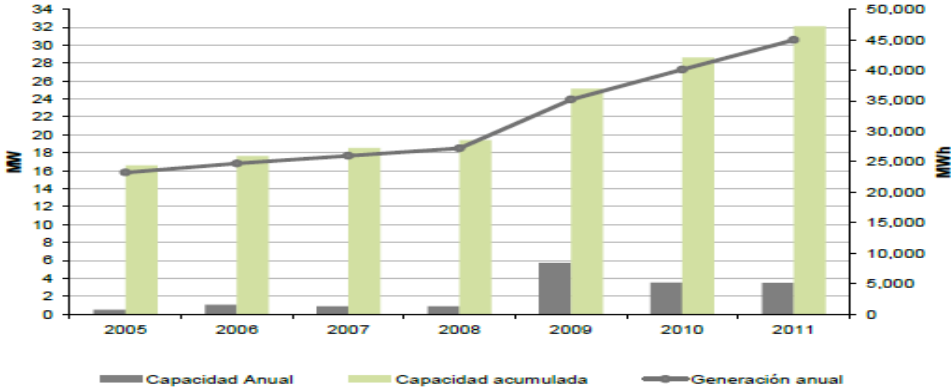
En la figura 4.3 se muestra la tendencia que han seguido los sistemas fotovoltaicos en el periodo de 1998-2012. El reporte del Laboratorio Berkeley nos da certeza de que este tipo de tecnología será cada vez más accesible, debido a que tiene una tendencia a la baja en lo que concierne al costo del kilowatt instalado, lo cual convierte a la tecnología fotovoltaica cada vez más atractiva para realizar la transición energética, sin mencionar el valor agregado de la contribución ambiental que genera al no producir emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

De 2011 a 2012, el costo de instalación de sistemas fotovoltaicos disminuyó casi \$0.9 dólar/W (14%) para sistemas con una potencia instalada menor a 10 kW, \$0.8 dólar/W (13%) para sistemas en el rango de 10 a 100 kW y \$ 0.30 dólar/W (6%) para sistemas con una capacidad instalada mayor a 100 kW.

**4.2 Comportamiento a nivel nacional de los sistemas fotovoltaicos**

Previamente a 2007 los sistemas fotovoltaicos instalados en México se utilizaban para aplicaciones aisladas como en señalamientos, comunicaciones bombeo de agua por mencionar algunos, sin embargo a partir de 2007 se empiezan a registrar interconexiones a la red eléctrica nacional. En 2011 se instalaron 3.5 MW de sistemas fotovoltaicos, el 94% de ellos fueron de sistemas interconectados a la red eléctrica el restante concierne a sistemas aislados. En la figura 4.4 se muestra el aumento de la generación de electricidad en el periodo de 2005 a 2011 fue de 21,739 MWh (SENER, 2012).

**Figura 4.4 Evolución de la capacidad instalada y generación eléctrica de sistema fotovoltaicos en México 2005-2011.**

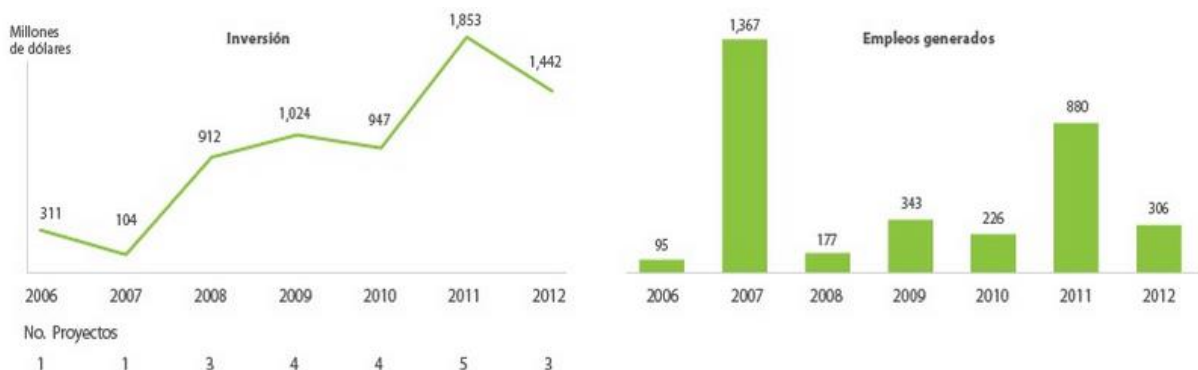


Fuente: SENER, 2012.

La inversión en energías renovables va en aumento en la actualidad, esto en parte a las recomendaciones de las agendas internacionales de realizar la transición de la energía producida por combustibles fósiles a energía limpia producida por energías renovables. La inclusión de estas energía en los planes de desarrollo como en el caso de México ha servido como medio de atracción de inversión extranjera ya que en el periodo 2003-2012 nuestro país ha recibido alrededor de 6,900 millones de dólares para el fomento de energía renovable; esta inversión se ha generado principalmente en los estados de Baja California, Oaxaca y Guanajuato (Secretaria de Economía, 2013), sin embargo en el contexto de Baja California dicha inversión es casi mínima si se analiza contra el potencial que se tiene.

A continuación se muestra en la figura 4.5 como se ha comportado la inversión en energías renovables así como la generación de empleos en el sexenio anterior en México; inversión realizada por España, Estados Unidos y Francia principalmente.

**Figura 4.5 Inversión de energías renovables en México.**



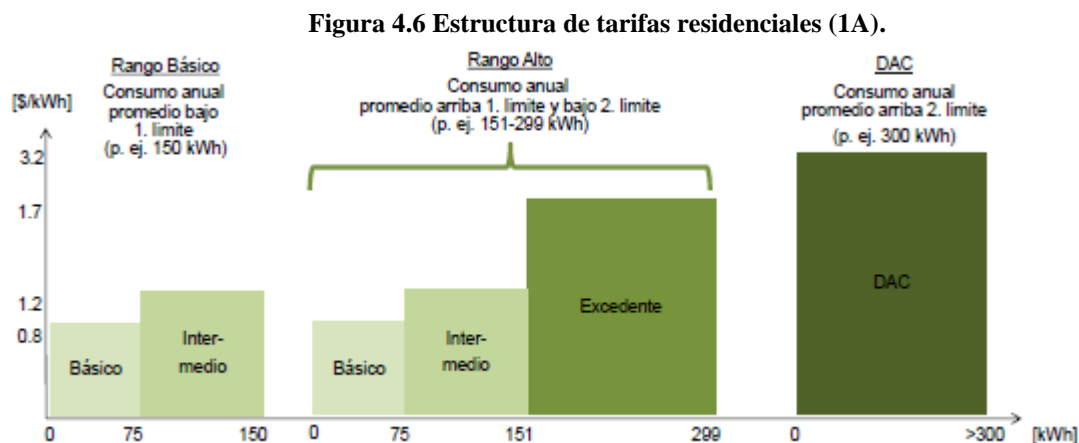
Fuente: FDI Markets, 2012, en Secretaria de Economía 2012.

En el estudio realizado por la SENER en 2009 titulado “Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México” se concluyó que el sector residencial representa el nicho con mayor potencial para estos sistemas, dicho estudio fue realizado a través de la CONUEE en coalición con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

### 4.3 Cobro por el suministro de energía eléctrica en México

En México la CFE cuenta con una estructura de tarifas para el sector residencial denominada tarifas domésticas o residenciales, clasificadas en siete etapas (1 a 1F) y son escalonadas por volúmenes de consumo mensual de energía eléctrica (kilowatt horas).

En dicha estructura los precios aumentan por kilowatt-hora (kWh), cada tarifa se compone de dos niveles; el primer nivel es el consumo intermedio básica (básica e intermedio básico) y el segundo nivel es el consumo intermedia alto (alto e intermedio alto), una vez que el consumo supera esos dos niveles el hogar sale de la tarifa residencial y entra a la tarifa conocida como “Doméstica de Alto Consumo (DAC)”, esta tarifa es la que tiene el precio más alto por kWh (figura 4.6).



Fuente: SENER 2012.

La clasificación tarifaria 1 a 1F se basa en la diferencia entre los valores de la temperatura promedio de verano en las ciudades, en la tarifa 1 la temperatura es menor a 25°C. Para el contexto de Ciudad Morelos los hogares cuentan con la tarifa 1F es para zonas con temperaturas de al menos 33°C. La anterior es la tarifa que cuenta con los límites con mayor magnitud y con el menor costo por kWh. Dado a las altas temperaturas que se experimentan en verano los subsidios aumentan en esta zona (CFE, 2012).

La tabla 4.1 muestra la cantidad de los hogares mexicanos con un volumen de consumo eléctrico dentro del rango DAC y dentro del rango alto (SENER, 2012).

**Tabla 4.1 Número de hogares con mayor potencial en la aplicación de sistemas fotovoltaicos.**

| Tarifa       | Cantidad de hogares en rango alto y DAC <sup>63</sup> |
|--------------|---|
| 1            | 3,735,898   |
| 1A           | 473,811   |
| 1B           | 483,987   |
| 1C           | 1,186,823   |
| 1D           | 217,895   |
| 1E           | 96,765  |
| 1F           | 863,778   |
| DAC          | 511,472 <sup>64</sup>                                 |
| <b>Total</b> | <b>6,214,806</b>                                      |

Fuente: Elaboración GIZ con datos del Sistema Sectorial de Información Energética (2010) y CFE (2006), en SENER 2012.

En el estudio realizado por la SENER 2009, se identifica que el grupo potencial con mayor beneficio o rentabilidad de una aplicación fotovoltaica son hogares con un volumen de consumo eléctrico dentro del rango DAC con una tarifa promedio superior a los 3.20 pesos/kWh debido a que el periodo de retorno es menor.

Sin embargo si se observa la tabla 4.1 nos muestra que el nicho más grande y de mayor importancia para la utilización de energía solar para la generación de electricidad tanto por el número de hogares como el beneficio que generaría al Estado se encuentra entre los hogares dentro del “rango alto” con una tarifa en el rango de 1.60 a 2.00 pesos/kWh., es decir dentro de las tarifas 1-1F, esta última es donde se ubica el caso de estudio de este trabajo Ciudad Morelos. La aplicación de sistemas fotovoltaicos dentro de este nicho tiene beneficios tanto para el usuario como para el Estado al disminuir el presupuesto destinado a los subsidios eléctricos.

Es importante tener en cuenta que en 2011 los gastos en subsidios para la electricidad representan el 35% del total de los subsidios y las perdidas por el diferencial entre los precios de venta y los precios de referencia internacional (gasolina, diésel, y gas LP) destinado para el consumo energético. Al cierre de 2011 los subsidios a los consumidores de energía eléctrica del subsidio de tarifas eléctricas fue de 101.5 mil millones de pesos (SENER, 2012).

Analizando los datos anteriores la energía renovable presenta un escenario atractivo y viable para el Estado al no generarle una pérdida por la diferencia entre los precios de los combustibles fósiles, y contribuir a mitigar la contaminación ambiental.

## CAPITULO 5. METODOLOGÍA

Para que un sistema fotovoltaico funcione eficientemente y produzca la mayor cantidad de energía posible es preciso poner atención en una serie de aspectos, enseguida se mencionan algunos de los puntos más importantes que se deben revisar si se desea generar energía renovable por medio de la tecnología fotovoltaica.

- a) Es fundamental conocer la radiación solar del sitio seleccionado, se debe conocer la incidencia de radiación de acuerdo a la ubicación geográfica del lugar para poder proponer la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos.
- b) La temperatura influye directamente en la producción de electricidad del panel, ya que los paneles disminuyen su rendimiento de generación de energía cuando la temperatura aumenta, sin embargo, mientras la temperatura se acerca a la temperatura nominal (25°C) la producción eléctrica se incrementara. Es por eso que en invierno los paneles fotovoltaicos son más eficientes, por lo que, es importante seleccionar el tipo de tecnología.
- c) Es fundamental una zona libre de sombras para el buen funcionamiento de los paneles fotovoltaicos. Cuando una celda es sombreada por algún objeto, disminuye la producción de corriente. Cuando esto sucede se comporta como un diodo bloqueado y la corriente no fluye hacia las otras celdas. Si permanece sombreada la temperatura de la célula puede provocar el daño permanente del módulo.

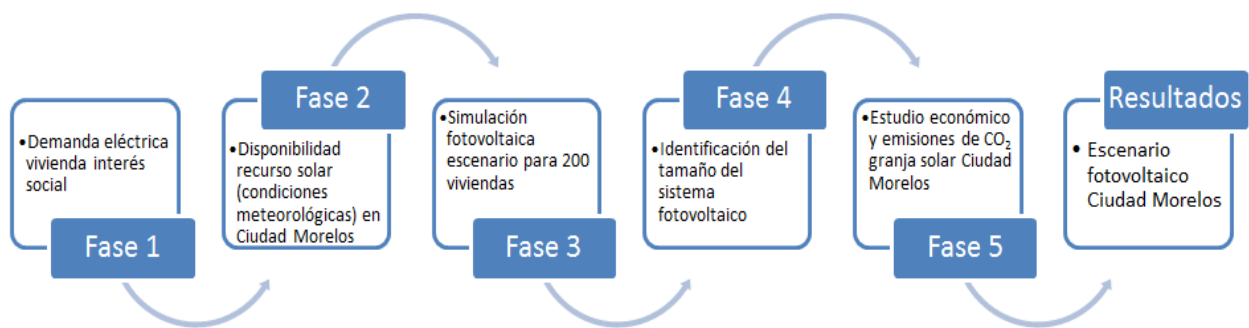
La metodología utilizada en este trabajo consta de cinco etapas, cada una aborda un tema específico relacionado con el contexto energético, económico y ambiental, asimismo cabe mencionar que esta metodología se adapta y basa de metodologías utilizadas por autores como Falk, Durschner, Remmers (2007); Luna (2008); INE (2006) y Becerril (2011).

Los resultados obtenidos en este trabajo, se obtuvieron siguiendo la metodología que se muestra la figura 5.1; El procedimiento metodológico consistió en:

- Identificar la demanda eléctrica de la vivienda de interés social, para lo cual se tomó en cuenta el estudio de monitoreo realizado por la CFE de los consumo tanto de los sistemas de climatización así como de los consumos de los equipos electrodomésticos de un año.

- A partir de dicha información, se procedió a determinar los consumos energéticos a considerar en la simulación fotovoltaica para un desarrollo de 200 viviendas.
- Conocer la disponibilidad del recurso solar en Ciudad Morelos,
- Con la simulación de consumos propuestos para las 200 viviendas y el potencial disponible en la localidad se procedió a dimensionar el tamaño del sistema fotovoltaico, obteniendo la cantidad de energía suministrada al desarrollo y los excedentes de producción que serán subsidiados a la red eléctrica de CFE.
- Una vez reunida esa información se procedió a obtener unos datos en el contexto de las emisiones de CO<sub>2</sub> y aspectos económicos de la implementación del sistema fotovoltaico en Ciudad Morelos.

**Figura 5.1 Procedimiento metodológico.**

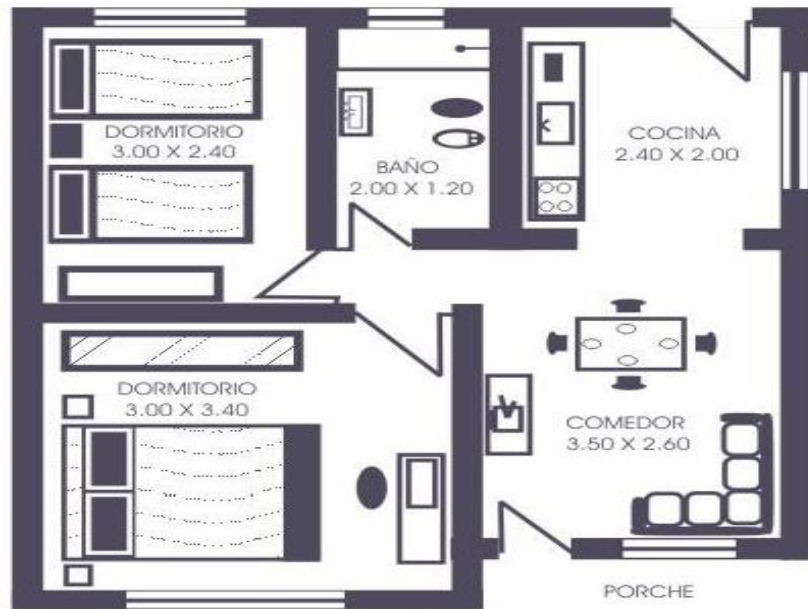


Fuente: elaboración propia.

### **Fase 1. Demanda eléctrica vivienda interés social**

Partiendo de la información de los mapas solares, se conoce que en la región se cuenta con un potencial mayor al de la media nacional por lo que en esta primera fase se enfoca en conocer la demanda eléctrica de una vivienda de interés social, se caracterizó considerando los espacios de: sala-comedor, cocina, baño que oscilan con una superficies totales de entre 31 y 45m<sup>2</sup>. Su distribución varía de acuerdo al desarrollador, y a manera de ejemplo se presenta la planta arquitectónica de la figura 5.2.

**Figura 5.2 Planta tipo vivienda interés social.**



Fuente: [www.arq.com.mx](http://www.arq.com.mx)

La demanda de electricidad es generada por los electrodomésticos y los sistemas de climatización en la vivienda y es expresada en watts. Se obtuvieron gracias al Instituto de Ingeniería de la Universidad de Baja California campus Mexicali las lecturas de los consumos realizados en una vivienda de interés social en la ciudad de Mexicali en el fraccionamiento Villa del Roble, cabe mencionar que las lecturas se realizaron a cada hora durante el periodo de un año lo cual permite conocer el comportamiento de los consumos durante las diferentes temporadas climáticas en la región, para poder someter estos datos al *software TRNSYS 16* y a manera de poder identificar de mejor forma la demanda generada por los electrodomésticos y los sistemas de climatización se separaron sus lecturas en dos columnas.

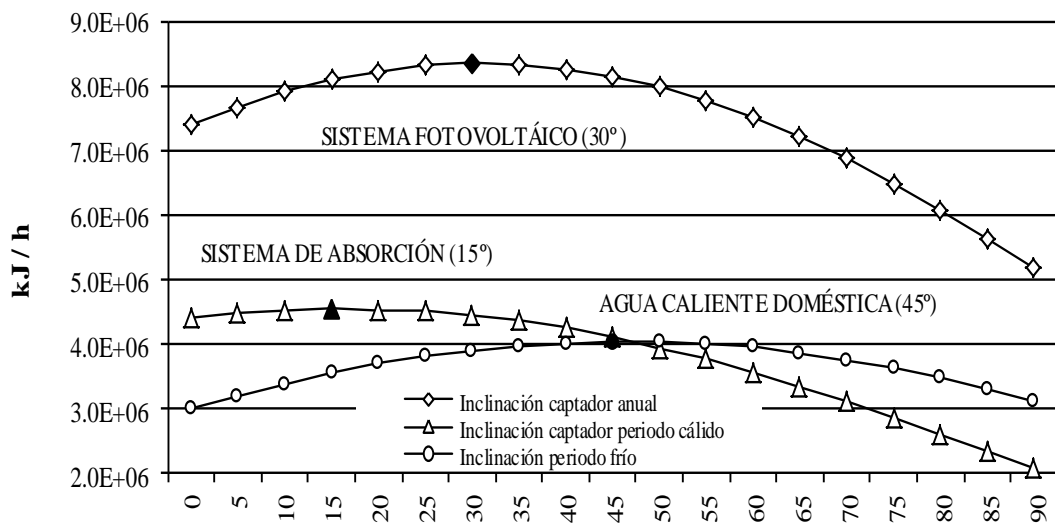
## **Fase 2. Disponibilidad recurso solar (condiciones meteorológicas) en Ciudad Morelos.**

Para complementar la información del mapa solar presentado en la introducción de este trabajo y conocer con precisión el potencial solar de Ciudad Morelos es necesario estudiar el comportamiento o trayectoria del Sol en esta zona, uno de los métodos más acertados para la estimación del potencial es mediante la utilización de modelos y programas computacionales como *TRNSYS*, *Ecotech*, *Meteonorm*. En la actualidad existen programas que son de gran ayuda para conocer la trayectoria solar, el dimensionamiento y la producción de los arreglos

fotovoltaicos. Con los anteriores se reduce el tiempo en la elaboración de proyectos, se aumentan las opciones y la precisión para los sistema fotovoltaicos (Falk, Durschner, Remmers, 2007).

Con ayuda del software *Meteonorm 5.1* se obtuvo la información meteorológica para la localidad de Ciudad Morelos, B.C., en formato TMY2, dicho formato permite ingresar los datos meteorológicos en el software *TRNSYS 16* para poder obtener la disponibilidad del recurso solar para la zona seleccionada. Una vez identificada la energía disponible para Ciudad Morelos, se procedió a conocer el ángulo de inclinación y la orientación adecuada para los paneles fotovoltaicos, ya que de esta manera se asegura la mayor captación de radiación solar, es decir una mayor producción de electricidad. Estudios realizados por Luna (2008) muestran la inclinación óptima para algunas tecnologías solares en Mexicali, en donde determino una inclinación adecuada para módulos fotovoltaicos de 30 grados, lo que se puede apreciar en la figura 5.3.

**Figura 5.3 Inclinación para tecnologías térmicas en Baja California.**



Fuente: Luna (2008).

Con base en la investigación realizada por Luna (2008) se realizó el estudio de la inclinación óptima para los sistemas fotovoltaicos en Ciudad Morelos, pero a manera de aumentar la certeza se consideró la orientación en la que se realizaba las diferentes mediciones. Para ello se elaboró la simulación en *TRNSYS 16* donde se colocaron los paneles en siete diferentes inclinaciones, cada una con una diferencia de 15° entre si empezando de los 0° (plano

horizontal) hasta los 90° (plano vertical) y así sucesivamente se repitió el mismo procedimiento para 8 orientaciones básicas, a manera de obtener la inclinación y orientación óptima en la que deben colocarse los paneles fotovoltaicos para Ciudad Morelos.

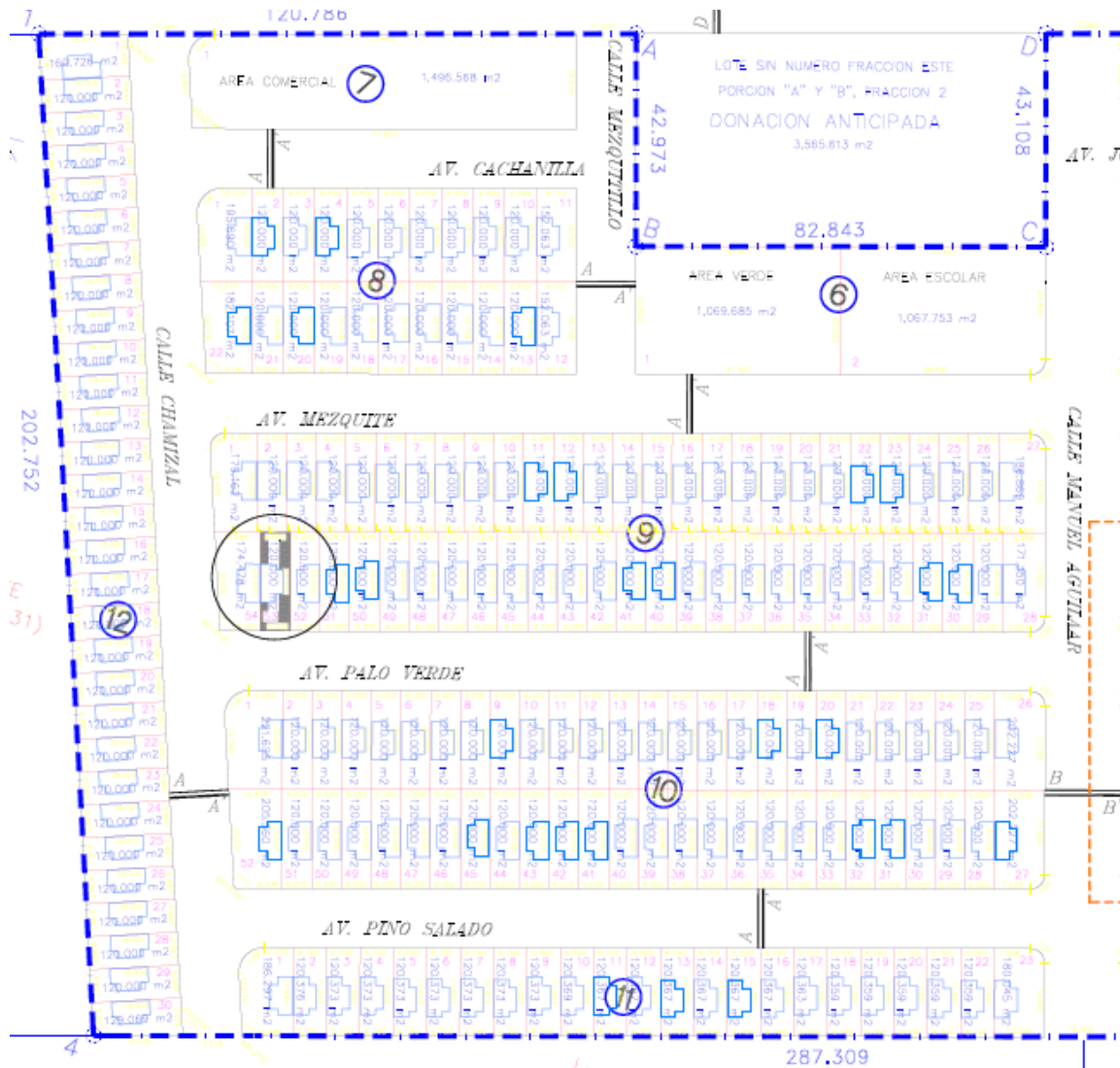
### **Fase 3. Simulación fotovoltaica escenario desarrollo 200 viviendas.**

La simulación dinámica de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red en herramientas como TRNSYS, permite optimizar los componentes del sistema fotovoltaicos, y detectar posibles errores de dimensionado, antes de instalar la granja fotovoltaica. TRNSYS se ha convertido en un software de referencia para los investigadores e ingenieros para la simulación de sistemas de energía solar, debido a que es un programa de simulación dinámico con una estructura modular que permite la especificación del sistema. En el simulador el usuario especifica los componentes que constituyen el sistema y la manera interconexión de los mismos (SEL, 2012). Entre las principales aplicaciones de sistemas con TRNSYS se incluyen: sistemas de calentamiento de agua, de energía fotovoltaica, de comportamiento térmico de edificios de sistemas de climatización, de cogeneración sistemas de energías renovables, cogeneración, de celdas de combustible, entre otros.

Por tanto se realizaron varias simulaciones en TRNSYS para una granja solar fotovoltaica interconectada a la red, en cada una de las simulaciones TRNSYS realizó los cálculos de la cantidad de energía producida por los paneles fotovoltaicos de acuerdo con la potencia instalada propuesta para suministrar energía eléctrica a un desarrollo de 200 viviendas. TRNSYS realizó dichos cálculos tomando en cuenta los consumos registrados en la vivienda tipo interés social durante todo un año. De esta manera se puede tener una simulación más precisa, donde se puede observar el comportamiento en la generación y consumo de energía de acuerdo con el mes que se quiera revisar.

Unos de los objetivos específicos de la simulación fue conocer si es posible suministrar de energía eléctrica a un desarrollo de 200 viviendas respetando el límite de 500 kW establecido en el contrato de interconexión a mediana escala de CFE. Lo anterior propuesto debido a que este número se asemeja a las casas construidas en Ciudad Morelos en el año 2009 por la desarrolladora Geo. Se construyeron 180 viviendas de 32 m<sup>2</sup> en la siguiente figura 5.4 se puede observar el sembrado de dicho fraccionamiento.

Figura 5.4 Fraccionamiento Valle de Cuervos, Ciudad Morelos B.C.



Fuente: Casas Geo, 2013.

#### Fase 4. Identificación del tamaño del sistema fotovoltaico

Para llevar cabo la simulación se procedió a determinar el archivo meteorológico TMY2, el cual entrega las siguientes variables climáticas: radiación, temperatura, dirección del viento de la zona de Ciudad Morelos. Este archivo se introduce a TRNSYS para poder conocer el potencial de radiación con el que cuenta la zona en investigación y así en conjunto con la información del tipo de celda y panel fotovoltaico poder realizar los cálculos de cuanto energía eléctrica se puede generar. En esta etapa de la metodología se plantea mediante TRNSYS 16 una potencia instalada interconectada a la red de 2.36 kW por vivienda.

Hay que añadir que para agilizar la introducción de información a TRNSYS es necesario elaborar un pre-dimensionamiento del sistema, para lo que se utilizó una hoja de cálculo que contiene una base de datos con información técnica de diferentes tipos de paneles fotovoltaicos. En dicha hoja se pueden realizar ejercicios con diferentes componentes con el objetivo de conocer el inversor más adecuado para el sistema y la producción de energía eléctrica que podría generar. La hoja de Excel es un auxiliar para determinar de manera específica los datos en TRNSYS. La estimación que arroja es la cantidad de paneles, así como el número de módulos en serie y en paralelo, para proteger el inversor, a continuación en la figura 5.5 se muestra algunos de los datos que intervienen en este pre-dimensionamiento.

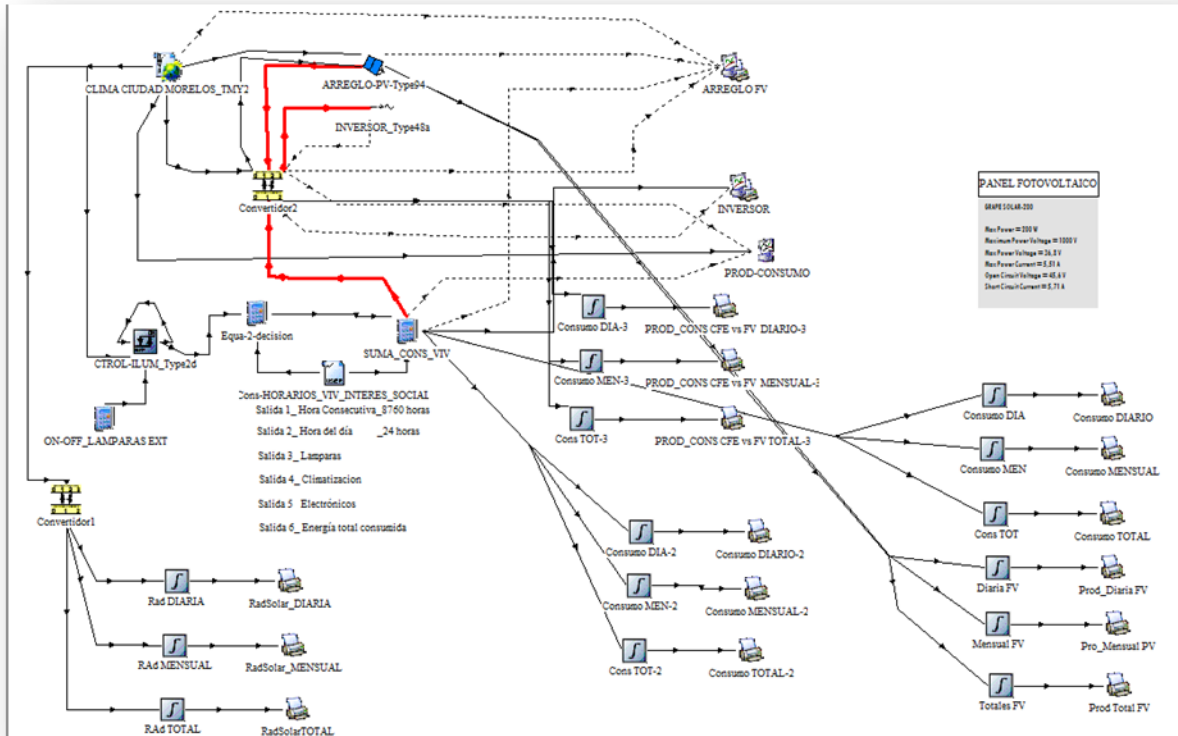
Figura 5.5 Dimensionamiento primario fotovoltaico en hoja de cálculo Excel.

| DATOS TÉCNICOS                                     |                         |  |   |
|--|-------------------------|--|---|
| <b>BATERÍAS</b>                                    |                         |  |   |
| MARCA-MODELO                                       | TROJAN T890, 8V         |  |   |
| CAPACIDAD DE ALMACENAJE                            | 210 Ah                  |  |   |
| TENSIÓN NOMINAL                                    | 8 V                     |  |   |
| ANCHO  | 0.181 m                 |  |   |
| LARGO  | 0.264 m                 |  |   |
| ALTO   | 0.276 m                 |  |   |
| EFICIENCIA   | 0.85                    |  |   |
| PESO   | 31.0 Kg                 |  |   |
| TEMPERATURA / FACTOR DE CORRECCIÓN ( °C )          | 10                      | Pb-Acido   |   |
| MÁXIMA PROFUNDIDAD DE DESCARGA                     | 0.8                     |  |   |
| CONSUMO MÁXIMO DIARIO DE DESCARGA                  | 0.2                     |  |   |
| RESERVA DE ENERGÍA (DÍAS DE AUTONOMÍA)             | 0.6                     |  |   |
| <b>INVERSOR</b>                                    |                         |  |   |
| MODELO   | FRONIUS CL 60.0, WYE277 |  |   |
| EFICIENCIA MÁXIMA                                  | 0.955                   |  |   |
| POTENCIA <b>MÍNIMA</b> PERMITIDA DESDE ARREGLO, CD | 51.00 KWp               |  |   |
| POTENCIA <b>NOMINAL</b> DEL INVERSOR, CD           | 60.60 KWp               |  |   |
| POTENCIA <b>MÁXIMA</b> PERMITIDA DESDE EL . CD     | 70.20 KWp               |  |   |
| POTENCIA <b>ADECUADA</b> DEL INVERSOR              | 3.69 KWp                |  |   |
| POTENCIA PICO <b>MÍNIMA</b> DE TENSIÓN             | 230 V                   |  |   |
| POTENCIA MÁXIMA DE TENSIÓN, DC                     | 600 V                   |  |   |
| POTENCIA PICO <b>MÁXIMA</b> DE TENSIÓN             | 500 V                   |  |   |
| CORRIENTE <b>NOMINAL</b> DE ENTRADA                | 163.7 A                 |  |   |
| CORRIENTE <b>MÁXIMA</b> DE ENTRADA                 | 277.5 A                 |  |   |
|  |                         | <b>MÓDULO FOTOVOLTAICO</b>                         |   |
|  |                         | MÓDULO   | Astronergy 18   |
|  |                         | MÁXIMA POTENCIA                                    | CHSM5612M-190   |
|  |                         | MÁXIMO VOLTAJE                                     | 190 W   |
|  |                         | MÁXIMA CORRIENTE                                   | 36.74 V   |
|  |                         | CORRIENTE A CIRCUITO ABIERTO                       | 5.2 A   |
|  |                         | CORRIENTE A CORTO CIRCUITO                         | 45.37 V   |
|  |                         | PESO DEL MÓDULO                                    | 5.5 A   |
|  |                         | LARGO  | 15.5 Kg   |
|  |                         | ANCHO  | 1.580 m   |
|  |                         | ESPESOR  | 0.808 m   |
|  |                         | ÁREA DE CAPTACIÓN                                  | 0.045 m   |
|  |                         | TIPO DE CONEXIÓN                                   | <input checked="" type="checkbox"/> Serie <input type="checkbox"/> Paralelo |
|  |                         | COEFICIENTE DE INTERCONEXIÓN EN SERIE              | 1.277 m <sup>2</sup>  |
|  |                         | COEFICIENTE DE INTERCONEXIÓN EN PARALELO           | 0.02  |
|  |                         | COEFICIENTE DE TEMPERATURA POR VOLTAJE             | 0.05  |
|  |                         | COEFICIENTE DE TEMPERATURA POR CORRIENTE           | -0.355  |
|  |                         | COEFICIENTE DE POTENCIA                            | 0.062   |
|  |                         |  | -0.48   |
|  |                         | <b>CABLEADO</b>                                    |   |
|  |                         | EFICIENCIA DEL CABLEADO                            | 0.97  |
|  |                         | <b>TENSIÓN DE OPERACIÓN</b>                        |   |
|  |                         | VOLTAJE DE OPERACIÓN DEL SISTEMA 12, 24, 36 ó 48 V | 24  |

Fuente: Luna (2012).

Obteniendo el archivo meteorológico y el pre-dimensionamiento adecuado se procedió a alimentar la información en TRNSYS 16. Los datos del módulo propuesto se ingresaron en el *Type 94* (icono de arreglo PV). EN el type es necesario ingresar datos de corriente, voltaje, numero de celdas que contiene el modulo, temperatura, número de módulos en serie y en paralelo, entre otros. En la figura 5.6, se muestra el diagrama de simulación del sistema fotovoltaico tal y como se ve en la pantalla de TRNSYS.

Figura 5.6 Simulación de sistema fotovoltaico interconectado a la red TRNSYS.



Fuente: Elaboración propia, a partir de Luna (2008).

Para efecto de conocer el distanciamiento que debe existir entre los módulos fotovoltaicos de la granja solar, se realizó un modelo en el software *Ecotect 2010*, el cual simula la proyección de las sombras de los paneles en base al mes de diciembre (mes de mayor inclinación en la proyección de la sombra).

Asimismo para verificar la simulación, en una hoja de cálculo se consideró la distancia “d”, medida sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura “h”, que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 5.5 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia “d” será superior al valor obtenido por la expresión:

$$\text{Ecuación 1: } d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

La distancia de separación entre filas de módulos depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado este el panel, deberá guardarse mayor distancia entre filas. El

terreno en esta zona no tiene problema de pendientes o escalones por lo que los paneles se colocaran a la distancia que marca la ecuación 1 para un ángulo de 32° (inclinación óptima para la zona) ya que a partir de dicha inclinación se define la máxima distancia entre filas de paneles.

Por lo tanto, para la ecuación 2 se requiere la longitud del panel y el ángulo con la horizontal de 32°, la altura “h” de los paneles será:

$$\text{Ecuación 2: } h = \text{sen}32 \times l$$

Conocida la altura que tendrán los paneles en su inclinación máxima y la latitud del lugar (32°), la distancia “d” entre paneles será de:

$$\text{Ecuación 3: } d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

Por tanto la distancia entre los extremos inferiores de dos paneles consecutivos resultará de la suma de la distancia “d” y la proyección de la longitud del panel sobre el suelo, es decir;  $a = \cos 32 \times l$ .

### **Fase 5. Estudio económico y emisiones de CO<sub>2</sub> granja solar Ciudad Morelos**

En esta fase se abordan algunos aspectos en el contexto económico y ambiental que generaría la instalación de la granja fotovoltaica en Ciudad Morelos. Uno de los objetivos de esta fase es conocer la diferencia en el costo de la energía eléctrica consumida en el desarrollo propuesto de 200 viviendas antes y después de contar con la potencia instalada en la granja fotovoltaica de 471.6 kWp (2.36 kWp/vivienda). Otro objetivo de esta fase va relacionado con el aspecto ambiental, este consiste en conocer de acuerdo con el escenario anteriormente mencionado para Ciudad Morelos cuantos kilogramos de dióxido de carbono se pueden dejar de emitir a la atmosfera.

Para conocer la diferencia entre el costo de la energía consumida por las 200 viviendas directamente y el que generarían con la granja solar instalada fue necesario utilizar una hoja de cálculo que contiene costos de energía eléctrica de la tarifa 1F de CFE al año 2013 (tarifa para uso exclusivamente domestico). Esta tarifa es utilizada para altos consumos en

localidades cuya temperatura media mensual en verano supere los 32 grados centígrados como mínimo. Con esta información se generaron graficas comparativas de costo de facturación para los usuarios. Además es en esta fase donde también se realiza un análisis para determinar la inversión que se requiere para la instalación de la granja solar en Ciudad Morelos con una potencia instalada de 471.6 kWp. Para realizar el análisis anterior se utilizaron los costos promedios del Kilowatt instalado en 2013 registrado en el reporte Tracking Sun VI.

Retomando lo mencionado al inicio de esta fase con respecto al aspecto ambiental se realizan cálculos para conocer cuántas emisiones de CO<sub>2</sub> se dejan de emitir a la atmosfera. Para realizar los cálculos se enlistaron los principales combustibles fósiles que se utilizan para la generación de electricidad y se multiplico el factor de conversión por la energía que genera la granja solar en Ciudad Morelos. Estos factores se obtuvieron de la publicación de la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) sobre emisiones de CO<sub>2</sub> de combustibles fósiles.

## RESULTADOS ESCENARIO FOTOVOLTAICO CIUDAD MORELOS

### Fase 1. Demanda eléctrica vivienda de interés social

Se inicia esta metodología enfocándose en la demanda eléctrica de una vivienda de interés social, se caracterizó como se mencionó en la metodología considerando los espacios; sala comedor, cocina, baño en los se observó que la vivienda cuenta con los electrodomésticos, lámparas y sistemas de climatización que se muestran en la tabla 5.1. Cabe mencionar, que dicha demanda eléctrica corresponde a una vivienda para cuatro personas, de los cuales dos son adultos y dos niños.

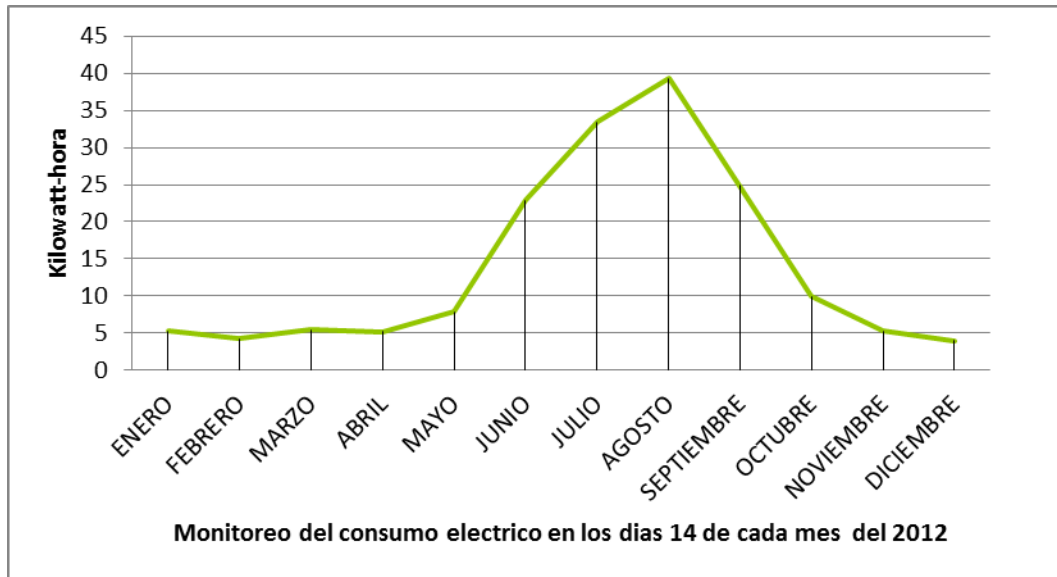
Tabla 5.1 Electrodomésticos de la vivienda de interés social.

| Cantidad | Descripción                                      | Watts |
|----------|--|-------|
| 7        | Focos fluorescentes compactos                    | 23    |
| 1        | Microondas                                       | 1200  |
| 1        | Plancha  | 1100  |
| 2        | TV modelo antiguo                                |       |
| 1        | DVD  |       |
| 1        | Radio modular grande                             |       |
| 1        | Laptop Toshiba                                   |       |
| 1        | Refrigerador                                     | 180   |
| 1        | A/C Panasonic INVERTER 1 ton modelo C5-Y512MKV-6 |       |
| 1        | A/C Samsung 2 ton                                |       |
| 1        | Lavadora vieja, Frigidaire Heavy duty            |       |

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Las lecturas que muestran los consumos de energía eléctrica para las 24 horas de la vivienda de interés social, de los días 14 de cada mes del 2012 se pueden consultar en las tablas de monitoreo dentro del anexo 1. A partir de dichas lecturas se realizó el gráfico 5.7, para mostrar el consumo eléctrico mensual, es notable el incremento en el consumo eléctrico de mayo hasta a octubre, esto debido a la utilización de los sistemas de acondicionamiento, necesarios para obtener el confort térmico en las viviendas.

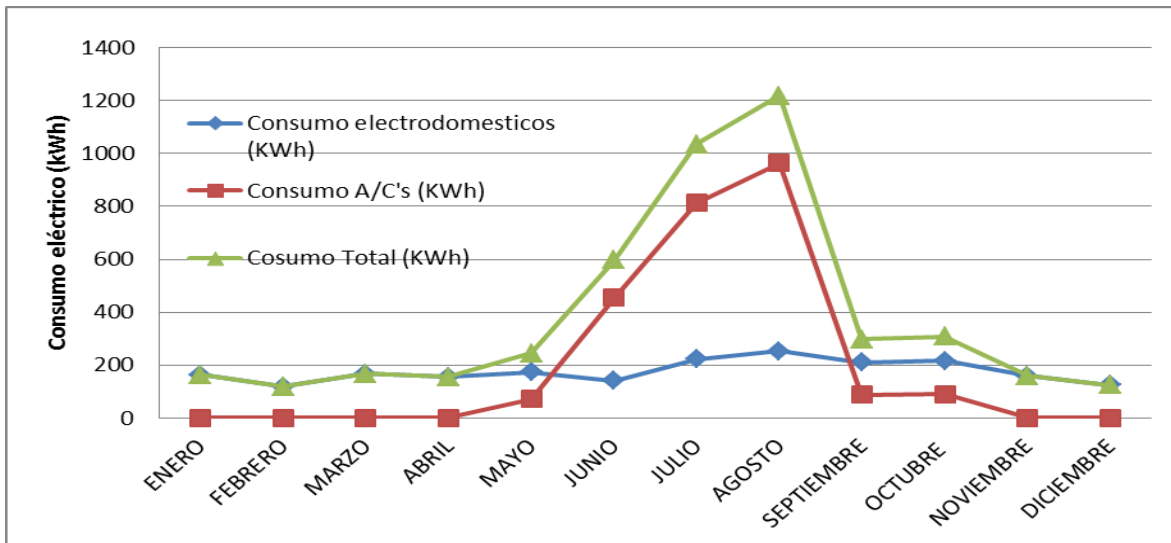
**Figura 5.7 Monitoreo del consumo eléctrico en los días 14 de cada mes del 2012.**



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de los consumos presentados en la figura 5.7 es similar al que se muestra en el resumen de los consumos totales concernientes a los 365 días de monitoreo en la figura 5.8, asimismo estos resultados anuales se puede consultar de igual manera en el anexo 1.

**Figura 5.8 Grafica consumos eléctricos aire acondicionado y consumos totales 2012.**



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la figura 5.8, se puede apreciar que gran parte del consumo durante el periodo de mayo a octubre es debido a que en ese periodo inicia la utilización de los sistemas de climatización artificial, llegando a consumir alrededor de 1,200 kWh durante el mes de agosto.

Del mismo modo la tabla 5.2 presenta la demanda máxima durante el monitoreo en la vivienda de interés social, también se presentan consumos anuales y el promedio de consumo diario de energía eléctrica totales en la tabla 5.4.

**Tabla 5.2 Demanda eléctrica máxima.**

| NUMERO_HORA | HORA  | DEMANDA A/C | DEMANDA ELECT. | DEMANDA DIARIA |
|-------------|-------|-------------|----------------|----------------|
| 5103        | 15:00 | 2.58        | 0.736796       | 3.0425         |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.3 Consumos eléctricos anuales y diarios.**

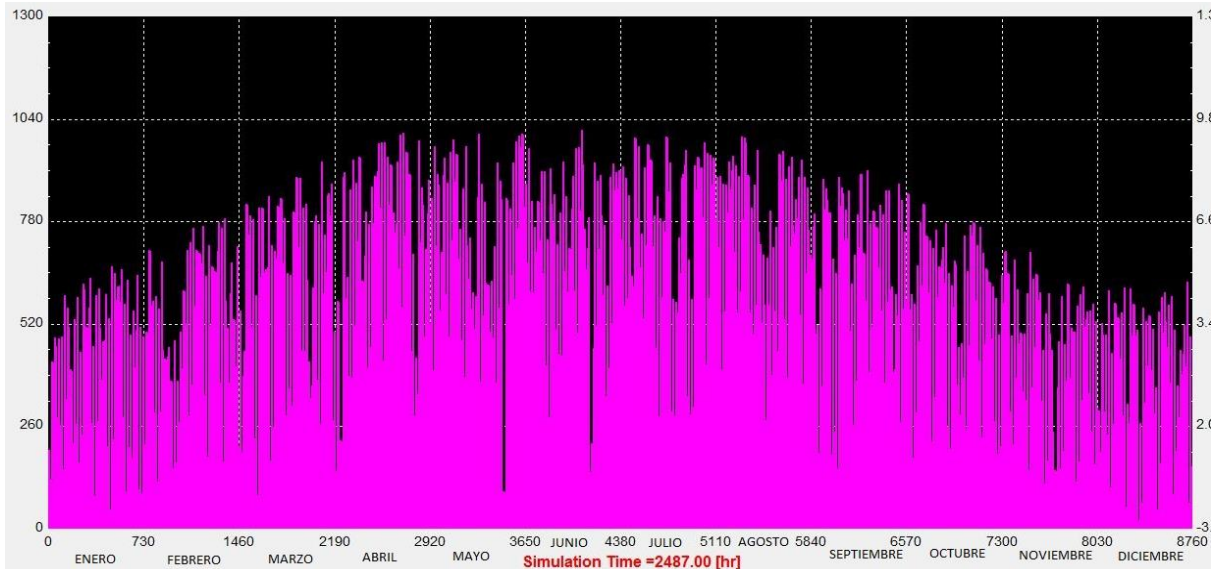
|                             | CONSUMO ANUAL kWh | CONSUMO A/C kWh | CONSUMO TOTAL kWh |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| PERIODO TOTAL MEDICION DIAS |                   |                 |                   |
| 365                         | 4,590.57          | 2,481.41        | 2,109.16          |
| PROMEDIO POR DIA            |                   |                 |                   |
| 1                           | 12.58             | 6.80            | 5.78              |

Fuente: Elaboración propia.

## **Fase 2. Disponibilidad del recurso solar**

La primera fase del trabajo de investigación consistió en conocer la disponibilidad del recurso solar en Ciudad Morelos, para lo que se utilizó el software *Meteonorm* 5.1 para generar el archivo meteorológico de Ciudad Morelos el cual se utilizó en TRNSYS 16 para analizar el comportamiento anual de radiación solar en el plano horizontal, como se muestra en la figura 5.9.

**Figura 5.9 Irradiación horizontal anual para Ciudad Morelos.**



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Meteornorm 5.1.

La información mostrada en la figura 5.9 confirma que la radiación solar se incrementa a partir de marzo hasta septiembre, dicha radiación se acerca a los límites máximos que sugiere la teoría lo que convierte a Ciudad Morelos en una zona viable para la implementación de sistemas de aprovechamiento solar, como las tecnologías fotovoltaicas.

En consecuencia de lo anterior, la orientación e inclinación de los sistema fotovoltaicos son muy importantes para lograr una adecuada captación del recurso solar y elevar la eficiencia en la producción. Por lo que se procedió a constatar cual es la inclinación y orientación adecuada para colocar los paneles fotovoltaicos en Ciudad Morelos. Para ello se realizaron simulaciones en TRNSYS 16, colocando paneles en 7 diferentes inclinaciones y 8 orientaciones básicas. A partir de la simulación se obtuvo una inclinación óptima para los paneles fotovoltaicos. Asimismo se determinó que la inclinación se asemeja a la latitud de la zona seleccionada como en los estudios realizados por Luna (2008). En la tabla 5.4 se muestra la disponibilidad de kWh/m<sup>2</sup> año en Ciudad Morelos de acuerdo con la inclinación y la orientación en que se desee colocar los paneles fotovoltaicos.

**Tabla 5.4 Producción energía de acuerdo con la orientación e inclinación de paneles fotovoltaicos en Ciudad Morelos.**

|    | N        | NO       | O        | SO       | SO       | SO       | SO       | SO       | S        | SE       | SE       | E        | NE       | N        |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|    | 180      | 135      | 90       | 45       | 5        | 3        | 2.5      | 2        | 0        | 5        | 315      | 270      | 225      | 180      |
| 0  | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,975.20 | 1,980.00 | 1,975.20 |
| 15 | 1,697.68 | 1,769.83 | 1,936.58 | 2,096.09 | 2,161.02 | 2,161.64 | 2,161.75 | 2,161.84 | 2,162.03 | 2,161.27 | 2,096.62 | 1,936.98 | 1,770.00 | 1,697.68 |
| 30 | 1,342.67 | 1,505.70 | 1,832.03 | 2,115.23 | 2,228.20 | 2,228.79 | 2,228.88 | 2,228.93 | 2,228.80 | 2,226.70 | 2,115.21 | 1,833.82 | 1,510.00 | 1,342.67 |
| 45 | 1,012.20 | 1,237.33 | 1,683.91 | 2,034.83 | 2,171.17 | 2,172.40 | 2,172.66 | 2,172.88 | 2,173.43 | 2,172.25 | 2,035.64 | 1,687.64 | 1,240.00 | 1,012.20 |
| 60 | 746.93   | 1,008.27 | 1,505.98 | 1,865.70 | 1,997.25 | 1,998.40 | 1,998.61 | 1,998.78 | 1,999.15 | 1,997.74 | 1,869.03 | 1,510.80 | 1,010.00 | 746.93   |
| 75 | 549.00   | 833.07   | 1,309.20 | 1,625.18 | 1,719.35 | 1,719.85 | 1,720.12 | 1,720.37 | 1,721.05 | 1,720.35 | 1,628.47 | 1,312.58 | 835.00   | 549.00   |
| 90 | 467.51   | 702.25   | 1,101.64 | 1,336.84 | 1,365.20 | 1,364.95 | 1,364.92 | 1,364.91 | 1,364.95 | 1,365.76 | 1,339.59 | 1,105.53 | 705.00   | 467.51   |

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5.4 nos muestra la producción de energía de acuerdo a la inclinación y orientación en que se coloquen los paneles, se puede apreciar que mientras más rojo sea la tonalidad del recuadro mayor será la producción de energía, y mientras más azul sea la tonalidad del recuadro la producción de energía será menor. Así que para poder generar una mayor producción en el sistema fotovoltaico se deben colocar a 31° y orientación de 2° en dirección suroeste, con las anteriores se logra un potencial anual de 2,228 kWh/m<sup>2</sup> año.

### Fase 3. Simulación fotovoltaica para 200 viviendas

La simulación se realizó a partir del archivo meteorológico Ciudad Morelos, el cual contiene información meteorológica del sitio. Del mismo modo se ingresó la información del panel fotovoltaico Grape Solar 200 con una eficiencia del 19% y potencia de 200 Watts, el módulo cuenta 72 celdas, una corriente de corto circuito de 5.71 Amperes y voltaje de circuito abierto de 45.6 Volts.

Para la demanda eléctrica, se consideraron los consumos horarios de las 8760 horas del año, los cuales se definieron a partir de los datos monitoreados.

Una vez alimentada la información al simulador TRNSYS 16, se procedió a ejecutar la simulación para identificar el área requerida para satisfacer la demanda eléctrica de las 200 viviendas propuestas. A continuación se presenta la tabla 5.5 con los consumos de las 200 viviendas.

**Tabla 5.5 Consumo eléctrico de 200 viviendas interés social.**

| HR       | MES        | EQUIPOS A/C + LINEA PRINCIPAL kWh |
|----------|------------|-----------------------------------|
| 744      | ENERO      | 32,691.94                         |
| 1,416.00 | FEBRERO    | 23,871.89                         |
| 2,160.00 | MARZO      | 33,591.21                         |
| 2,880.00 | ABRIL      | 31,243.41                         |
| 3,624.00 | MAYO       | 48,938.86                         |
| 4,344.00 | JUNIO      | 119,463.29                        |
| 5,088.00 | JULIO      | 207,163.46                        |
| 5,832.00 | AGOSTO     | 243,641.11                        |
| 6,552.00 | SEPTIEMBRE | 59,461.66                         |
| 7,296.00 | OCTUBRE    | 61,360.08                         |
| 8,016.00 | NOVIEMBRE  | 31,865.16                         |
| 8,760.00 | DICIEMBRE  | 24,783.67                         |
|          |            | 918,075.74                        |

Fuente: Elaboración propia, a base de TRNSYS 16.

En este mismo sentido se realizó la simulación para las 200 viviendas de interés social esta ocasión con una potencia fotovoltaica instalada de 2.36 KWp/ vivienda, con el objetivo de ver cuanta energía es capaz de producir e integrar a la red, en la tabla 5.6 se muestran los resultados de esta simulación de interconexión a la red.

**Tabla 5.6 Comportamiento eléctrico (CFE vs. FV) de 200 viviendas interés social interconectadas a la red eléctrica con una potencia instalada de 2.36 kWp.**

| Tiempo (hr) | Mes        | Consumo de C.F.E (+)<br>Excedentes Fotovoltaicos (-)<br>(kWh) | Suministro Eléctrico |
|-------------|------------|---|----------------------|
| 744.00      | ENERO      | -23,869.68  | FV                   |
| 1416.00     | FEBRERO    | -36,718.26  | FV                   |
| 2160.00     | MARZO      | -43,644.81  | FV                   |
| 2880.00     | ABRIL      | -52,851.54  | FV                   |
| 3624.00     | MAYO       | -34,653.54  | FV                   |
| 4344.00     | JUNIO      | 37,390.83   | CFE                  |
| 5088.00     | JULIO      | 111,757.96  | CFE                  |
| 5832.00     | AGOSTO     | 145,350.70  | CFE                  |
| 6552.00     | SEPTIEMBRE | -27,466.54  | FV                   |
| 7296.00     | OCTUBRE    | -17,967.31  | FV                   |
| 8016.00     | NOVIEMBRE  | -31,713.52  | FV                   |
| 8760.00     | DICIEMBRE  | -29,485.04  | FV                   |

Fuente: Elaboración propia, a base de TRNSYS 16.

En síntesis la tabla 5.6 muestra que con potencia instalada de 2.36 kWp por vivienda, junio, julio y agosto son los meses en los que se requiere suministro de CFE al desarrollo. Sin embargo, debido a la energía aportada durante el periodo de enero a mayo y de septiembre a diciembre por la granja solar se cuenta con los suficientes excedentes de energía para saldar en su totalidad lo demandado en los meses de intenso calor en Ciudad Morelos. A partir de los resultados se observa que el sistema propuesto suministra la energía eléctrica para el desarrollo de 200 viviendas y se apega a lo que establece el contrato de interconexión de CFE de cogeneración a mediana escala de 500kW. Cabe mencionar que el sistema fotovoltaico propuesto de 2.36 kWp de potencia por vivienda se encuentra por debajo del límite de la generación permitida por CFE con una generación máxima de 471.6 kW.

#### **Fase 4. Identificación del tamaño del sistema fotovoltaico para Ciudad Morelos**

Partiendo de los resultados de la fase anterior, se calculó el tamaño de la granja fotovoltaica de Ciudad Morelos, para ello se utilizó la hoja de cálculo de pre-dimensionamiento por la cual se obtuvo para una potencia instalada de 2.36 kWp/ vivienda se requieren 2,358 paneles Grape

Solar modelo GS-D-200-Fab1, la tabla 5.7 presentan las especificaciones del módulo fotovoltaico propuesto.

**Tabla 5.7 Especificación modulo fotovoltaico Grape Solar.**

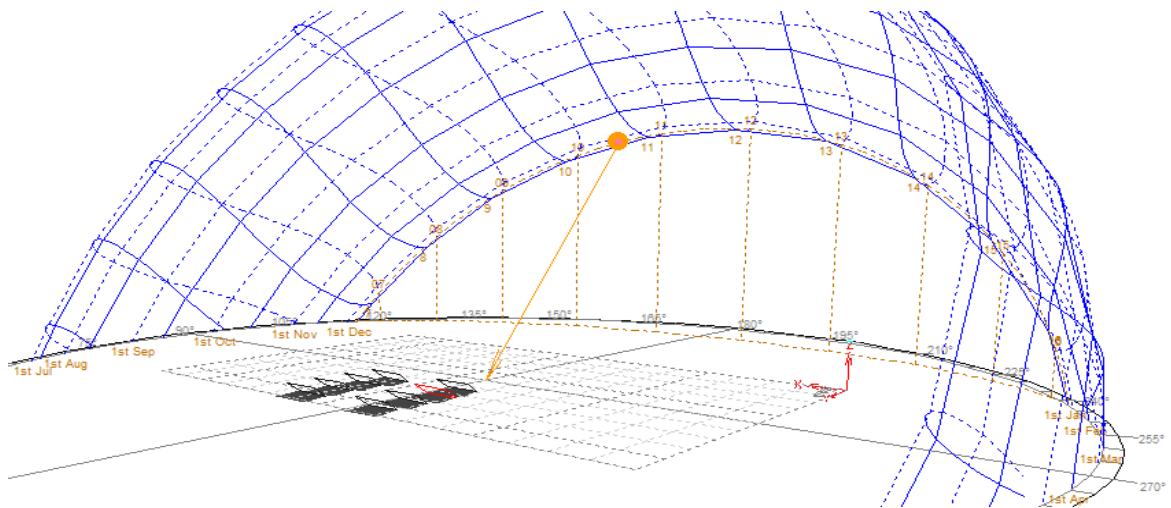
| <b>MÓDULO FOTOVOLTAICO</b>                |                       |
|---|-----------------------|
| <b>MODELO</b>                             | <b>Grape Solar 44</b> |
| MODELO                                    | GS-S-200-Fab1         |
| MÁXIMA POTENCIA                           | 200 W                 |
| MÁXIMO VOLTAJE                            | 36.30 V               |
| MÁXIMA CORRIENTE                          | 5.5 A                 |
| CORRIENTE A CIRCUITO ABIERTO              | 45.60 V               |
| CORRIENTE A CORTO CIRCUITO                | 5.7 A                 |
| PESO DEL MÓDULO                           | 15.5 Kg               |
| LARGO                                     | 1.580 m               |
| ANCHO                                     | 0.808 m               |
| ESPELOR                                   | 0.040 m               |
| ÁREA DE CAPTACIÓN                         | 1.277 m <sup>2</sup>  |
| COEFICIENTE DE INTERCONECCIÓN EN SERIE    | 0.02                  |
| COEFICIENTE DE INTERCONECCIÓN EN PARALELO | 0.05                  |
| COEFICIENTE DE TEMPERATURA POR VOLTAJE    | -0.35                 |
| COEFICIENTE DE TEMPERATURA POR CORRIENTE  | 0.056042032           |
| COEFICIENTE DE POTENCIA                   | -0.45                 |

Fuente: Grape Solar, 2012.

Una vez encontrada la capacidad instalada, se procedió a conocer la distancia mínima de separación que debe existir entre las distintas filas de módulos solares para evita que se produzcan sombras entre los mismos módulos y se vea afectada la producción.

A partir del software Ecotect 2010 se puede observar en la figura 5.10, la simulación de la proyección de las sombras de los paneles durante el mes de diciembre, asimismo se observa la trayectoria que sigue el sol de acuerdo con el horario del día.

**Figura 5.10 Separación entre módulos en mes crítico (diciembre 21).**



Fuente: Elaboración propia, a partir de Ecotect 2010.

En suma después de realizar las ecuaciones de la metodología, la dimensión que requieren los paneles fotovoltaicos con relación a sus dimensiones, de 1.58m de largo, 0.808m de ancho y espesor de 0.04m, orientados al sur con una inclinación de 31°, requieren una separación 2.88m entre cada fila por lo que es necesario un área de 5,486.74m<sup>2</sup>.

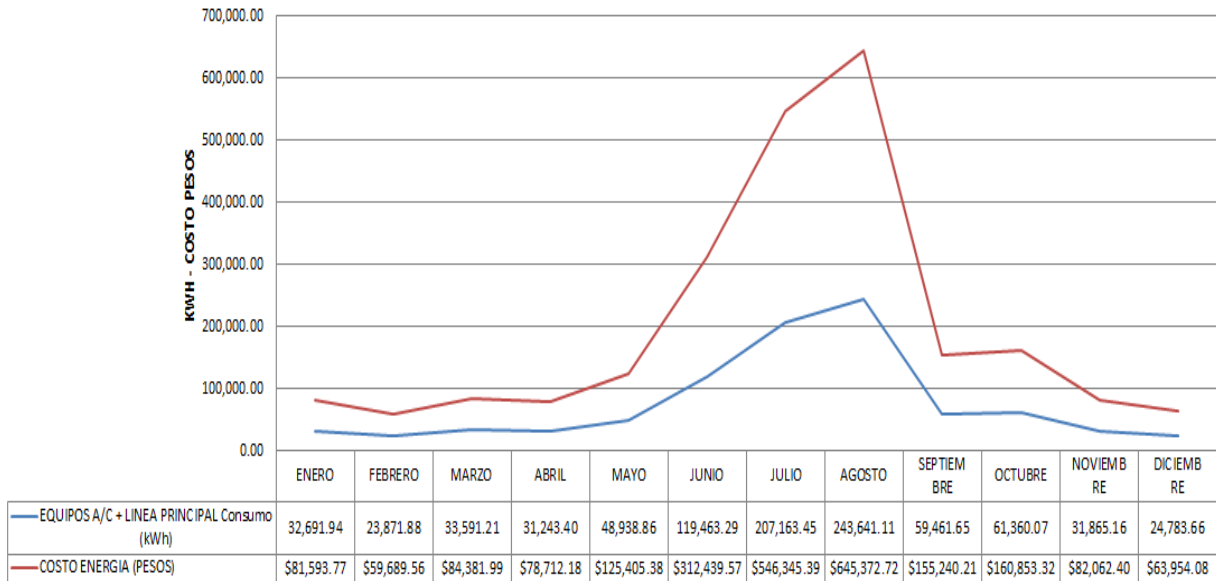
### **Fase 5. Estudio económico y emisiones de CO<sub>2</sub> granja solar Ciudad Morelos**

Los estudios económicos y ambientales de esta fase vienen a complementar el aporte energético de la granja fotovoltaica propuesta para Ciudad Morelos y en cierta manera mostrar cómo se integra con los principales pilares del desarrollo sustentable.

En relación con lo anterior en esta etapa se realizó el estudio económico que consistió en realizar los cálculos concernientes al costo de la energía sin subsidio (costo directo), asimismo se realizó el cálculo del costo de la energía eléctrica considerando la granja solar con potencia instalada de 2.36 kWp por vivienda y el tiempo estimado para recuperar la inversión que requiere la granja solar de Ciudad Morelos.

En la figura 5.11, se muestra los consumos y costos de facturación de energía eléctrica para cada uno de los meses de acuerdo con la tarifa 1F de CFE para el desarrollo de 200 viviendas en Ciudad Morelos.

**Figura 5.11 Consumo eléctrico y costo de 200 viviendas interés social.**

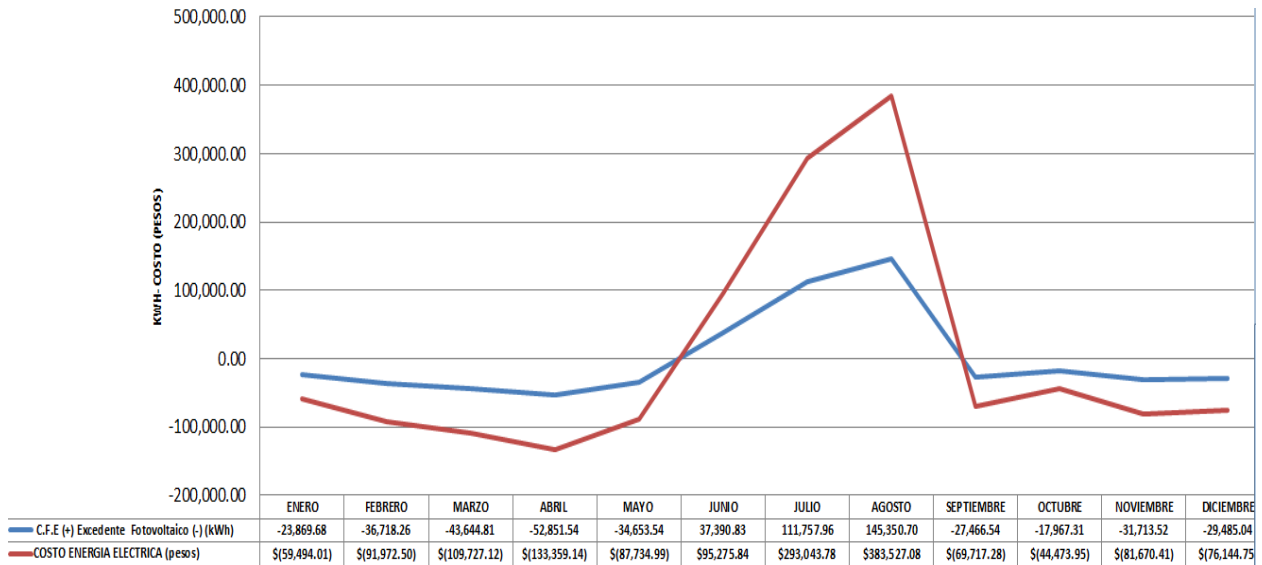


Fuente: Elaboración propia, a partir de TRANSYS 16.

En definitiva en la figura 5.11 se observa que el consumo así como el costo se incrementa a partir de junio hasta agosto, facturando cerca de 1 millón 500 mil pesos por los 570, 267.85 kWh; estos tres meses representan el 62% del consumo anual de las 200 viviendas el cual es de 918, 075 kW con un costo anual de 2 millones 396 mil pesos.

De igual manera en este apartado se presenta el estudio para una capacidad instalada de 2.36 kWp por vivienda, la figura 5.12 muestra el costo por dicho consumo se puede observar el balance de energía entre la energía de producción del sistema fotovoltaico y la requerida por parte de CFE.

**Figura 5.12 Consumo eléctrico y costo (CFE) de 200 viviendas interés social interconectadas a la red con una potencia instalada de 2.36 kWp.**



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los cálculos de la figura 5.12, se determinó que el sistema fotovoltaico aporta a la red 298,370.29 kW, que representa una mayor producción anual respecto a los consumo de las 200 viviendas de 294,499.50 kW.

El costo anual por el consumo realizado por las 200 viviendas en Ciudad Morelos durante el mes de enero a diciembre sería de \$276,718.49 M.N., debido a que solo se podrá bonificar lo acumulado de enero a mayo, esto representa que con los excedentes de invierno es suficiente para cubrir lo consumido durante junio y julio, sin embargo, con los excedentes de producción no solventa lo consumido durante agosto.

Una estrategia de contrato de interconexión del sistema propuesto es que se inicie operaciones de la granja solar a partir de septiembre con el fin de acumular los excedentes suficientes para cubrir la totalidad de la demanda eléctrica del desarrollo. Además que con dicha propuesta se contara con un respaldo de 1,765.68 kW. Esta estrategia se muestra en la tabla 5.8, en síntesis este escenario propuesto obtendrá una producción del 100% de la energía eléctrica demandada por las 200 viviendas desde el primer año.

**Tabla 5.8. Estrategia de interconexión a mediana escala de CFE.**

| 1           | PRIMER CICLO (KW)                         |              |  |
|-------------|---|--------------|--|
| ENERO- MAYO | 191,737.85                                |              | Se acumula y se convierte en Bono a favor del campo FV.  |
| JUNIO       | 38,017.34                                 | 153,720.51   | Se resta la demanda de este mes a la cantidad acumulada en enero-mayo.   |
| JULIO       | 112,486.25                                | 41,234.26    | Se resta la demanda de este mes a la cantidad acumulada en enero-mayo.   |
| AGOSTO      | 146,101.02                                | (104,866.76) | Lo acumulado en el periodo enero- mayo no es suficiente para satisfacer la demanda de agosto existe un déficit de 104,866.76 kW. |
| SEPT-DIC    | 106,632.44                                |              | Se recomienda el inicio de la operación del campo fotovoltaico en este periodo.  |
| 02-25       | SEGUNDO CICLO- VIGESIMO QUINTO CICLO (KW) |              |  |
| ENERO- MAYO | 298,370.29                                |              | Se acumula lo generado en el periodo de sept-dic (106,632.44) más lo generado de enero-mayo (191,737.85).                        |
| JUNIO       | 38,017.34                                 | 260,352.95   | Se resta la demanda de este mes a la cantidad acumulada en enero-mayo / septiembre-diciembre.                                    |
| JULIO       | 112,486.25                                | 147,866.70   | Se resta la demanda de este mes a la cantidad acumulada en enero-mayo / septiembre-diciembre.                                    |
| AGOSTO      | 146,101.02                                | 1,765.68     | A partir de este ciclo se cuenta con un saldo positivo anual de 1,765.68 kW.   |
| SEPT-DIC    | 104,463.72                                |              | Se acumula y se convierte en Bono.   |

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en lo que respecta al monto de la inversión se considero un costo de \$ 4.60 dolar/W instalado, en relación con el reporte del laboratorio nacional Lawrence Berkeley del estado de California. De acuerdo con esta información y a las características del campo fotovoltaico propuesto se obtiene que la inversión para el campo solar fotovoltaico propuesto oscila alrededor de los \$28, 201,680.00 M.N., constituido por 3,285 módulos GS-S-200-Fab1 de la marca Grape Solar en una superficie de 5,486.7 m<sup>2</sup> y tiene una potencia instalada de 471.60 kW que producirá el 100% de la energía requerida anualmente por el desarrollo de 200 viviendas.

Al realizar los calculos, con base en el maximo costo de \$2.54 M.N. para el año 2012, se obtiene que se la recuperacion de la inversion se da en 11.7 años, cabe mencionar que la vida util de del sistema fotovoltaicos es de 25 años., lo que deja alrededor de 13 años para solventar gastos de mantenimiento y ganancias.

En conjunto con los ahorros de energía y costo, se cuenta con una reducción de contaminación ambiental mediante la reducción de dióxido de carbono de la atmosfera. La tabla 5.9 muestra la reducción de kilogramos de CO<sub>2</sub> que se puede dejar de emitir a la atmosfera de acuerdo con los distintos combustibles convencionales utilizados para la generación de electricidad y la potencia instalada con la que cuenta la granja solar propuesta en Ciudad Morelos de 471.6 kWp.

**Tabla 5.9 Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por campo fotovoltaico propuesto en Ciudad Morelos.**

| <b>Combustible</b>          | <b>Factor de conversión<br/>Kg CO<sub>2</sub> / kWh</b> | <b>Kg CO<sub>2</sub></b> |
|-----------------------------|---|--------------------------|
| Gas                         | 0.38  | 348,868.78               |
| Petróleo crudo              | 0.61  | 560,026.20               |
| Líquidos del gas natural    | 0.50  | 459,037.87               |
| Gases líquidos del petróleo | 0.60  | 550,845.44               |
| Queroseno                   | 0.65  | 596,749.23               |
| Gasóleo / diésel            | 0.65  | 596,749.23               |
| Aceite combustible          | 0.62  | 569,206.96               |
| Coque o carbón mineral      | 0.97  | 890,533.47               |
| Desechos industriales       | 0.87  | 798,725.89               |

Fuente: Elaboracion propia, en base a datos de la IEA 2011.

Con el sistema propuesto se contribuye a la mitigación de gases efecto invernadero, y representa una manera de atender al compromiso que México firmo junto con otros 37 países en el Protocolo de Kioto debido a que estos proyectos se encuentra en el marco de su Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).

Dicho compromiso establece que a partir de 2006 los proyectos que disminuyan la inyección de CO<sub>2</sub> en nuestro país son elegibles para acceder mecanismo de financiamiento gracias a que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el Banco Nacional de Comercio Exterior y el Banco Mundial se reunieron para la creación del Fondo Mexicano de Carbono (FOMECAR), instrumento que funge como un mecanismo de asistencia técnica y de financiamiento, para promover la identificación y el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones y de captura de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro del marco Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto.

## **CAPITULO 6. CONCLUSIONES**

### **6.1 Conclusiones**

A partir del análisis del monitoreo del consumo eléctrico realizado en la vivienda de interés social, se pudo comprobar que el consumo eléctrico se eleva en el periodo de mayo a septiembre esto debido a las condiciones climáticas extremas que se presentan en Ciudad Morelos condición que hace necesario el uso de sistemas mecánicos de acondicionamiento del aire para asegurar el confort térmico.

De acuerdo con los resultados de la investigación realizada en este trabajo por medio de *Meteonorm* y de *TRNSYS* se puede establecer que Ciudad Morelos cuenta con un potencial de radiación mayor a la media nacional (5.5W/h2), específicamente cuenta con 6.19 W/m<sup>2</sup>. Para asegurar la capacitación de manera óptima se deben colocar los paneles fotovoltaicos con inclinación de 31° en dirección al sur.

Asimismo se observa que de acuerdo con el dimensionamiento elaborado en *TRNSYS* la energía generada en la granja fotovoltaica resulta suficiente para responder al 100% demanda anual del desarrollo compuesto por 200 viviendas. Esto debido a que el contrato de interconexión a mediana escala permite que durante el periodo de enero a mayo y de septiembre a diciembre la granja fotovoltaica almacene 298,370.29 kW, cantidad que es transformada en un bono a favor del generador (granja fotovoltaica de Ciudad Morelos) y es suficiente para satisfacer la demanda anual de 294,499.50 kW (consumidos de la red CFE) requerida durante el periodo de calor extremo en los meses de junio a agosto por las viviendas de interés social en Ciudad Morelos. Después de restar lo consumido de la red al bono disponible se tiene una diferencia de 1,765.68 kW a favor del campo fotovoltaico de Ciudad Morelos.

En consecuencia de lo anterior se recomienda un módulo de 200 viviendas de interés social conectadas a una granja solar fotovoltaica generadora de 298,370.29 kW como punto de referencia base. El escenario descrito se origina cuando la granja solar inicia operaciones en septiembre con potencia instalada de 471.6 kWp, esta potencia se encuentra por debajo del límite de 500 kWp establecido en el contrato de interconexión de mediana escala, por lo que

se considera factible técnicamente de acuerdo con la disponibilidad de radiación la implementación de esta granja solar en una superficie de 5,486.7 m<sup>2</sup> para el suministro de energía eléctrica destinada a la vivienda de interés social en Ciudad Morelos.

La inversión requerida para el campo solar fotovoltaico propuesto oscila alrededor de los \$28, 201,680.00 M.N. y su recuperación se estima en 11.7 años.

Es importante enfatizar que además del aporte energético anteriormente presentado se debe anexar la contribución ambiental que generara este campo solar fotovoltaico, debido a que la construcción del campo solar en el contexto de Ciudad Morelos para el suministro de energía eléctrica a un conjunto de 200 viviendas de interés social reduce la emisión a la atmosfera de 596.7 toneladas CO<sub>2</sub> (si la electricidad se genera a partir de gas/diésel) o hasta 890.5 toneladas de CO<sub>2</sub> (a partir de carbón mineral). Al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera por la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad se previene de igual manera la generación lluvia acida y el incremento de la temperatura global.

Es necesario para que estos tipos de proyectos prosperen y se materialicen, que en el ámbito de la planeación y la gestión se creen lineamientos que permitan fomentar la utilización y la inversión en materia de la generación limpia de energía eléctrica, como el aprovechamiento del potencial solar especialmente en la región norte del país como es el caso de Ciudad Morelos.

Continuando en el contexto de la gestión urbana se requiere organizar talleres de planeación anualmente, donde se procure la elaboración de programas y políticas que incentiven y fomenten el suministro de energía limpia a la vivienda, estos talleres deben contar con la participación de los actores claves de los tres niveles del gobierno para poder generar avances reales y lograr una consolidación en materia de aprovechamiento del potencial solar por medio de sistemas fotovoltaicos en forma masiva Ciudad Morelos y en la región del Valle de Mexicali, Baja California. En este caso la encargada de coordinar a estos actores claves tendría que ser la SENER y el grupo debe estar integrado por INFONAVIT, SHF, CANAVI, CFE, CRE, los ayuntamientos por mencionar a algunos de los más importantes en materia de energía y vivienda.

Un ejemplo puede ser impulsar la implementación de instrumentos regulatorios que faciliten la venta de electricidad generado por campos fotovoltaicos a CFE, y que no limiten bonificar los excedentes de energía solo a un año, esto puede significar un nuevo nicho de oportunidad para el sector privado, por ejemplo para los desarrolladores de vivienda al hacer más atractivos sus complejos habitacionales y para el gobierno de disminuir el monto de energía subsidiada y de mitigar la contaminación ambiental.

Otra opción para lograr una viabilidad económica puede ser la de direccionar los recursos contemplados para la obtención de eco-tecnologías por medio del programa conocido como *hipoteca verde* de INFONAVIT, para el fomento de sistemas fotovoltaicos. El objetivo sigue siendo el mismo, generar un ahorro de energía al derechohabiente, y de esta manera el impacto también alcanzara a favorecer al ambiente, lo que se plantea es destinar este recurso o presupuesto que anteriormente percibía el desarrollador por la colocación de baños ahorradores, seis lámparas ahorradores que ahora CFE provee de forma gratuita, obturadores para las llaves del lavamanos y regadera. En suma se cree que este recurso será de mayor beneficio si se direcciona al fomento de sistemas fotovoltaicos.

La promoción de la energía solar en la región representa una oportunidad de promover el desarrollo sustentable y responder al compromiso que acepto México en la agenda 21 y en documentos posteriores concerniente a la transición a energías renovable, la mitigación de la contaminación ambiental y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **6.2 Recomendaciones**

Existen otras formas de configuración y colocación para los sistemas fotovoltaicos, en el caso de Ciudad Morelos el espacio ni la topografía presenta una barrera para su instalación, sin embargo es recomendable realizar investigaciones donde dentro de la potencia permitida por CFE para generación fotovoltaica se configure la colocación de los paneles para adecuarse a las superficies disponibles, por ejemplo debido a que la verticalidad está siendo promovida por INFONAVIT se pueden utilizar las azoteas de los edificios, así como en azoteas de estacionamientos para los multifamiliares, lo importante es identificar cual es la energía renovable más apropiada para cada localidad y utilizar ese potencial.

Contemplar un espacio para la colocación de los sistemas fotovoltaicos para atender a las demandas energéticas de los desarrollos habitacionales (ya sea en cubierta o en terreno) de acuerdo al resultado del estudio de su demanda eléctrica, es decir de acuerdo al número de viviendas con las que contara el desarrollo, estos criterios se deben considerar por INFONAVIT, CONAVI para su inclusión en la normatividad que regula la construcción de viviendas y desarrollos sustentables.

El aprovechamiento de la energía solar ofrece una gran cantidad de beneficios que en su mayoría resultan de la reducción del consumo de combustibles fósiles como energía primaria para la generación de electricidad. Estos beneficios permean a las tres columnas del desarrollo social, a continuación se presentan algunas reflexiones sobre estos.

En el contexto de la planeación y la gestión urbana, debe convertirse en obligación el promover de manera constante la investigación del potencial energético renovable con el que cuenta en nuestro país, es viable para las pequeñas localidades empezar con este tipo de investigación y se incluyan los potenciales y las posibilidades de generar energía renovable dentro de los documentos de ordenamiento territorial lo antes posible, en aras de promover el desarrollo sustentable, sobre todo en regiones climáticas como a la que pertenece Mexicali B.C.

Como se mencionó al inicio de este trabajo debido a que el sector residencial es el que ha mostrado una tendencia de crecimiento en lo que concierne al consumo de energía eléctrica de acuerdo con la SENER, es necesario realizar una planeación conjunta entre el sector privado y el gobierno donde se busquen formas para integrar a la energía renovable para el suministro de los nuevos desarrollos, de esta manera se crean beneficios para ambas partes.

Esto debido a que al impulsar la tecnología fotovoltaica en el nivel residencial en el sector con el mayor número de usuarios de CFE, es decir los usuarios de tarifas 1-1F, no solo se incrementa el valor del desarrollo, sino que también se producen ahorros fiscales para el gobierno al reducir el consumo de energía eléctrica subsidiada, reducción de gastos de generación de energía para CFE que pueden estar disponibles para atender a otro tipo de necesidad energética. Asimismo se puede acceder a bonos por la reducción de carbono a la atmosfera los cuales pueden ser destinados al desarrollo de este tipo de tecnología en la región

y lograr reducir su costo, como ejemplo tenemos al estado de California en Estados Unidos estado que ha logrado año tras año disminuido el costo del kilowatt instalado.

En el contexto social se beneficia por medio de la creación de empleo locales y la generación de nuevas empresas que presten servicios y/o materiales para la elaboración y mantenimiento de estos nuevos proyectos renovables.

En la intención de ser proactivos en materia fotovoltaica es necesario promover la creación de empresas mexicanas que se especialicen en el reciclaje de celdas fotovoltaicas, a manera de poder reutilizar el silicio al final de la vida productiva de los sistemas fotovoltaicos. Otra oportunidad que puede originar la utilización de sistemas fotovoltaicos en la región es la de impulsar la certificación de equipos en laboratorios de universidades locales y promover la ampliación y consolidación de laboratorios de investigación y prueba.

En el contexto ambiental se atiende al compromiso que tiene México con el protocolo de Kioto y en la agenda 21, con la reducción de gases de efecto invernadero, y otros gases nocivos para la salud como humana y ambiental como los óxidos de nitrógeno y azufre causantes de la lluvia ácida.

Al iniciar este trabajo solo ocho estados del país contaban con leyes en materia de energía renovable. En ellas se incentiva el aprovechamiento y uso de las mismas aun cuando no se especializan en el tema. Baja California se unió a esta lista publicando su ley en materia de energías renovables en junio de 2012, donde se tiene por objetivo coordinar, implementar y fomentar el uso y aprovechamiento de las fuentes renovables, así como impulsar la sustentabilidad energética del Estado promoviendo el desarrollo sustentable de la región mediante la transición energética, sin embargo para complementarla es necesario continuar realizando investigaciones sobre la utilización de energías renovables especialmente para región del Valle de Mexicali.

## Bibliografía

- Barbose, G. Durghout, N. Weaver, S. (2013). Tracking the sun VI: The installed price of photovoltaics in the United States from 1998 to 2012. Berkeley Lab. Recuperado el 10 agosto 2013 de <http://emp.lbl.gov/sites/all/files/>
- Becerril, D. (2011). Sustitución energética mediante el aprovechamiento de la energía solar: paneles fotovoltaicos en escuelas primarias públicas de la ciudad de Mexicali, B.C. Tesis para obtener el grado de Maestro en Planeación y Desarrollo Sustentable, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali B.C. México.
- Cárdenas, LA. (1998). Boletín INVI, 13 (33). Pp. 3-20. Disponible en: <http://revistainvi.uchile.cl/ojs3/index.php/INVI/article/viewArticle/228>
- Comisión Federal de Electricidad, CFE (2012). *¿Qué es CFE?* Recuperado el 15 de mayo 2012 de <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/Paginas/QuienesSomos.aspx>
- Comisión Federal de Electricidad, CFE (2012). Conoce tu tarifa. Recuperado el 15 de mayo 2012 de [http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_casa.asp](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp)
- Comisión Nacional del Petróleo, 2007. Hard truths, enfrentando el grave problema energético. Recuperado el 11 de abril 2012 de [http://www.npc.org/hard\\_truths-translations/hardtruths\\_spanish.pdf](http://www.npc.org/hard_truths-translations/hardtruths_spanish.pdf)
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía (CONUEE), (2009). Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2009-2012 (PRONASE), México. Recuperado el 17 de noviembre 2011 de [http://www.conuee.gob.mx/work/files/pronase\\_09\\_12.pdf](http://www.conuee.gob.mx/work/files/pronase_09_12.pdf)
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía CONUEE, (2011). *¿Qué es CONUEE?* Recuperado 24 de Mayo de 2011 de [Http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Que\\_es\\_conae](Http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/Que_es_conae)
- Comisión Reguladora de Energía, 2010. Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o sistema de Cogeneración en Mediana Escala. Recuperado el 05 de febrero 2012 de <http://www.cre.gob.mx/documento/1333.pdf>
- Drexhage, J. Murphy, D. (2010). Sustainable development: from Brundtland to Rio 2012. International Institute for Sustainable Development (IISD). Recuperado 30 junio 2012 de [http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP1-6\\_Background%20on%20Sustainable%20Devt.pdf](http://www.un.org/wcm/webdav/site/climatechange/shared/gsp/docs/GSP1-6_Background%20on%20Sustainable%20Devt.pdf)
- Falk, A. Durschner, C. Remmers, K. (2007). Photovoltaics for professionals: Solar electric systems marketing, design and installation. Solarpraxis AG. Berlin 2007.
- Grape Solar, (2013). Panels & Kits Specs. Recuperado el 10 enero 2012 de <http://www.grapesolar.com/specs-200w-mono-gs-s-200-fab1.html>
- Guevara, S. (2003). Estimación de la radiación solar. Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Rural-Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú 2003. Recuperado el 03 de mayo 2012 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/xxii.pdf>  
<http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/e2006f.pdf>

- Ibáñez, O. (2009). Diagnóstico de información energética. Border Environment Cooperation Commission- Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (BECC-COCEF, 2009) Ciudad Juárez. Chihuahua, México recuperado el 15 de noviembre 2011, de [http://www.cocef.org/espanol/VLibrary/Publications/BECC\\_Publications/diagnostico\\_infraestructura\\_energetica.pdf](http://www.cocef.org/espanol/VLibrary/Publications/BECC_Publications/diagnostico_infraestructura_energetica.pdf)
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), (2012). Acerca de nosotros. Recuperado el 12 noviembre 2012 de : <http://www.iie.org.mx/>
- Instituto de Investigaciones Legislativas (IILSEN), (2004), Nuevas energías renovables: una alternativa sustentable para México. Recuperado el miércoles 14 de septiembre de 2011 de: <http://www.senado.gob.mx/iilsen/>
- Instituto Nacional de Ecología (INE), (2006). Valoración de las mejoras en eficiencia energética para viviendas de interés social en torreón Coahuila y Mexicali Baja California. Recuperado el 23 de febrero 2012 de
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (1990). Censo de población 1990.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2010). Censo de población 2010.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2013). Cuéntame, Coordenadas extremas de México. Recuperado el 8 de noviembre 2013 de <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/coordenadas.aspx?tema=T>
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), (1995). Notas sobre el curso de energía solar. Departamento de procesos tecnológicos e industriales. Recuperado el 25 de noviembre 2012 de: [http://www.solartronic.com/download/curso\\_iteso.pdf](http://www.solartronic.com/download/curso_iteso.pdf)
- Luna, A. (2008). *Diseño y evaluación de vivienda energéticamente sustentable*. Tesis. Doctoral no publicada, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México.
- Martínez, E., (1992). Recursos naturales, biodiversidad, conservación y uso sustentable. Botánica y Fitosociología, IADIZA. Multequina 1: pp. 11-18, 1992. Recuperado el 17 de marzo 2012 de [http://www.cricyt.edu.ar/multequina/indice/pdf/01/1\\_8.pdf](http://www.cricyt.edu.ar/multequina/indice/pdf/01/1_8.pdf)
- Mayor, F., (2009). Los límites del crecimiento. Revista Temas No.181. Recuperado de 16 de marzo 2012 de [http://www.fundacionsistema.com/media/PDF/TEMAS181\\_PDF\\_MayorZaragoza.pdf](http://www.fundacionsistema.com/media/PDF/TEMAS181_PDF_MayorZaragoza.pdf)
- Newman, P. (2001). *Sustainable Cities of the Future: The Behavior Change Driver*. 1ra Edición 2010: Sustainable Development in the Urban Environment.
- Organización de las Naciones Unidas, (ONU) (1998). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Recuperado el 26 de mayo 2012 de <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Osma, P. Plata, G. (2010). Desarrollo sostenible en edificaciones. UIS Ingenierías; 2010, Vol. 9 Issue 1, p103-121, 19p. Recuperado el 22 de febrero 2012 de EBSCOhost.
- Padilla, LS., Juárez MC. (2000). La dimensión del crecimiento poblacional de Mexicali. Investigaciones geográficas , Universidad Nacional Autónoma de México, número 043, México D.F. Recuperado el jueves 8 de marzo 2012 de <http://www.redalyc.org/redalyc/pdf/569/56904306.pdf>

- Ravetz, J. (2001). *City Region 2020: integrated planning for a sustainable environment*, 2a edición, pp. 8-17. Earthscan, Londres, Inglaterra (2001).
- Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century (REN21), (2012). *Renewable Energy in the International Policy Process*. Recuperado el 18 de abril 2012 de <http://www.ren21.net/Portals/97/documents/Other/International%20RE%20Policy%20Process.pdf>
- Riechmann, J., Naredo J. (1995). *Desarrollo sostenible: la lucha por la interpretación. De la economía a la ecología*, capitulo I. Trotta, Madrid 1995. Recuperado el 16 de marzo 2012 de <http://www.ambiente.gov.ar/infoteca/descargas/riechman01.pdf>
- Rombaut, E. (2007). *Architecture, Urban Planning and Biodiversity: Thoughts about an ecopolis. Plea for a lobe city*. Recuperado el 22 de marzo 2012 de <http://www.curbain.be/download/Architectureurbanplanningandbiodiversity2MED.pdf>
- Santamarta, J. (2004). *Las energías renovables son el futuro*. World Watch. Recuperado el 20 de mayo 2012 de <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Santamarta2004.pdf>
- Satterthwaite, D. (2004). *The earthscan reader in sustainable cities*. Londres : Earthscan, 2004
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2010. *Incremento en la Aumento a la competitividad de la asociación de avicultore de Tehucan A.C*. Recuperado el jueves 28 de marzo 2012 de [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios\\_promercado/Incremento%20a%20la%20competitividad%20de%20la%20Asoc.%20de%20Avicultores%20de%20Tehuacan.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/Incremento%20a%20la%20competitividad%20de%20la%20Asoc.%20de%20Avicultores%20de%20Tehuacan.pdf)
- Secretaria de Economía, (SE) (2013). *Inversión en energías renovables 2006-2012*. Recuperado el 08 de febrero 2012 de [http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias\\_perfil\\_del\\_sector](http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias_perfil_del_sector)
- Secretaria de Energía (SENER), (2006). *Prospectiva del sector eléctrico 2006-2015*. Recuperado el jueves 08 de marzo 2012 de [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/prospsectelec2006.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/prospsectelec2006.pdf)
- Secretaria de Energía (SENER), (2007). *Programa Sectorial de Energía 2007-2012*. Recuperado el jueves 17 de noviembre 2011 de [http://www.sener.gob.mx/portal/programa\\_sectorial\\_de\\_energia\\_2007-2012.html](http://www.sener.gob.mx/portal/programa_sectorial_de_energia_2007-2012.html)
- Secretaria de Energía (SENER), (2009). *Energías renovables para el desarrollo sustentable de México 2009*. Recuperado el jueves 08 de marzo 2012 de [http://www.sener.gob.mx/res/0/ER\\_para\\_Desarrollo\\_Sustentable\\_Mx\\_2009.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf)
- Secretaria de Energía (SENER), (2012). *Programa de fomento de sistemas fotovoltaicos en México*. Recuperado el jueves 20 de marzo 2012 de [http://www.anes.org/anes/formularios/LeyesyNormas/Leyes/informe\\_final\\_ProSolar\\_Color.pdf](http://www.anes.org/anes/formularios/LeyesyNormas/Leyes/informe_final_ProSolar_Color.pdf)
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), (2009). *Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Primera edición. Recuperado el 6 de agosto 2013 de [http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia\\_social\\_ambito\\_regional\\_multilateral/agenda\\_internacional/agenda\\_y\\_temas\\_internacionales/cambio\\_climatico/mex\\_quinta\\_comunicacion\\_cmnucc.pdf](http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/mex_quinta_comunicacion_cmnucc.pdf)
- Secretaria General de Gobiernos del Estado de Baja California, (2012). *Programa ordenamiento territorial de la zona metropolitana de Mexicali, Baja California*. Periódico oficial del Estado de Baja California, Tomo

CXIX. Recuperado el 18 de abril 2012 de

<http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/gobierno/legislacion/periodico/2012/febrero/SECC-II-17-02-2012.pdf>

- Solar and Wind Energy Resource Assesment (SWERA), ( 2011). Recuperado el 10 de mayo 2012 de <http://en.openei.org/apps/SWERA/>
- Solar Energy Laboratory of the University of Wisconsin (SEL), (2012). TRNSYS 17 a TRaNsient S Ystem Simulation program. Recuperado el 8 de octubre 2012 de <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/t17updates.pdf>
- Solar energy solutions (Solargol), (2012). Recuperado el 01 de enero 2012 de <http://www.solargol.com/sg/intex.asp>
- Tjallingii, S. (1995). *Ecopolis, strategies for ecologically soun urban development*. Holanda : Backhuys Publishers, 1995.
- United Nations Environment Programme (UNEP), (2011). SWERA Programme , EEUU. Recuperado el viernes 7 de octubre 2011 de <http://swera.unep.net/index.php?id=7>
- Universidad de Standford, (2006). Energy Assessment Analysis, GCEP (Global Climate Energy Project) 2006, EEUU. Recuperado el viernes 7 de octubre 2011 de [http://gcep.stanford.edu/pdfs/assessments/solar\\_assessment.pdf](http://gcep.stanford.edu/pdfs/assessments/solar_assessment.pdf)
- Universidad Politécnica Catalunya (UPC), (2012). Desarrollo e implementación de energías renovables. Recuperado el miércoles 28 de marzo 2012 de: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3428/7/31530-26.pdf>
- XVI Ayuntamiento de Mexicali B.C., (2000). Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali 1995- 2000. Recuperado el 24 de abril 2012 de <http://www.mexicali.gob.mx/transparencia/administracion/ordenamientoecologico/plandeordenamientoecologico.pdf>
- XVI Ayuntamiento de Mexicali B.C., (2000). Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Ciudad Morelos, B.C., 2020.

**Anexo 1**

**Tablas de consumo eléctrico días 14 de cada mes 2012.**

**Tabla 5.10 Consumos eléctricos días 14 primer trimestre.**

| HORA INICIO | HORA FINAL    | ENERO (kWh)     | FEBRERO (kWh)   | MARZO (kWh)     |
|-------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|             |               | Línea Principal | Línea Principal | Línea Principal |
| 12:00:00 AM | 1:00:00 AM    | 0.193621        | 0.168543        | 0.172752        |
| 1:00:00 AM  | 2:00:00 AM    | 0.176584        | 0.163506        | 0.166196        |
| 2:00:00 AM  | 3:00:00 AM    | 0.182779        | 0.158467        | 0.201334        |
| 3:00:00 AM  | 4:00:00 AM    | 0.194429        | 0.141215        | 0.236551        |
| 4:00:00 AM  | 5:00:00 AM    | 0.188807        | 0.138084        | 0.17002         |
| 5:00:00 AM  | 6:00:00 AM    | 0.219277        | 0.157158        | 0.186789        |
| 6:00:00 AM  | 7:00:00 AM    | 0.238086        | 0.132213        | 0.17457         |
| 7:00:00 AM  | 8:00:00 AM    | 0.208117        | 0.109253        | 0.162993        |
| 8:00:00 AM  | 9:00:00 AM    | 0.234967        | 0.089015        | 0.156988        |
| 9:00:00 AM  | 10:00:00 AM   | 0.115312        | 0.138294        | 0.140626        |
| 10:00:00 AM | 11:00:00 AM   | 0.093077        | 0.158836        | 0.158621        |
| 11:00:00 AM | 12:00:00 PM   | 0.158943        | 0.187074        | 0.32557         |
| 12:00:00 PM | 1:00:00 PM    | 0.543108        | 0.369291        | 0.294011        |
| 1:00:00 PM  | 2:00:00 PM    | 0.529153        | 0.209134        | 0.149711        |
| 2:00:00 PM  | 3:00:00 PM    | 0.167339        | 0.160662        | 0.196891        |
| 3:00:00 PM  | 4:00:00 PM    | 0.199381        | 0.110874        | 0.191267        |
| 4:00:00 PM  | 5:00:00 PM    | 0.162223        | 0.124725        | 0.229302        |
| 5:00:00 PM  | 6:00:00 PM    | 0.157379        | 0.193808        | 0.309086        |
| 6:00:00 PM  | 7:00:00 PM    | 0.162632        | 0.229391        | 0.308545        |
| 7:00:00 PM  | 8:00:00 PM    | 0.147355        | 0.204688        | 0.314342        |
| 8:00:00 PM  | 9:00:00 PM    | 0.159306        | 0.235458        | 0.371842        |
| 9:00:00 PM  | 10:00:00 PM   | 0.191457        | 0.328145        | 0.340809        |
| 10:00:00 PM | 11:00:00 PM   | 0.339302        | 0.1919          | 0.240984        |
| 11:00:00 PM | 12:00:00 AM   | 0.311069        | 0.162953        | 0.217374        |
|             | Consumo (kWh) | 5.273703        | 4.262687        | 5.417174        |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.11 Consumos eléctricos días 14 del segundo trimestre.

| HORA INICIO | HORA FINAL    | ABRIL (kWh)     | MAYO (kWh)      |          | JUNIO (kWh)     |           |
|-------------|---------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------|
|             |               | Línea Principal | Línea Principal | A/C's    | Línea Principal | A/C's     |
| 12:00:00 AM | 1:00:00 AM    | 0.196417        | 0.197652        | 0.333824 | 0.215434        | 0.655645  |
| 1:00:00 AM  | 2:00:00 AM    | 0.196417        | 0.195638        | 0.230004 | 0.215533        | 0.567456  |
| 2:00:00 AM  | 3:00:00 AM    | 0.196417        | 0.19657         | 0.317726 | 0.206286        | 0.553702  |
| 3:00:00 AM  | 4:00:00 AM    | 0.195382        | 0.188593        | 0.170707 | 0.205856        | 0.549184  |
| 4:00:00 AM  | 5:00:00 AM    | 0.185141        | 0.187495        | 0.284939 | 0.201279        | 0.444194  |
| 5:00:00 AM  | 6:00:00 AM    | 0.203074        | 0.196839        | 0.276713 | 0.190672        | 0.417572  |
| 6:00:00 AM  | 7:00:00 AM    | 0.182971        | 0.196344        | 0.217487 | 0.109464        | 0.355273  |
| 7:00:00 AM  | 8:00:00 AM    | 0.137001        | 0.195431        | 0.220648 | 0.098432        | 0.347781  |
| 8:00:00 AM  | 9:00:00 AM    | 0.160944        | 0.310848        | 0.004533 | 0.098363        | 0.469066  |
| 9:00:00 AM  | 10:00:00 AM   | 0.230648        | 0.435934        | 0.004656 | 0.182149        | 0.076359  |
| 10:00:00 AM | 11:00:00 AM   | 0.292295        | 0.518811        | 0.004485 | 0.326927        | 0.902899  |
| 11:00:00 AM | 12:00:00 PM   | 0.190878        | 0.37417         | 0.004501 | 0.203979        | 0.98479   |
| 12:00:00 PM | 1:00:00 PM    | 0.229143        | 0.172924        | 0.004377 | 0.163335        | 0.999549  |
| 1:00:00 PM  | 2:00:00 PM    | 0.178847        | 0.150608        | 0.004525 | 0.281045        | 1.028244  |
| 2:00:00 PM  | 3:00:00 PM    | 0.165847        | 0.13838         | 0.004482 | 0.341486        | 1.055343  |
| 3:00:00 PM  | 4:00:00 PM    | 0.177594        | 0.387976        | 0.0045   | 0.203141        | 1.437283  |
| 4:00:00 PM  | 5:00:00 PM    | 0.186963        | 0.235532        | 0.004333 | 0.129178        | 1.064201  |
| 5:00:00 PM  | 6:00:00 PM    | 0.211195        | 0.236577        | 0.004385 | 0.116697        | 1.050474  |
| 6:00:00 PM  | 7:00:00 PM    | 0.186231        | 0.168806        | 0.00459  | 0.103294        | 1.020632  |
| 7:00:00 PM  | 8:00:00 PM    | 0.261828        | 0.152976        | 0.004652 | 0.0917          | 0.98176   |
| 8:00:00 PM  | 9:00:00 PM    | 0.280048        | 0.152071        | 0.004545 | 0.108473        | 0.934736  |
| 9:00:00 PM  | 10:00:00 PM   | 0.370289        | 0.131784        | 0.004581 | 0.336766        | 1.195674  |
| 10:00:00 PM | 11:00:00 PM   | 0.36165         | 0.301543        | 0.139171 | 0.348137        | 0.553284  |
| 11:00:00 PM | 12:00:00 AM   | 0.218846        | 0.195214        | 0.03048  | 0.242492        | 0.550212  |
|             | Consumo (kWh) | 5.196066        |                 | 7.90356  |                 | 22.915431 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.12 Consumos eléctricos días 14 del tercer trimestre.**

| HORA INICIO | HORA FINAL    | JULIO (kWh)     |           | AGOSTO (kWh)    |           | SEPTIEMBRE (kWh) |          |
|-------------|---------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|----------|
|             |               | Línea Principal | A/C's     | Línea Principal | A/C's     | Línea Principal  | A/C's    |
| 12:00:00 AM | 1:00:00 AM    | 0.215434        | 0.655645  | 0.250423        | 0.795096  | 0.195276         | 0.907074 |
| 1:00:00 AM  | 2:00:00 AM    | 0.215533        | 0.567456  | 0.223098        | 0.833438  | 0.175518         | 0.808549 |
| 2:00:00 AM  | 3:00:00 AM    | 0.206286        | 0.553702  | 0.231249        | 0.760193  | 0.233896         | 0.765095 |
| 3:00:00 AM  | 4:00:00 AM    | 0.205856        | 0.549184  | 0.229118        | 0.757169  | 0.226169         | 0.721674 |
| 4:00:00 AM  | 5:00:00 AM    | 0.201279        | 0.444194  | 0.220427        | 0.669407  | 0.202904         | 0.699508 |
| 5:00:00 AM  | 6:00:00 AM    | 0.190672        | 0.417572  | 0.232031        | 0.668407  | 0.27483          | 0.871118 |
| 6:00:00 AM  | 7:00:00 AM    | 0.109464        | 0.355273  | 0.188239        | 0.648301  | 0.34969          | 0.684555 |
| 7:00:00 AM  | 8:00:00 AM    | 0.098432        | 0.347781  | 0.211451        | 0.685036  | 0.345899         | 0.973375 |
| 8:00:00 AM  | 9:00:00 AM    | 0.098363        | 0.469066  | 0.174777        | 1.113444  | 0.346423         | 0.976282 |
| 9:00:00 AM  | 10:00:00 AM   | 0.182149        | 0.076359  | 0.165402        | 0.775244  | 0.155218         | 1.038635 |
| 10:00:00 AM | 11:00:00 AM   | 0.326927        | 0.902899  | 0.246231        | 0.698973  | 0.371305         | 1.107385 |
| 11:00:00 AM | 12:00:00 PM   | 0.203979        | 0.98479   | 0.475994        | 0.972291  | 0.621999         | 1.414795 |
| 12:00:00 PM | 1:00:00 PM    | 0.163335        | 0.999549  | 0.530965        | 1.033321  | 0.688668         | 2.084652 |
| 1:00:00 PM  | 2:00:00 PM    | 0.281045        | 1.028244  | 0.736796        | 1.702002  | 0.723146         | 2.113781 |
| 2:00:00 PM  | 3:00:00 PM    | 0.341486        | 1.055343  | 0.434795        | 1.710854  | 0.501477         | 2.043672 |
| 3:00:00 PM  | 4:00:00 PM    | 0.203141        | 1.437283  | 0.39018         | 1.671404  | 0.466855         | 2.575645 |
| 4:00:00 PM  | 5:00:00 PM    | 0.129178        | 1.064201  | 0.209831        | 1.670182  | 0.482431         | 2.40945  |
| 5:00:00 PM  | 6:00:00 PM    | 0.116697        | 1.050474  | 0.269646        | 2.134817  | 0.491158         | 2.427795 |
| 6:00:00 PM  | 7:00:00 PM    | 0.103294        | 1.020632  | 0.273523        | 1.726033  | 0.199528         | 1.576031 |
| 7:00:00 PM  | 8:00:00 PM    | 0.0917          | 0.98176   | 0.286148        | 1.580827  | 0.124716         | 1.078491 |
| 8:00:00 PM  | 9:00:00 PM    | 0.108473        | 0.934736  | 0.495118        | 1.110801  | 0.13647          | 1.057255 |
| 9:00:00 PM  | 10:00:00 PM   | 0.336766        | 1.195674  | 0.261598        | 1.226438  | 0.38404          | 1.165683 |
| 10:00:00 PM | 11:00:00 PM   | 0.348137        | 0.553284  | 0.225708        | 0.586551  | 0.27545          | 0.792764 |
| 11:00:00 PM | 12:00:00 AM   | 0.242492        | 0.550212  | 0.221616        | 0.697035  | 0.219591         | 0.825629 |
|             | Consumo (kWh) |                 | 22.915431 |                 | 33.411628 |                  | 39.31155 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.13 Consumos eléctricos días 14 del cuarto trimestre.**

| HORA INICIO | HORA FINAL    | OCTUBRE (kWh)   |          | NOVIEMBRE (kWh) | DICIEMBRE (kWh) |
|-------------|---------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|
|             |               | Línea Principal | A/C's    | Línea Principal | Línea Principal |
| 12:00:00 AM | 1:00:00 AM    | 0.437173        | 0.212683 | 0.231681        | 0.143352        |
| 1:00:00 AM  | 2:00:00 AM    | 0.469092        | 0.180764 | 0.183445        | 0.209243        |
| 2:00:00 AM  | 3:00:00 AM    | 0.470125        | 0.179731 | 0.183682        | 0.174235        |
| 3:00:00 AM  | 4:00:00 AM    | 0.472931        | 0.176925 | 0.19214         | 0.143456        |
| 4:00:00 AM  | 5:00:00 AM    | 0.473793        | 0.176063 | 0.189311        | 0.143153        |
| 5:00:00 AM  | 6:00:00 AM    | 0.385182        | 0.264674 | 0.21946         | 0.195538        |
| 6:00:00 AM  | 7:00:00 AM    | 0.423407        | 0.226449 | 0.187695        | 0.156741        |
| 7:00:00 AM  | 8:00:00 AM    | 0.45902         | 0.190836 | 0.097899        | 0.108499        |
| 8:00:00 AM  | 9:00:00 AM    | 0.414953        | 0.234903 | 0.12013         | 0.100429        |
| 9:00:00 AM  | 10:00:00 AM   | 0.447935        | 0.201921 | 0.100686        | 0.071033        |
| 10:00:00 AM | 11:00:00 AM   | 0.254544        | 0.395312 | 0.171376        | 0.159705        |
| 11:00:00 AM | 12:00:00 PM   | 0.217962        | 0.431894 | 0.123949        | 0.173748        |
| 12:00:00 PM | 1:00:00 PM    | 0.130205        | 0.519651 | 0.247891        | 0.261889        |
| 1:00:00 PM  | 2:00:00 PM    | 0.202726        | 0.44713  | 0.266547        | 0.094222        |
| 2:00:00 PM  | 3:00:00 PM    | 0.393757        | 0.256099 | 0.120265        | 0.125316        |
| 3:00:00 PM  | 4:00:00 PM    | 0.358297        | 0.291559 | 0.156887        | 0.293504        |
| 4:00:00 PM  | 5:00:00 PM    | 0.208135        | 0.441721 | 0.186529        | 0.182315        |
| 5:00:00 PM  | 6:00:00 PM    | 0.402704        | 0.247152 | 0.34714         | 0.092704        |
| 6:00:00 PM  | 7:00:00 PM    | 0.198716        | 0.45114  | 0.314911        | 0.267198        |
| 7:00:00 PM  | 8:00:00 PM    | 0.196995        | 0.452861 | 0.399266        | 0.146847        |
| 8:00:00 PM  | 9:00:00 PM    | 0.268215        | 0.381641 | 0.373062        | 0.121238        |
| 9:00:00 PM  | 10:00:00 PM   | 0.380711        | 0.269145 | 0.411401        | 0.175804        |
| 10:00:00 PM | 11:00:00 PM   | 0.470245        | 0.179611 | 0.243075        | 0.290978        |
| 11:00:00 PM | 12:00:00 AM   | 0.466896        | 0.18296  | 0.245377        | 0.166219        |
|             | Consumo (kWh) |                 | 9.910276 | 5.313805        | 3.997366        |

Fuente: Elaboración propia.