

## CLIMA Y RADIACIÓN SOLAR EN LAS GRANDES CIUDADES: ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (ESTADO DE JALISCO, MÉXICO)

\*Ulloa, H., \*García M., \*\*Pérez A., \*Meulenert, A. y \*Ávila D.

\* Universidad de Guadalajara, México  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías  
Instituto de Astronomía y Meteorología  
\*\* Universidad de Santiago de Compostela, España

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la caracterización del clima y la radiación solar en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) partiendo de los estudios realizados por investigadores e instituciones de gobierno en distintos años. Los resultados permiten conocer el clima regional y local, así como la trascendencia de la radiación solar en el impulso y desarrollo de nuevas tecnologías ambientales. Se concluye que la climatología de la zona es ideal para la captación y generación de energía.

*Palabras clave:* Caracterización del clima, Zona Metropolitana de Guadalajara y Radiación solar.

### ABSTRACT

The aim of this work is to analyze different studies characterizing the climate of the metropolitan area of Guadalajara (ZMG), conducted by different research groups and governmental institutions, in different years. The results allowed knowing the regional and local climate and the importance of solar radiation on the promotion and development of new environmental technologies. We conclude that the climate of the area is ideal for the capture and power generation.

*Key words:* Characterization of the climate, the Guadalajara metropolitan area and solar radiation.

---

Nota: Una versión reducida fue presentada en el XX Congreso Mexicano de Meteorología (2011).

## 1. Introducción

Con el paso del tiempo, las antiguas civilizaciones iban adquiriendo conocimiento acerca del movimiento del Sol, de los planetas, ciclos lunares e incluso, aprendieron a conocer el clima de la región donde se desarrollaban. Es posible documentarnos cómo en aquella época se aprovechaban de manera eficiente los recursos naturales; de hecho, más que en la actualidad con la disponibilidad de nuevas tecnologías. Un caso común, se observa en las construcciones, las cuales muestran una orientación al Sol con la finalidad de hacerse llegar calor.

El desarrollo industrial del siglo XIX y la dependencia de combustibles fósiles del siglo pasado sumado al actual, ha provocado que la sociedad deje de aprovechar los beneficios que la naturaleza le ha proporcionado. En este sentido, una de las principales preocupaciones de los gobiernos a nivel mundial es la búsqueda de recursos energéticos que permitan a su población un desarrollo integral.

Para describir el clima de una región se deben considerar una serie de parámetros entre los cuales destacan, la temperatura, precipitación, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento. Aunado a ello, Del Toro (2009) señala que la caracterización del clima tiene que ver con la cantidad de radiación solar que se capta en un territorio y que no necesariamente puede ser similar a otro sitio cercano. Las condiciones solares locales pueden variar en forma significativa de un lugar a otro, particularmente en áreas montañosas.

Asimismo, Bachiller (2009) puntualiza que el Sol (figura 1) es quien domina de manera abrumadora la práctica de toda actividad sobre nuestro planeta (clima) y que, naturalmente, debe desempeñar una función esencial en la satisfacción de las necesidades contemporáneas y futuras de la civilización en términos de energía. Por lo tanto, es trascendental estudiar el potencial solar y su aprovechamiento óptimo en regiones donde sea práctica su utilización para la generación de energía.



FIGURA 1. El Sol iluminando al planeta Tierra.

Algunas grandes ciudades del mundo están enfocando sus esfuerzos hacia la producción de las energías renovables, entre las cuales, se encuentra la solar. Para satisfacer la demanda requerida y lograr un desarrollo integral de sus habitantes, ciudades como Los Ángeles, California, constituye el mercado potencial de energías renovables (solar) más importante de Estados Unidos y uno de los más prometedores del mundo. Ésta ciudad se ubica hacia el suroeste y recibe una irradiación promedio bastante significativa ( $1,000 \text{ W/m}^2$  en tierra). Estas condiciones han propiciado que tanto las autoridades como la iniciativa privada continúen creando una perspectiva de certidumbre para su impulso (Labiano, 2008).

Asimismo, en España la energía solar es abundante ya que dispone de condiciones adecuadas y con áreas de alta irradiación (PER, 2005). Su situación con respecto a otros países de Europa es comparativamente favorable. Ejemplo de ello es la ciudad de Madrid, pues recibe una irradiación media diaria entre  $4.6$  y  $5.0 \text{ Kw/m}^2$ ; misma que es aprovechada comúnmente para calentamiento de agua sanitaria (calentadores solares) y para la generación de energía eléctrica (celdas fotovoltaicas).

## 2. Caso de estudio: la zona metropolitana de Guadalajara (Estado de Jalisco). Ubicación geográfica y relieve

Geográficamente, la ZMG se ubica al centro del Estado de Jalisco, en la región centro-occidente del país; sus coordenadas extremas corresponden a latitud norte  $20^{\circ}46'00''$ , latitud sur  $20^{\circ}32'08''$ , longitud oriental  $103^{\circ}12'30''$  y longitud occidental  $103^{\circ}29'00''$  aproximadamente, con una altitud promedio de  $1,540$  metros sobre nivel del mar. Enmarca los Municipios de Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, así como sus Cabeceras Municipales (figura 2).

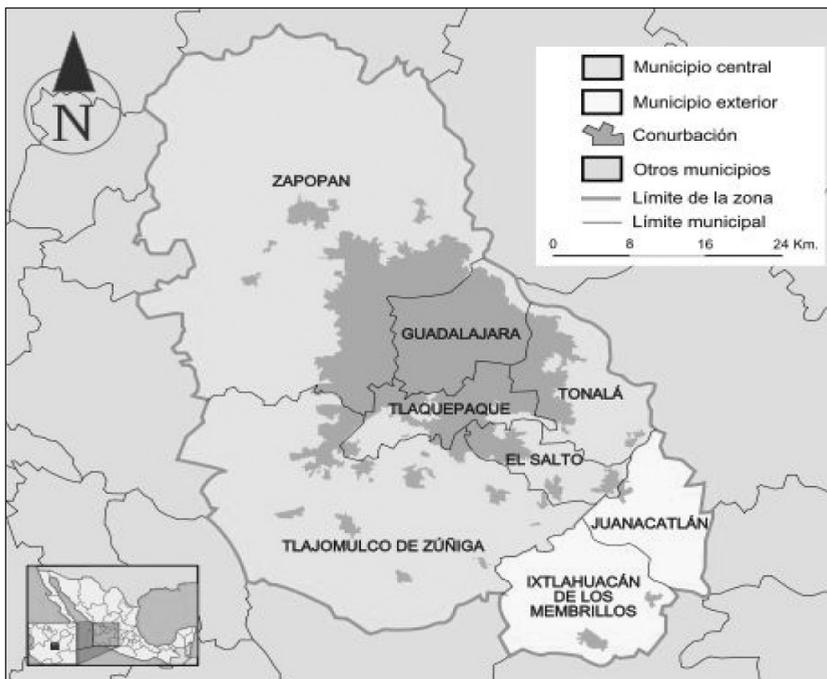


FIGURA 2. Caso de estudio: ZMG.

En referencia a su relieve, se sitúa en la Cuenca del Valle del Río Grande de Santiago, en los Valles de Atemajac y la Planicie de Tonalá; entre las zonas montañosas de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico (figura 3). Las montañas que circulan el área son: al noroeste la Sierra de San Esteban; al sureste, la Serranía de San Nicolás y los conjuntos montañosos Cerro Escondido-San Martín y El Tapatío-La Reina; al sur, El Cerro del Cuatro-Gachupin-Santa María; y al oeste, el bosque La Primavera. Por tanto, su topografía corresponde a un valle semicerrado caracterizado por cadenas montañosas, donde el perfil de su relieve y la cuenca atmosférica propician condiciones meteorológicas estables (Ramírez et al. 2008, SEMARNAP/SS/GEJ, 1997).

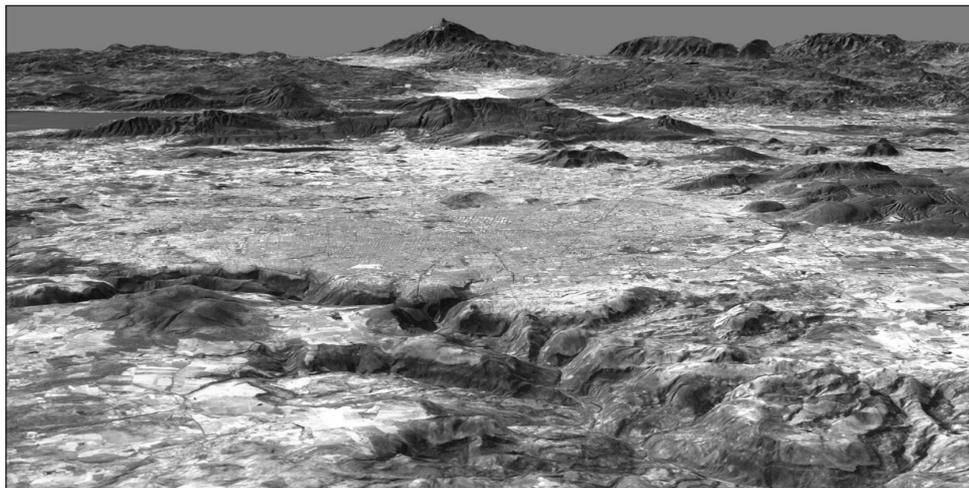


FIGURA 3. Ubicación y relieve de la ZMG. Google imágenes.

### 3. Análisis

En un estudio publicado en el año 2010 por la Asociación de la Industria Solar Fotovoltaica Europea (EPIA, por sus siglas en inglés), se reporta que los países ubicados geográficamente dentro del llamado Cinturón Solar Global (CSG) entre las latitudes de  $\pm 35^\circ$  respecto al ecuador, tienen un potencial solar que aún no ha sido eficazmente utilizado; México (figura 4) está considerado como uno de ellos.

En este sentido, Amelio (2011) señala que los países delimitados en el CSG representan, aproximadamente el 75% de la población mundial y el 40% de la demanda global de electricidad. No obstante, los elevados niveles de radiación solar, la capacidad instalada en éstos representa apenas el 9% a nivel internacional.

El Gobierno Mexicano a través de la Secretaría de Energía (SENER, 2010), ha proyectado desarrollar la electrificación rural en el país mediante dos objetivos principales:

- 1) Integrar en las áreas rurales servicios energéticos integrados eficientes y sostenibles.
- 2) Mejorar la calidad de vida.

De esta manera y con la finalidad de incentivar el uso de las energías renovables, se ha creado el Atlas de Potencial solar y Eólico de la República Mexicana (figura 5); documentos que son de uso público y que servirán como base para estudios a escala regional y local.

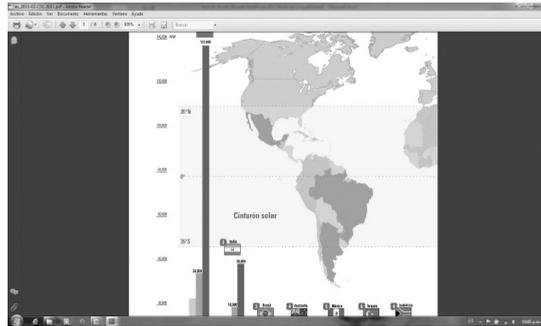


FIGURA 4. Cinturón Solar Global (HERING, 2011).

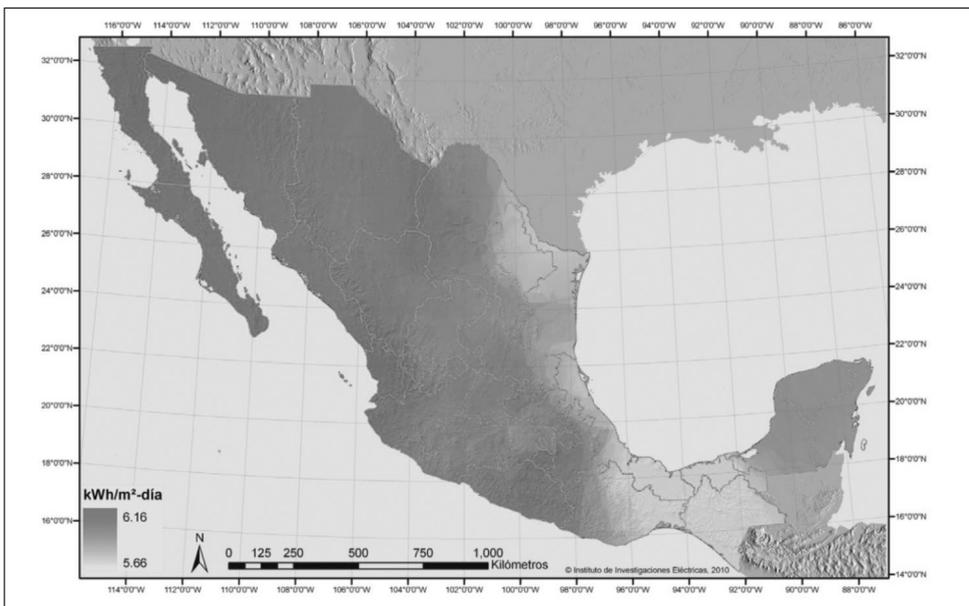


FIGURA 5. Irradiación solar global anual (SENER, 2010).

Rojas (2011) comenta que la República Mexicana por su ubicación en el continente americano, su geografía, latitud y altitud, predominan los climas secos en aproximadamente el 50% del país; el clima tropical ocupa alrededor del 30% del territorio y el clima templado el 20% restante del territorio. En suma, cuenta fundamentalmente con climas secos, tropicales y templados que propician las condiciones idóneas para el desarrollo de la energía solar en el país.

Desde el punto de vista medio ambiental, los planes de desarrollo de energía solar son quizá los más benéficos. Los impactos que generan éstos son específicos para cada tipo de ubicación; sacar provecho del potencial solar en el territorio depende de las condiciones meteorológicas y climatológicas que imperan en la zona, de la intensidad de radiación solar recibida en la superficie, así como de las horas/sol que se registran diariamente. Si la posición geográfica es favorable y los datos climáticos se encuentran en el rango permisible, se puede desarrollar el aprovechamiento de la energía solar.

### 3.1. Estado de Jalisco

Jalisco (figura 6), es la cuarta entidad federativa más poblada de la República Mexicana y uno de los estados más desarrollados en el país en cuanto a actividades económicas, comerciales y culturales. Sus características climáticas muestran gran diversidad (figura 7) que va desde cálido subhúmedo a semiseco templado, destacando el semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Además, presenta grandes contrastes debido a la conformación de relieves y la influencia de masas de agua, tanto marítima como lacustre. Todas estas condiciones influyen en forma particular en el desarrollo integral de la entidad.

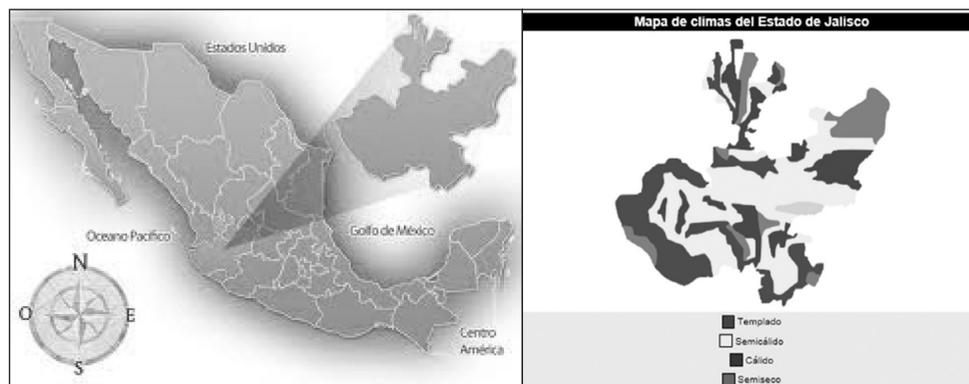


FIGURA 6. El Estado de Jalisco y su clima (INEGI 2012).

Igualmente, la región proporciona las condiciones favorables para el aprovechamiento de una gran variedad de recursos, mismos que le dan la oportunidad de desarrollar energías renovables; particularmente la utilización del potencial solar. Asimismo, su clima favorece diferentes tipos de vegetación, una amplia variedad de cultivos y áreas propicias para asentamientos humanos e industriales.

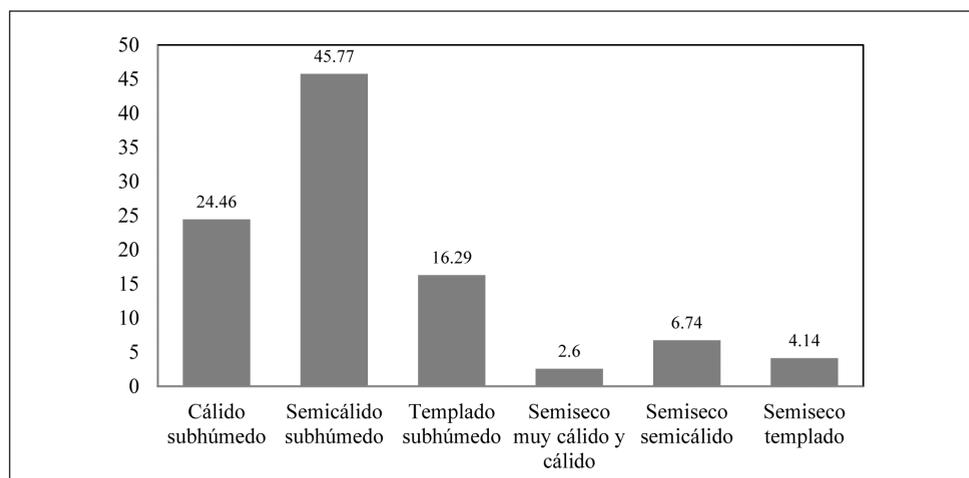


FIGURA 7. Porcentaje de la distribución del clima en el Estado de Jalisco (INEGI 2012).

### 3.2. Ciudad de Guadalajara

La ciudad de Guadalajara es la más poblada del Estado de Jalisco; su extensión territorial es de 187.91 km<sup>2</sup> (Municipio) y de más de 850 km<sup>2</sup> en relación a la zona metropolitana. Su suelo es de origen volcánico y de uso urbano en su mayoría.

Las condiciones climáticas de la ciudad se caracterizan por ser templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media. La primavera es la estación más seca y cálida, con vientos en febrero y marzo; las lluvias son entre mayo y octubre, presentándose tormentas con intensa actividad eléctrica y fuertes vientos. En verano y en primavera los días muy cálidos con máximas por arriba de los 33 °C son numerosos, registrando días cálidos incluso en Enero y Febrero. Hacia otoño e invierno las lluvias se reducen y dan paso a los días soleados y vientos fríos del norte. En invierno es común que ocurran ocasionales heladas, con temperaturas de hasta -6 °C durante las noches más frías, por lo general durante los meses de enero y febrero. El Clima del norte es menos cálido, más frío y con menos lluvia (<http://www.ogimet.com>, 2012).

Entre algunos de los trabajos de investigación relacionados con las condiciones climáticas que caracterizan a Guadalajara y su zona conurbada, se encuentran los de García (1983), quien reporta que ésta ciudad se localiza en una zona climática templada, subhúmeda con lluvias en verano. Además, comenta que el período de lluvias con precipitaciones entre 700 a 900 mm comprende los meses de mayo a octubre; mientras que, de noviembre al mes de abril es la denominada temporada seca o de poca lluvia, presentando precipitaciones menores a los 70 mm.

Así mismo, la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaria de Salud en coordinación con el Gobierno del Estado de Jalisco (SEMARNAT/SS/GEJ, 1997), exponen un estudio sobre algunas variables climáticas que caracterizan la región (tabla 1).

Tabla 1  
VARIABLES CLIMÁTICAS PROMEDIO DE 30 AÑOS EN LA ZMG  
(SEMARNAT/SS/GEJ, 1997).

Parámetro	Registro
Temperatura media mensual	22.8 °C
Temperatura máxima promedio mensual	33.3 °C (mayo)
Temperatura máxima extrema	36.1 °C (mayo 1983)
Temperatura mínima promedio mensual	4.8 °C (diciembre)
Temperatura mínima extrema	-5.5 °C (enero 1955)
Precipitación media mensual	> a 100 mm
Precipitación máxima mensual	269.4 mm (julio)
Días despejados, promedio mensual	19.1 (marzo)
Días despejados, mínimo mensual	1 (julio)
Días nublados, promedio mensual	17.8 (julio-septiembre)
Insolación mensual	> en marzo y junio
Días con lluvia, promedio anual	99.9 mm (julio es el más lluvioso y marzo el más seco)
Días con granizo, promedio anual	2.7 (agosto el mayor y febrero el menor)
Días con tempestad eléctrica, promedio anual	13.3 (julio el mayor y el menor marzo)
Días con niebla, promedio anual	14.3 (octubre el mayor y el menor marzo)
Días con nevadas, promedio anual	0.03

Davydova et al. (1999), mediante la información obtenida de la estación climatológica del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, llevaron a cabo el análisis de unas variables significativas de la ciudad. Utilizando las series largas de los períodos 1890-1996 y 1881-1996, estudiaron el comportamiento de las temperaturas (máximas y mínimas) y la precipitación respectivamente. Así mismo, mediante la base de datos comprendida en el período 1990-1996 determinaron la humedad relativa, dirección y rapidez del viento de la estación mencionada (tabla 2). Los resultados concluyen que Guadalajara cuenta con un clima semicálido (climas de transición entre los climas cálidos y templados) con temperatura media anual arriba de los 18 ° C. Por tanto, es posible mencionar que la ciudad mantiene un clima muy estable durante la mayor parte del año, siendo notable los cambios de temporada seca (o de poca lluvia) a la de lluvias.

Tabla 2  
**VARIABLES CLIMÁTICAS DE LA CIUDAD DE GUADALAJARA**  
 (SEGÚN DAVYDOVA ET AL., 1999)

Parámetro	Media	Desviación estándar
Temperatura max. °C	26.5	7.8
Temperatura min, °C	11.9	4.3
Temperatura, °C	19.2	5.4
Humedad relativa, %	62.4	14.8
Precipitación, mm Hg	892.2	153.5
Presión atmosférica, mb	845.5	6.7
Dirección del viento, grad.	225.0	-
Velocidad del viento	3.4	2.1

Finalmente, González et al., (2010) obtiene resultados similares a los anteriores; es decir, un clima semicálido con temperatura media anual mayor a los 18 °C. Sumado a ello, esta investigación hace mención a la radiación solar incidente en superficie (expresada en calorías por cm<sup>2</sup> por día) y la duración del día en un lugar determinado, haciendo hincapié en el potencial solar con que cuenta la Zona Metropolitana de Guadalajara para el aprovechamiento de esta fuente de inagotable de energía (figura 8).

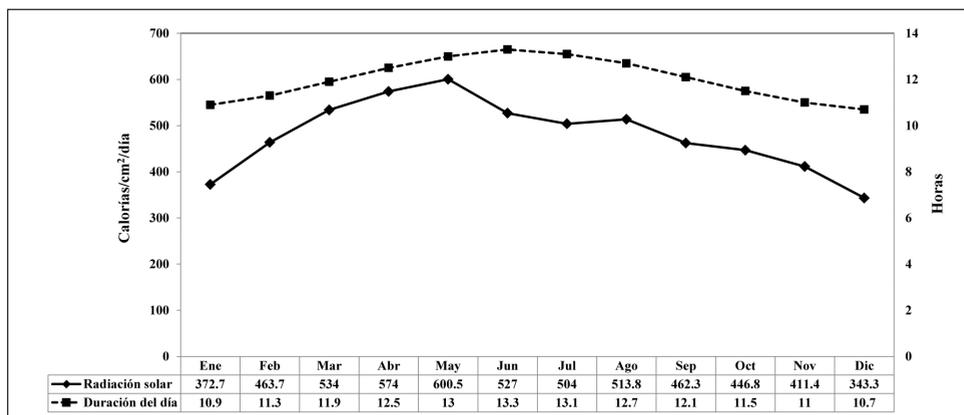


FIGURA 8. Radiación solar y duración del día en promedio para la ZMG. (GONZÁLEZ et al, 2010)

#### **4. Metodología**

La metodología utilizada se fundamenta en un análisis cualitativo de estudios sobre las características climáticas de la Zona Metropolitana de Guadalajara, considerando el sistema de clasificación de Köppen realizado por diferentes grupos de investigadores e instituciones de gobierno en diversos años. Además, se indagaron trabajos donde se proporcionara información relacionada a la radiación solar para evidenciar su trascendencia e impacto en el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en el potencial solar.

#### **5. Resultados**

Los estudios realizados sobre la caracterización del clima de la ciudad de Guadalajara y su Zona Metropolitana coinciden en la influencia de climas cálidos durante la mayor parte del año, con temperaturas mayores a los 18 °C y con una acumulación de lluvias promedio entre 700 y 900 mm por año, favoreciendo la captación de energía emitida por el sol y agua pluvial.

En cuanto a la información relacionada a la radiación solar en la zona, los escasos estudios científicos existentes arrojan resultados prometedores con respecto al aprovechamiento del potencial solar local.

En la ZMG se reciben más de 270 días al año con un promedio mínimo de 9 horas de sol; por lo tanto, la zona es ideal para la utilización de la energía solar en el calentamiento de agua y producción de energía eléctrica, solo por mencionar algunos.

Los resultados del estudio realizado por González (2010) coinciden con los obtenidos por la SENER (2010) en cuanto al promedio de Kwh/m<sup>2</sup>-día (5.57) de radiación solar que recibe la ZMG.

#### **6. Discusión**

Gerhard Knies (2010), presidente del consejo de vigilancia de la Fundación DESERTEC ([www.desertec.org](http://www.desertec.org), 2010), expone que el Sol ofrece un punto de partida trascendente debido a que solo en seis horas, los desiertos reciben más de energía en relación a lo que la humanidad consume en un año. Ante este señalamiento, cabe la pregunta ¿porque el aprovechamiento de este recurso no se ha desarrollado y consolidado como debiera? La sociedad actual esta ante la oportunidad de revertir los daños al medio ambiente.

A pesar de la importancia que tiene la medición de la radiación solar para su utilización, en muchos lugares del planeta su medición es escasa; esto se debe a diversos factores entre los que se encuentran los costos elevados del instrumental de precisión requerido y su mantenimiento.

Grandes corporaciones internacionales dedicadas al aprovechamiento de la energía solar han puesto su mirada en México, haciendo estudios sobre niveles de asoleamiento en superficie, obteniendo información positiva para la explotación de este recurso. Además entra en los planes del Gobierno Federal para el desarrollo de redes que permitan implementar energías renovables, particularmente la solar y eólica (ANES, 2011). Así mismo, es relevante apuntar que de la región de América Latina, México comparado con Brasil, Chile y Argentina, es la que tiene el potencial más alto para convertir la energía del Sol en electricidad.

En relación al Estado de Jalisco, su red de estaciones meteorológicas es aun limitada; la gran variabilidad topográfica y climática obliga a implementar más redes de monitoreo distribuidas en el territorio con el objetivo de obtener una evaluación detallada del clima y su potencial solar.

En los últimos 30 años, la ZMG ha experimentado un crecimiento urbano, vehicular e industrial sin planeación y control; sumado a ello, no se ha considerado el recurso solar como una fuente útil que proporcione mayor confort a sus habitantes.

Es conocido que aún existen barreras de tipo social, político, económico y medio ambiental, que impiden el impulso y desarrollo del potencial solar; una de ellas, es el costo elevado de la obtención de electricidad mediante la energía del sol en comparación con la quema de combustibles fósiles, común en nuestra sociedad.

## 7. Conclusiones

La República Mexicana está situada dentro del Cinturón Solar Global y la ZMG es de las que mayor cantidad de radiación solar recibe.

Los estudios revisados, concluyen que la ZMG, se caracteriza por estaciones muy cálidas, con un generoso recurso solar (270 días con 9 horas sol), que puede ser utilizado para diseñar e innovar tecnología basada en el potencial solar.

La adecuada utilización de la energía solar local, puede ser un avance notable en la búsqueda de la generación y uso eficiente de la energía limpia, tan necesaria en estos tiempos.

En una zona determinada (ZMG), los registros meteorológicos durante un período de varios años proporcionan la información suficiente para determinar si es viable (o no) la implementación de nuevas tecnologías basadas en la energía solar.

Es inaplazable otorgar incentivos a los diferentes actores sociales que les permita participar con mayor certidumbre en el desarrollo y aprovechamiento de las energías ambientalmente sustentables (un caso, la energía solar).

Finalmente, la estación meteorológica del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara ubicada en la zona centro de la ciudad, ha generando datos que pueden comprobar que en la ZMG se puede desarrollar la energía solar (IAM, 2010). Aunque el relieve tiene influencia particularmente por las áreas montañosas que circulan la zona, las condiciones son adecuadas para la captación de energía, haciendo factible su desarrollo.

## 8. Agradecimientos

Agradecemos al Dr. Lino Naranjo Díaz, quien trabaja para MeteoGalicia, Consellería del Medio Ambiente en Santiago de Compostela, España, por su valioso apoyo en la realización de este documento.

## 9. Bibliografía

- Amelio, M. R. (2011). Energía fotovoltaica: Presente y futuro. *Revista de Energías Renovables*. ANES, AC. Número 9 Año 3 Enero-Marzo 2011. Págs. 28.
- ANES (2011). Asociación Nacional de Energía Solar. Boletín informativo junio. <http://www.anes.org>.
- Bachiller R. (2009). «El sol: nuestra estrella, nuestra energía». Observatorio Astronómico Nacional. Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento. Pp. 381-382.
- Davydova V, Skiba Y, Bulgakov S y Martínez A. (1999). Modelación Matemática de los Niveles de Contaminación en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte I. Microclima y Monitoreo de la Contaminación. *Rev. Internacional de Contaminación Ambiental*. Pp. 103-111.

- Del Toro, M. (2009). Edificación Sustentable en Jalisco. Secretaria de Medio ambiente y Desarrollo Sustentable. Prometeo editores. Guadalajara, Jalisco. México. Págs. 302.
- García de M. E. (1983). *Apuntes de Climatología*, México, D.F., UNAM.
- Garrett Hering (2011). Descifrando el cinturón solar. La industria fotovoltaica esta explorando latitudes mas soleadas. *Rev. Photon (Economía)*. Pp 28-34.
- González A, Loza L y Gómez J (2010). Características climáticas generales en la zona metropolitana de Guadalajara. Págs. 16. <http://sincronia.cucsh.udg.mx/gonzalezsalazar>.
- <http://www.desertec.org>.
- <http://www.sener.gob.mx>.
- <http://www.ogimet.com/cg> (2012). Estación meteorológica Guadalajara 76612.
- IAM (2010). Instituto de Astronomía y Meteorología. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Universidad de Guadalajara. Base de datos meteorológicos.
- INEGI (2012). Carta de climas, 1:1.000.000. <http://inegi.org.mx>.
- Labiano, (2008). Oficina económica y comercial de la embajada de España en Los Ángeles. El mercado solar en California. Instituto español de comercio exterior.
- PER, (2005). Ministerio de industria, turismo y comercio. Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Plan de energía renovable en España 2005-2010.
- Ramírez H., Andrade M., De la Torre O., García M., Meulenert A., García O., Alcalá J. (2008). Evaluación de eventos climáticos extremos y su impacto en la salud en América Latina. Universidad de Guadalajara. ISBN: 978-970-27-1324-1. Págs. 180. México.
- Rojas, J. C. (2011). Atlas Agroclimático de la República Mexicana. Departamento de Geografía, UNAM. Ultima consulta 10 de julio.
- SEMARNAP/SS/GEJ (1997). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales / Secretaría de Salud / Gobierno del Estado de Jalisco. Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en la zona metropolitana de Guadalajara. 1997-2001. Págs. 240.