

05-024

ANALYSIS OF SOLAR RESOURCE FOR A SUSTAINABLE FUNCTIONALITY IN THE REGIONAL EDUCATIONAL CAMPS OF THE AUTONOMOUS PUBLIC UNIVERSITY OF GUERRERO

Campos Guzmán, Verónica; Espinoza, Nieves; Garcia-Cáscales, Socorro

Universidad Politécnica de Cartagena

In Mexico, the Public Autonomous University of the State of Guerrero, presents a serious problem of access to higher education with respect to its offer, rejects approximately 40% of the students who aspire to enter. In this sense, it was proposed to regionalize educational services to give options to students in marginalized areas.

Currently, university campuses are being developed in each of the seven regions in which the State of Guerrero is divided. The construction of practice laboratories is contemplated in each campus, however, due to the scarcity of resources, including extreme poverty, there are problems of access to the internet, electricity and water supply, which limits the proper functioning of the facilities .

The objective of this work, is to propose in a first stage, the analysis of the solar resource in each campus to determine the viability of the installation of photovoltaic systems, in order to satisfy the energy demand required for the sustainable integral operation of the basic facilities needed on university campuses

Keywords: *Photovoltaic systems; Sustainable energy; Energy efficiency, university campuses.*

ANÁLISIS DE RECURSO SOLAR PARA UNA FUNCIONALIDAD SOSTENIBLE EN LOS CAMPUS EDUCATIVOS REGIONALES DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA AUTONOMA DE GUERRERO

En México, la Universidad pública Autónoma del Estado de Guerrero, presenta un grave problema de acceso a la educación superior con respecto a su oferta, rechaza aproximadamente el 40% de los estudiantes que aspiran a ingresar. En este sentido, se planteó regionalizar los servicios educativos para dar opciones a estudiantes en zonas marginadas.

Actualmente, se están desarrollando campus universitarios en cada una de las siete regiones en las que se divide el Estado de Guerrero. En cada campus se tiene contemplado la construcción de laboratorios de prácticas, sin embargo, debido a la escases de recursos, incluso de pobreza extrema, surgen problemas de acceso a internet, electricidad y suministro de agua, lo cual limita el funcionamiento adecuado de las instalaciones.

El objetivo de este trabajo, es proponer en una primera etapa, el análisis del recurso solar en cada campus para determinar la viabilidad de la instalación de sistemas fotovoltaicos, con el fin de satisfacer la demanda energética requerida para el funcionamiento integral sostenible de las instalaciones básicas necesarias en los campus universitarios.

Palabras clave: *Sistemas fotovoltaicos; Energía sostenible; Eficiencia energética, campus universitarios.*

Correspondencia: Verónica Campos Guzmán; vcamposguzman@hotmail.com



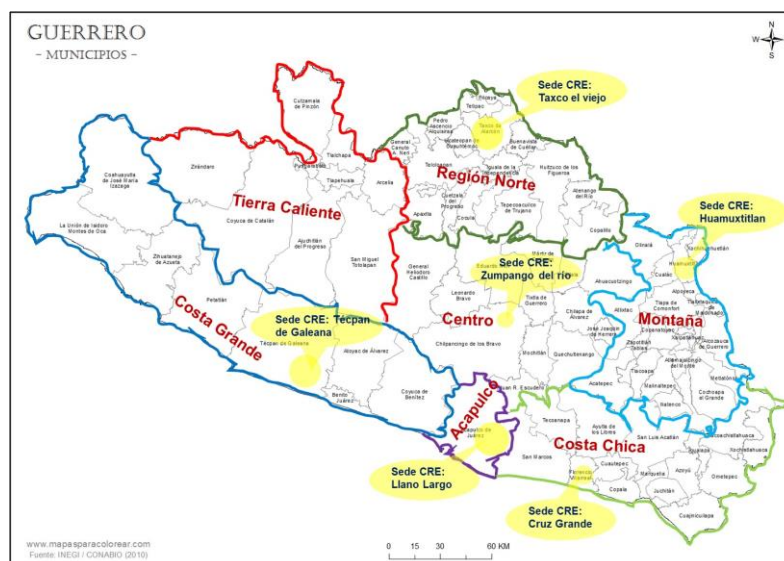
©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción y Objetivos

La Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), es la máxima institución de estudios en el estado de Guerrero, México con 65,569 alumnos, (31.7 % del total estatal), ofertando más de 76 programas educativos (Universidad Autónoma de Guerrero, 2013). En el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, la UAGro asumió el compromiso de ofertar una educación superior con mayor cobertura, equidad, calidad y pertinencia, para ampliar las oportunidades educativas de nivel superior. Para este fin, la UAGro desarrolla el proyecto de regionalizar sus servicios educativos desde el año 2013, ofertando programas educativos para educación superior en las zonas rurales en las siete regiones que componen el estado de Guerrero. A la fecha, este proyecto está presente en seis de las siete regiones y se han construido Campus Regionales Educativos (CRE) que han cubierto un alto porcentaje de la demanda estudiantil (ver Figura 1). Sin embargo, el desarrollo de este proyecto se ha visto frenado por una problemática que aqueja las zonas rurales (Q. Hernández-Escobedo, et. al, 2017; Ruiz, Rodríguez-Padilla, et. al, 2008) y que no permite el funcionamiento adecuado de los centros educativos, y es el acceso a la electricidad.

La energía eléctrica es un factor indispensable en el desarrollo económico, social y educativo de cualquier región (Baños et al., 2011), y la Comisión Federal de Electricidad en México (CFE), compañía encargada del suministro eléctrico en todo el país, no logra extender su red de distribución hasta algunas zonas rurales del estado.

Figura 1. Distribución geográfica del proyecto de Regionalización en las regiones de Guerrero



Debido a que el objetivo principal del proyecto de Regionalización, es extender sus servicios educativos hasta las zonas menos atendidas, lógicamente las sedes de los CRE se encuentran en su mayoría en zonas rurales, lo que trae como consecuencia que en algunos CRE la red de distribución de la CFE no ha sido extendida hasta ahí. Las regiones de la Montaña, Tierra Caliente y Zona Norte son las que tienen el mayor índice de marginación (Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2015) y a la fecha no cuentan con el servicio eléctrico por la CFE. Por otro lado, si bien Guerrero se encuentra en los primeros lugares de pobreza extrema y marginación, también se encuentra en una de las zonas costeras del país, caracterizada por su riqueza en recursos naturales (renovables y no renovables). Se han realizado estudios que prueban que las zonas costeras en México tienen características

ventajosas para la instalación de plantas de energía fotovoltaica y concentración solar. (Q. Hernández-Escobedo et al., 2017) y (Villicaña-Ortiz, et al., 2015a) han dedicado varios estudios para el análisis de recurso solar en la zona costera del Golfo de México, concluyendo que son lugares adecuados para la explotación del recurso solar.

A la fecha, no se ha llevado a cabo ningún estudio sobre el potencial del recurso solar en Guerrero como se ha hecho para otros estados, el caso de Yucatan (Q. Hernández-Escobedo, et al., 2017b) y el caso de Tamaulipas (Rivas, Saleme-Vila, et al., 2013). Es por lo tanto que en esta investigación se plantean los siguientes objetivos:

- 1) Analizar el potencial del recurso solar de la distribución geográfica de los CRE en Guerrero, de acuerdo a la distribución geográfica representada en la Figura 1, para proponer la instalación de plantas solares fotovoltaicas y
- 2) Orientar el proyecto de Regionalización hacia una funcionalidad sostenible.

Para los objetivos planteados se ha llevado a cabo un análisis utilizando los registros de radiación de dos bases de datos (BD): PVGIS V5 y NASA V 6. Ambas proporcionan los datos para ayuda a la toma de decisión en cuanto a instalación de plantas solares fotovoltaicas. Se han utilizado los registros de irradiación y perfil horario para cada CRE durante los últimos 11 años procedentes de la base de datos de PVGIS y durante 22 años (1983-2005) procedentes de la base de datos de la NASA, para finalmente identificar la media de radiación anual para cada CRE.

Este trabajo se estructura de la forma siguiente: el epígrafe 2 muestra en cifras la situación actual de México y Guerrero en relación al uso de energía: renovable y convencional, además describe el proyecto de regionalización en sus carencias y necesidades energéticas. PVGIS V5 y NASA V6 son descritas en el epígrafe 3 como las herramientas utilizadas para el cálculo de recurso solar en los CRE. En el epígrafe 4 se muestran los resultados de ambas herramientas y finalmente el epígrafe 5 muestra las conclusiones y trabajos futuros de este análisis de recurso solar.

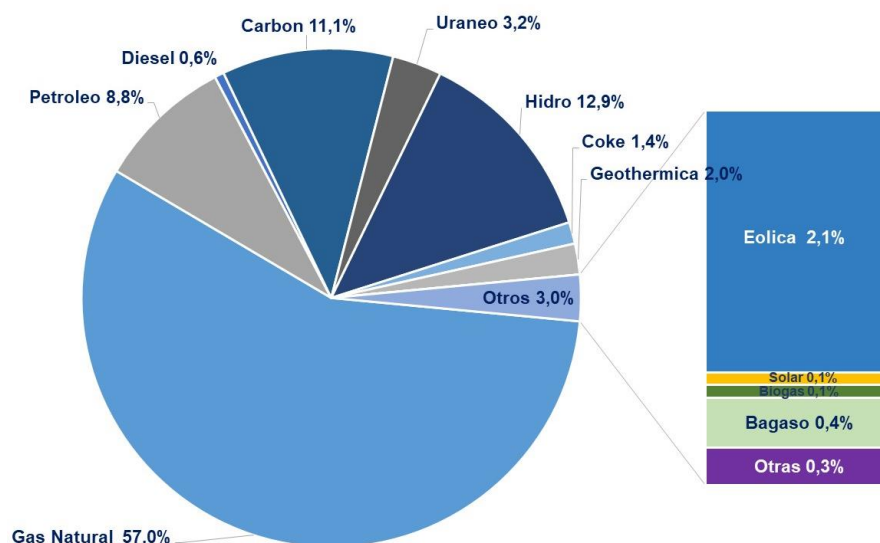
2. Marco de referencia

2.1 México y Guerrero en cifras.

a) Mix energético en México

Según la Secretaría de Energía (SENER) encargada de coordinar la política energética del país, el mix energético mexicano está dominado por los combustibles fósiles, pero particularmente por el petróleo y el gas natural (Ver Figura 2) (International Energy Agency, 2016). Solo el 3% de la energía que se consume en México es procedente de fuentes renovables. La energía eólica es la que más participación tiene, el viento es el recurso con mayor explotación en territorio mexicano, siendo la mayoría de los proyectos instalados los que se encuentran en el estado de Oaxaca y en su totalidad de empresas extranjeras (Quetzalcoatl Hernández-Escobedo, Perea-Moreno, & Manzano-Agugliaro, 2018).

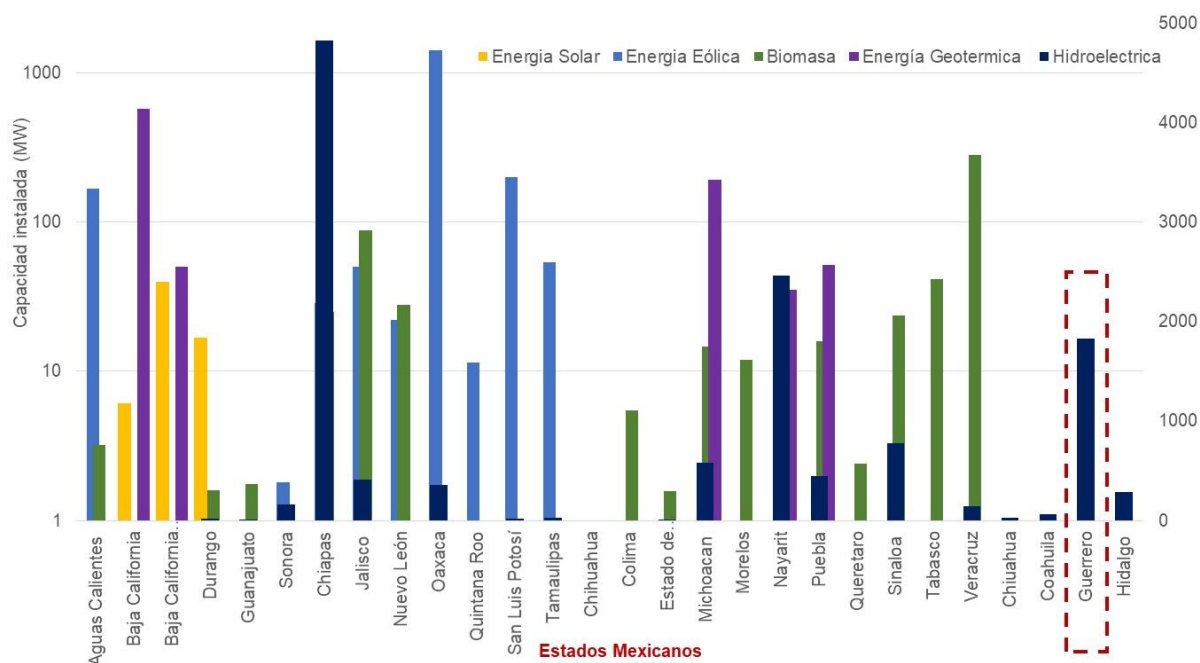
Figura 2. Mix energético mexicano (fuente SENER)



b) Capacidad instalada procedente de las energías renovables (ER)

Un estudio reciente realizado por (Pérez-Dencia, et. al, 2017) contabilizó la capacidad instalada procedente de las energías renovables (ER) en todo el territorio mexicano (Figura 3). 28 de los 32 estados mexicanos, explotan algún recurso renovable. El estado de Guerrero, sin embargo, aunque está dentro del grupo de los 28, solo tiene capacidad instalada procedente de las hidroeléctricas. Para este estado, no se reporta capacidad instalada procedente de la energía solar en ninguna de sus variantes (fotovoltaica o concentración solar) (Pérez-Dencia, et. al, 2017).

Figura 3. Capacidad instalada procedente de las energías renovables en México. Elaboración propia (fuente basado en los datos reportados por (Pérez-Dencia et al., 2017))

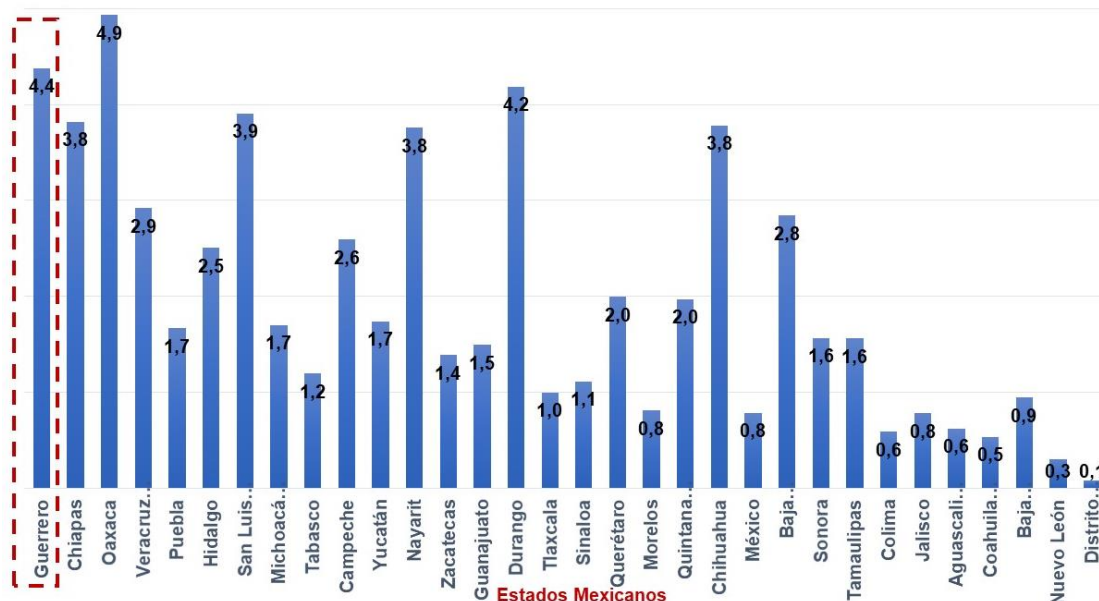


c) Personas sin acceso a la electricidad

De acuerdo al Consejo Nacional de Población de México (CONAPO) y la SENER más del 95 % de la población mexicana tiene acceso a la electricidad (Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2015) (Ver Figura 4). Sin embargo, la población representada por el 5% quienes no tiene acceso a la electricidad, se concentran en zonas rurales.

De los 32 estados mexicanos, Guerrero tiene el primer lugar en zonas rurales marginadas, el primer lugar en rezago educativo y por ende en pobreza extrema (Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2015)

Figura 4. Porcentaje de ocupantes sin energía eléctrica (fuente CONAPO)



2.2 Proyecto de regionalización para cobertura educativa en zonas rurales del estado de Guerrero.

a) Objetivo

El objetivo de la regionalización de la educación universitaria en el nivel superior es para atender las regiones menos favorecidas, creando nuevos **centros regionales o campus universitarios de naturaleza multi e interdisciplinar**, en los cuales, además de abrir mayores oportunidades de acceso, ofrecer programas educativos innovadores y adecuados, vinculados directamente a los problemas de la región desde una perspectiva holística, en la que se aborden problemas complejos de la realidad.

b) Estado actual y distribución geográfica

La Tabla 1 muestra un resumen del estado actual de cada CRE, como se ha mencionado, Guerrero está dividido en 7 regiones (Ver Figura 1), cada región está delimitada por un conjunto de municipios, de los cuales algunos son considerados zonas rurales y otros no, si observamos el campo “Sede” de la Tabla 1 este hace referencia al municipio sede del CRE en esa zona.

Tabla 1. Estructura y oferta educativa de los CRE

Campus regional de educación superior de...	Carreras ofertadas	Matricula (No Estudiantes)	Construcción actual (m²)	Sede (Municipio)	Consumo energético real año 2017 (kW/h) fuente:CFE
La Costa Chica	Ing. En Energías Limpias, Lic. En Ciencia y Tec. De los alimentos	250	2 edificios (560 m ² cada uno)	Cruz Grande	2046.6667
La Montaña	Ing. En Producción sustentable, Lic. En Nutrición y ciencia de los alimentos.	190	2 edificios (560 m ² cada uno)	Huamuxtitlan	Sin registros (no tiene contrato con la CFE)
Zona Norte	Lic. En Nutrición, Lic. En Enfermería, Lic. En Ciencia y Tec. De los alimentos.	450	2 edificios (560 m ² cada uno)	Taxco el viejo	Sin registros (no tiene contrato con la CFE)
Zona Centro	Ing. Industrial. Ing. En Prevención y desastres naturales, Ing. En minas, ing. En edificación	350	2 edificios (560 m ² cada uno)	Zumpango del río	Sin registros (no tiene contrato con la CFE)
Acapulco	Lic. En Ciencias ambientales, Lic. En Nutrición, Lic. En Ciencias de la Tierra	400	3 edificios (560 m ² cada uno)	Llano Largo	1000.0142
La Costa Grande	Lic. En ciencias del desarrollo sustentable	181	2 edificios (560 m ² cada uno)	Tecpan de Galeana	15373.333

c) Suministro eléctrico una limitante en los CRE para una funcionalidad óptima.

La Tabla 1 muestra registros de consumos proporcionados por la CFE solo para tres CRE. Los CRE de Huamuxtitlan en la región de la Montaña, Taxco el viejo de la región Zona Norte y Zumpango del rio de la región Zona Centro han podido improvisar con otras fuentes de suministro, sin embargo el caso más crítico es el CRE que se encuentra en la región de la Montaña al encontrarse en una región critica en todos los indicadores (Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2015). Esto hace de interés considerar el suministro eléctrico para este CRE y el resto a través de las ER y en concreto de energía solar fotovoltaica, ya que es una de las más utilizadas en suministro eléctrico en zonas aisladas(Sandwell et al., 2016). Para este fin en las siguientes secciones se lleva a cabo un estudio del potencial de recurso solar en toda la distribución geográfica de los CRE.

3. Materiales y métodos

Para analizar el potencial de recurso solar en la distribución geográfica del proyecto de regionalización, nosotros utilizamos dos BD: BD-PVGIS en su versión 5 y BD-NASA, ambas proporcionan los mismo datos de irradiación, sin embargo en un periodo temporal distinto, la BD de la NASA proporciona medidas de irradiación de 22 años, de 1983 hasta el 2005, por otro lado la BD de PVGIS proporciona datos de 11 años desde 2005 hasta 2015, así los

cálculos que se presentan aquí no son referente a las suma de los periodos, más bien para un mismo emplazamiento se usan dos BD , con el fin de verificar si existe alguna variación entre los periodos.

3.1 Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) V5

La versión 5 (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html) de PVGIS está disponible desde septiembre del 2017, dispone registro de irradiación para Europa, África, Parte de Asia, Norte américa y Sur américa (Amillo, 2017), a través del conjunto de registros ECMWF ERA-5, producido por el centro Europeo de prevención meteorológica de mediano plazo, este conjunto de datos tiene cobertura mundial en una resolución de tiempo de 3 horas y una resolución espacial de 0.75 ° lat / lon. (Bollmeyer C. et al., 2015).

Con esta versión hay datos de irradiación para México y es posible estimar la generación eléctrica a través de tecnologías fotovoltaicas.

3.2 Sistema meteorológico de la NASA versión 6.0

El sistema actual de superficie meteorológica y energía solar de la NASA (<https://eosweb.larc.nasa.gov>) permite calcular directamente la radiación de una zona, proporcionando solo la latitud y altitud del lugar.

3.3 Perfil geográfico de cada área (Sede de los CRE)

Dada la distribución geográfica de los CRE (Figura 1), se genera un perfil geográfico para cada CRE (Tabla 2), por consecuencia, estos fueron los datos de entradas, para obtener los resultados que se especifican en la Tabla 3.

Tabla 2. Perfil geográfico de las sedes de los CRE, datos de entrada

Sede CRE	Latitud	Longitud	Angulo inclinación optimo(°)	Angulo de orientación azimuth (°)	Elevación (mts)
Cruz Grande	16.725	-99.128	20	-5	55
Huamuxtitlan	18.3664	-100.307	21	1	354
Taxco el viejo	18.557	-99.605	21	-7	1763
Zumpango del río	17.654	-99.526	22	-6	1047
Llano Largo	16.835	-99.809	20	-4	15
Técpan de Galeana	17.567	-101.346	21	-5	28

Tabla 3. Datos obtenidos del BD's de PVGIS y NASA

BD-Irradiación	Periodo tiempo medido	Datos obtenidos	Datos calculados, a partir de los obtenidos	Resultados
PVGID V5	2005-2015	-Irradiación media mensual (kWh/m ²): Hh_m^a	-Irradiación media mensual diaria (kWh/m ² /día): $Hh_m^a \text{ día} = Hh_m^a / \text{No. días (m)}$	➤ Irradiación media en cualquier día del mes , desde enero hasta diciembre, en el periodo del 2005 hasta el 2015.
		+Irradiación media mensual sobre el ángulo optimo(kWh/m ²): Hop_m^a	+ Irradiación media mensual diaria sobre el ángulo optimo (kWh/m ² /día): $Hop_m^a \text{ día} = Hop_m^a / \text{No. días (m)}$.	➤ Perfil diario de radiación solar : Los resultados de este cálculo consisten en valores por hora de la irradiación solar promedio para el mes elegido, expresados en W / m ² .

➤ **Horas solares pico (w/m^2)**

a = año desde 2005
hasta 2015 y
 m =
meses del año seleccio

➤ **Irradiación media mensual diaria, durante todo el periodo de tiempo (11 años) sobre el ángulo óptimo ($kWh/m^2/día$):**

$$Hop_m^p = \frac{\sum_{m=1}^{12} \sum_{a=2005}^{2015} Hop_m^a día}{11}$$

➤ **Irradiación media en cualquier día del mes, desde enero hasta diciembre, en el periodo del 1983 hasta el 2005.**

NASA 1983-2005
Irradiación media mensual diaria, durante todo el periodo de tiempo (22 años) sobre el ángulo óptimo ($kWh/m^2/día$):

4. Resultados

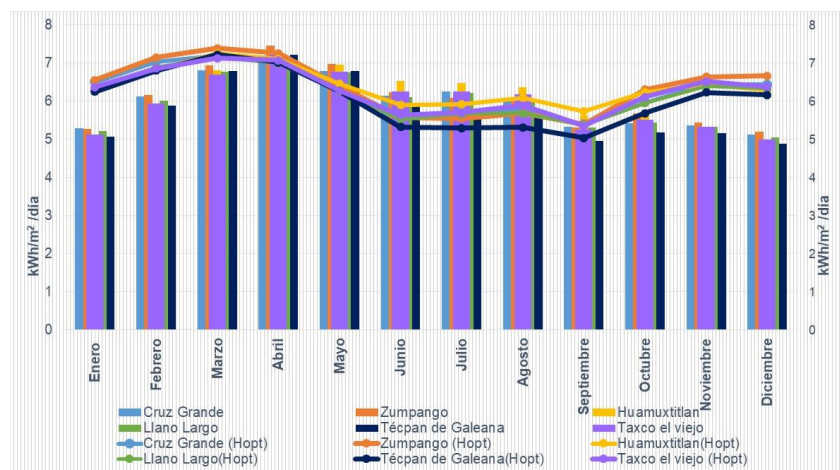
4.1 PVGIS-NSRDB

Basados sobre la Irradiación media mensual diaria, durante todo el periodo de tiempo (11 años) sobre un plano horizontal y un plano inclinado con el ángulo óptimo, además analizamos el perfil horario de radiación solar.

4.1.1 Irradiación media mensual diaria

La Figura 5 muestra la irradiación incidente sobre un plano horizontal (**Hh**) (barras de la Figura 5) y sobre la inclinación en el ángulo de inclinación y orientación (azimut) óptimos (**Hopt**) (Tabla 2) (líneas de la Figura 5), en esta última se nota la mejoría para los meses de invierno. En esta figura también podemos observar que la media de irradiación incidente en los 6 CRE ronda entre los 6 y 7 $kWh/m^2/día$. Esto es un gran potencial de recurso solar en general en el estado de Guerrero. Un reciente estudio sobre el potencial de recurso solar en el golfo de México (Villicaña-Ortiz, et al., 2015b) concluyo que las zonas costeras, son lugares idóneos para explotar las tecnologías que funcionan con el recurso solar.

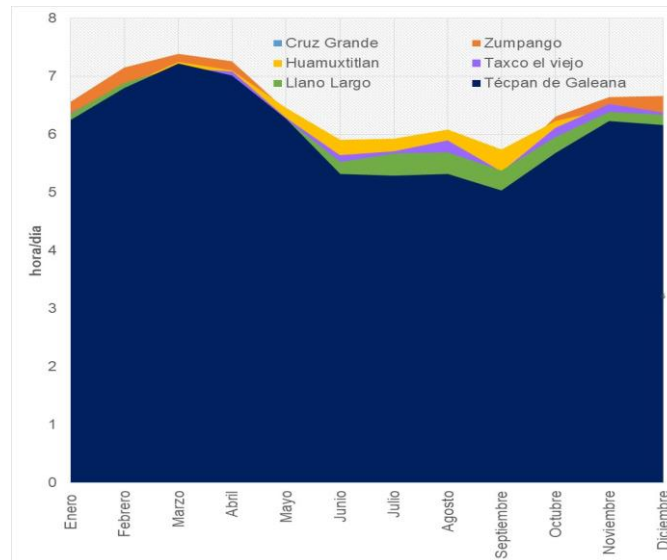
Figura 5: Irradiación sobre un plano horizontal Vs Irradiación sobre un plano inclinado al ángulo óptimo BD: PVGIS



4.1.2 Horas solares pico

En la investigación de (Villicaña-Ortiz, et al., 2015b), Los emplazamientos de todo el golfo, fueron definidos con una media de horas solares picos entre 5 y 6. Si observamos la figura 6, la media para los 6 CRE's está entre 6 y 7 horas solares pico, desde aquí podemos deducir la cantidad de recurso solar en estas zonas.

Figura 6: Horas solares pico estimadas para cada CRE, BD: PVGIS



4.1.3 Perfil diario de radiación solar

Para profundizar en este análisis, se calcula el perfil diario de radiación solar para cada CRE's. Debido a que son instituciones educativas, donde la hora punta de consumo energético es de suponerse esta en las horas diurnas por ello presentamos los W/m^2 en las horas punta del día, esto nos lleva a deducir el horario donde se presentan las horas solares pico (Figura 6). Para esto la serie de Figuras desde la 7 hasta la 12 representan el perfil diario solar para cada CREs.

Figura 7: Perfil diario de radiación solar, CRE: Cruz Grande, BD: PVGIS

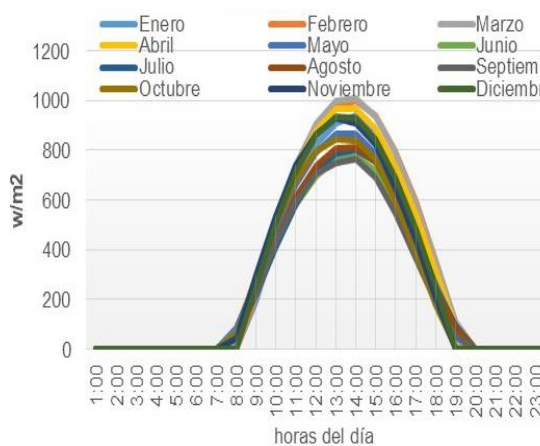


Figura 8: Perfil diario de radiación solar, CRE: Zumpango del Río, BD: PVGIS

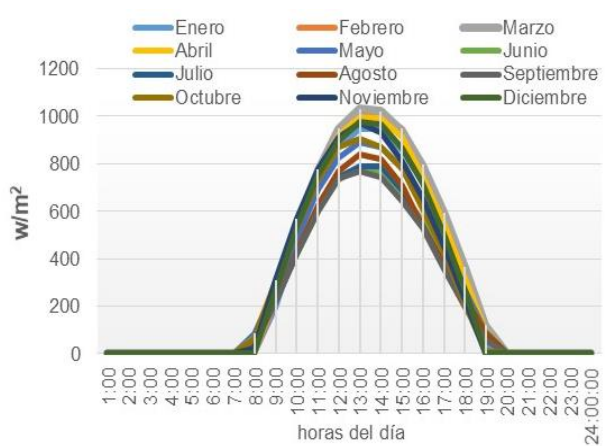


Figura 9: Perfil diario de radiación solar, CRE: Huamuxtitlan, BD: PVGIS

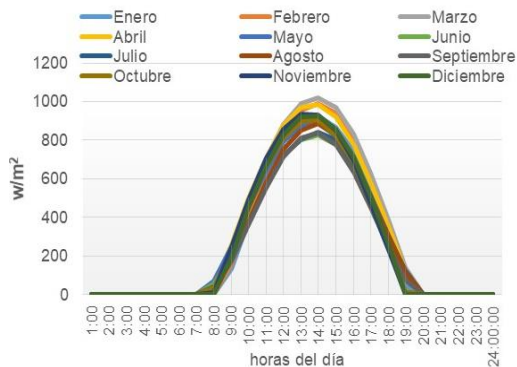


Figura 10: Perfil diario de radiación solar, CRE: Taxco el viejo, BD: PVGIS

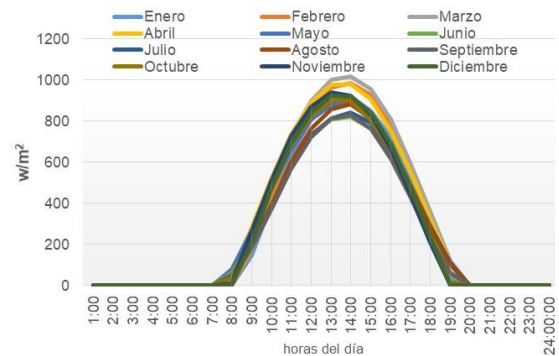


Figura 11: Perfil diario de radiación solar, CRE: Llano Largo, BD: PVGIS

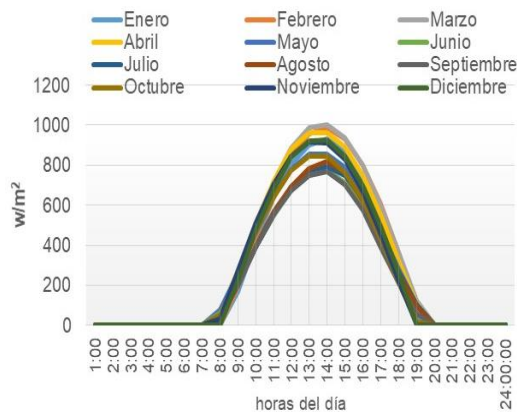
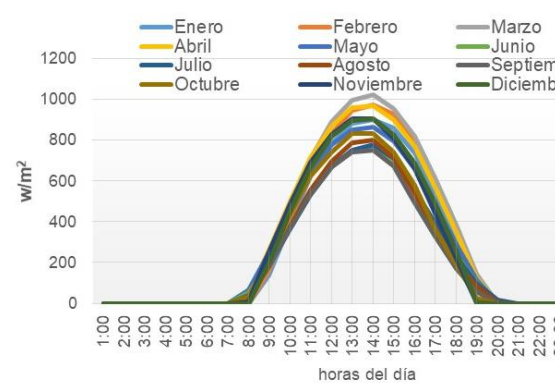


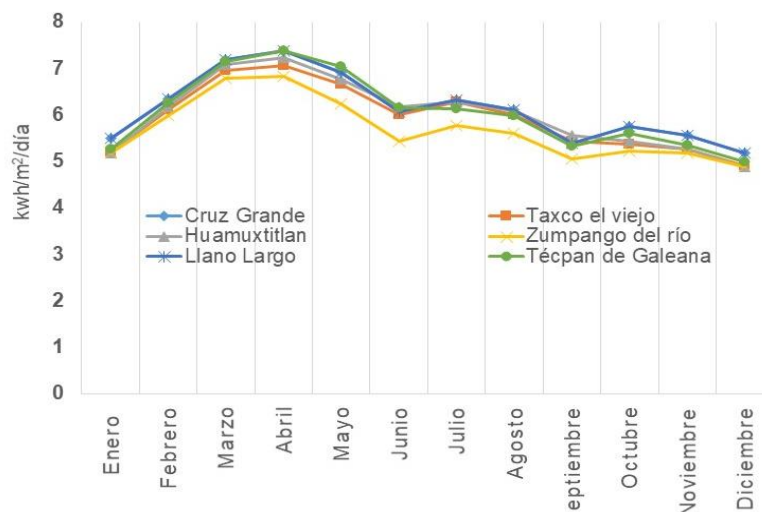
Figura 12: Perfil diario de radiación solar, CRE: Tépán de Galeana BD: PVGIS



4.2 NASA-BD

Las curvas de irradiación para los 6 CRE, se presentan en la Figura 13, corresponden al periodo de 22 años, y son resultados directamente de la inclinación del ángulo óptimo (**Hopt**).

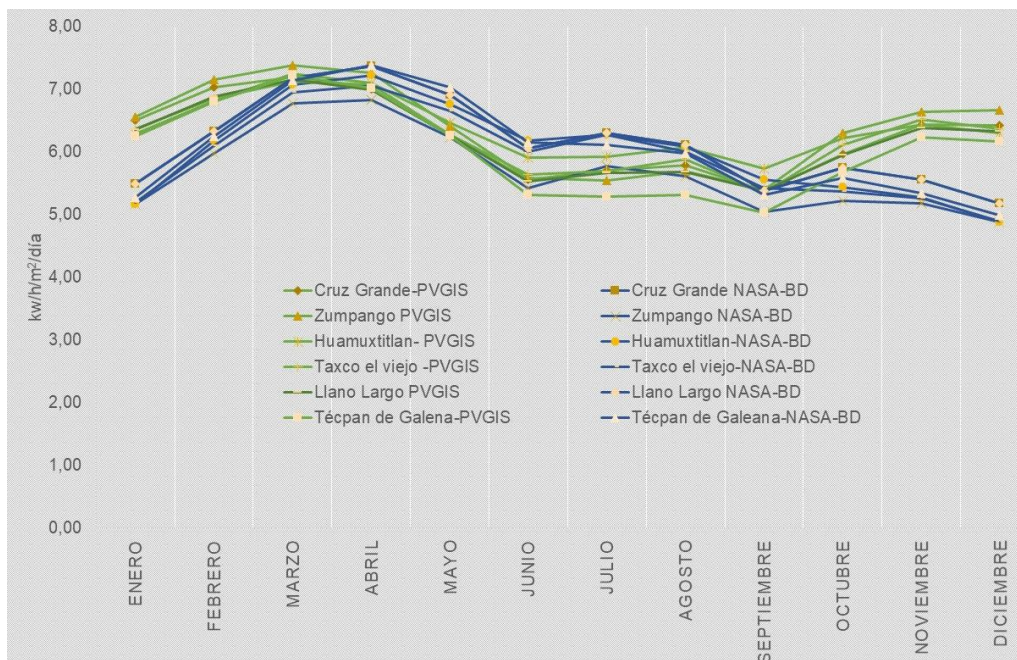
Figura 13: Irradiación sobre un plano inclinado al ángulo óptimo, BD-NASA



4.3 Comparativa entre BD de irradiación: NASA Vs PVGIS

Aunque la BD, de la NASA y PVGIS solo tengan las medidas del año 2005 como intersección, el desacuerdo en los resultados que proporcionan no es tan dispar. En la Figura 14 se puede observar que los últimos 11 años (BD-PVGIS) la radiación ha incrementado, aunque no es el objetivo de esta investigación analizar el ¿por qué? de esta discrepancia, se puede asociar al fenómeno imparable del cambio climático. Si podemos concluir que podemos usar cualquier BD para calcular el potencial del recurso solar en los CRE.

Figura 14: Comparativa de irradiación sobre un plano inclinado al ángulo óptimo: NASA-BD Vs PVGIS-BD



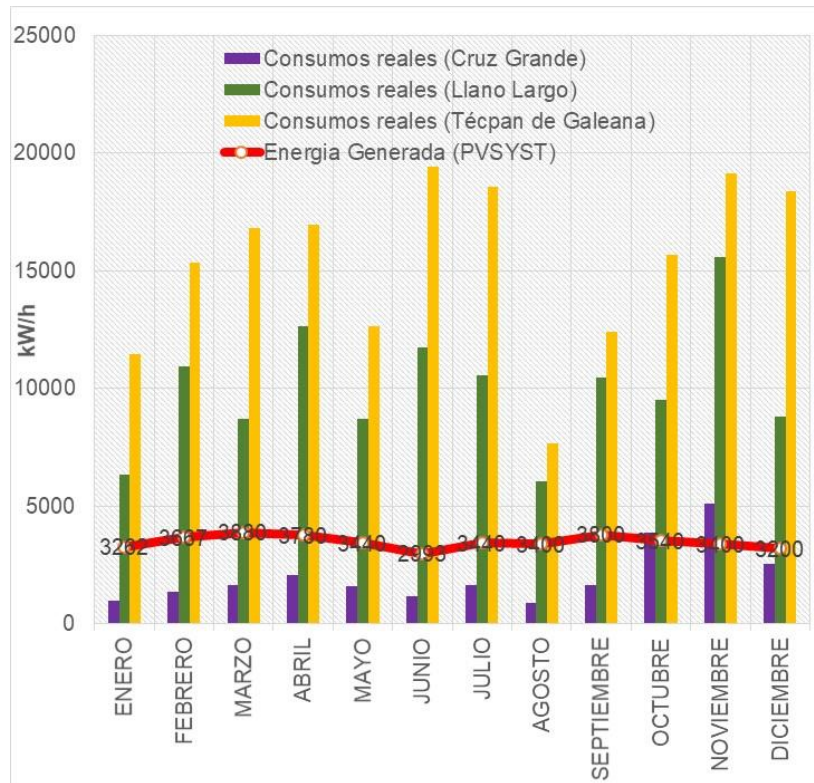
4.4 Análisis de energía producida Vs energía necesitada en cada CRE

En este apartado se analiza la energía demandada con la energía que se puede recuperar basados en los resultados del potencial de recurso solar de la figura 14. Para tener una perspectiva de la energía que se puede producir partimos de las siguientes premisas:

- Considerando que cada CRE tiene al menos dos edificios construidos, se considera un área útil de 125.84 m² de cada edificio, lo cual supone un área disponible de 251.68 m².
- Debido a que la figura 14 muestra que la irradiación incidente en todos los CRE es casi similar, entonces asumimos una media de estos registros y calculamos la energía producida.

Utilizamos PVSYST, obtenemos la energía mensual con los datos de los dos puntos anteriores, además se solicitó al área de planeación de la UAGro los registros de consumo para aquellos CRE que actualmente tienen un contrato con la CFE, como se ha visto, solo se tiene registros para tres CRE: Cruz Grande, Llano Largo y Tépán de Galeana, los registros de este último son generales ya que los consumos reportados no solo pertenecen al campus de Tépán de Galeana, este comparte contrato con una preparatoria vecina. Así la Figura 15 muestra el consumo mensual de los CRE y la compara con la energía media mensual producida.

Figura 15: Energía demandada Vs Energía Generada.



5. Conclusiones y trabajo futuros

Este trabajo muestra que los Campus Regionales Educativos (CRE), tienen una necesidad urgente de suministro eléctrico para su funcionalidad adecuada, y segundo que los CRE tienen un abundante potencial de recurso solar que puede ser aprovechado. Así basados en este análisis, podemos concluir que de los CRE analizados en este estudio, el de Cruz Grande puede ser potencialmente suministrado con energía solar fotovoltaica (Figura 15). Así mismo, el CRE de Huamuxtitlan podría ser dotado con el suministro eléctrico a través de la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que sus condiciones estructurales son similares al CRE de Cruz Grande: De la misma manera, los campus de la Zona Centro y Zona Norte también pueden cubrir sus necesidades energéticas, aunque para estos centros no se dispone de los necesarios datos de consumo. Sin embargo, dado su potencial de recurso solar, la instalación de plantas fotovoltaicas ayudaría a la mejor funcionalidad de los campus. Por otro lado, los CRE de Llano largo y Tépán de Galeana, si bien el área considerada no alcanza a cubrir la demanda energética, podría cubrir algunas demandas de puntos específicos, como laboratorios o áreas de prácticas, siendo este punto un estudio futuro.

Finalmente, algunas ventajas de instalar plantas fotovoltaicas en los CRE se resumen en los siguientes puntos:

- 1) El proyecto de regionalización se orientaría hacia una funcionalidad sostenible, fomentando la producción y el consumo sostenible en las instituciones educativas.
- 2) Las plantas fotovoltaicas pueden servir como objeto de estudios y prácticas para estudiantes de los CRE donde oferten un programa de estudio de energías renovables, ing. Industrial, etc.
- 4) El uso de recursos solares en el estado de Guerrero se vería incrementado, ya que actualmente solo se explota energía la hidráulica.

Referencias

- Amillo, G. (2017). PVGIS 5: New algorithms and features, 23.
- Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A., & Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1753-1766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>
- Bollmeyer C., Keller J. D., Ohlwein C., Wahl S., Crewell S., Friederichs P., ... Steinke S. (2015). Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(686), 1-15. <https://doi.org/10.1002/qj.2486>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2015). Índice de marginación por entidad federativa 1990-2015. Recuperado a partir de <https://www.gob.mx/conapo>
- Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., ... Vitart F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553-597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>
- Hernández-Escobedo, Q., Fernández-García, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017a). Solar resource assessment for rural electrification and industrial development in the Yucatan Peninsula (Mexico). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1550-1561. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.200>
- Hernández-Escobedo, Q., Fernández-García, A., & Manzano-Agugliaro, F. (2017b). Solar resource assessment for rural electrification and industrial development in the Yucatan Peninsula (Mexico). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1550-1561. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.200>
- Hernández-Escobedo, Quetzalcoatl, Perea-Moreno, A.-J., & Manzano-Agugliaro, F. (2018). Wind energy research in Mexico. *Renewable Energy*, 123, 719-729. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.101>
- International Energy Agency. (2016). Mexico energy outlook.
- Pérez-Denicia, E., Fernández-Luqueño, F., Vilariño-Ayala, D., Manuel Montaña-Zetina, L., & Alfonso Maldonado-López, L. (2017). Renewable energy sources for electricity generation in Mexico: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 597-613. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.009>
- Rivas, D., Saleme-Vila, S., Ortega-Izaguirre, R., Chalé-Lara, F., & Caballero-Briones, F. (2013). A climatological estimate of incident solar energy in Tamaulipas, northeastern Mexico. *Renewable Energy*, 60, 293-301. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.05.022>
- Ruiz, B. J., Rodríguez-Padilla, V., & Martínez, J. H. (2008). Renewable energy sources in the Mexican electricity sector. *Renewable Energy*, 33(6), 1346-1353. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.07.016>
- Sandwell, P., Chan, N. L. A., Foster, S., Nagpal, D., Emmott, C. J. M., Candelise, C., ... Nelson, J. (2016). Off-grid solar photovoltaic systems for rural electrification and emissions mitigation in India. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 156, 147-156. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.04.030>
- Universidad Autónoma de Guerrero. (2013). Regionalización de servicios educativos, UAgro.
- Villicaña-Ortiz, E., Gutiérrez-Trashorras, A. J., Paredes-Sánchez, J. P., & Xiberta-Bernat, J. (2015a). Solar energy potential in the coastal zone of the Gulf of Mexico. *Renewable Energy*, 81, 534-542. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.068>

Agradecimientos

Este trabajo está parcialmente financiado por los proyectos TIN2014-55024-P del Ministerio de Ciencia e Innovación Español y P11-TIC-8001 de la Junta de Andalucía (incluidos los fondos FEDER) y el proyecto 19882/GERM/15 programa SÉNECA 2004, una beca de doctorado del Ministerio de Educación Superior de la República Mexicana, con el folio Uagro-2010