

## Aplicación de sistemas de refrigeración solar en zonas marginadas, organizaciones de bajos recursos y poblaciones desprotegidas

### Solar refrigeration application systems in marginalized zones, low-income organizations and unprotected populations

AMADOR-GARCÍA, José Enrique†, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio\*, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y MEJÍA-PEREZ José Alfredo

*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*

ID 1<sup>er</sup> Autor: AMADOR-GARCÍA, José Enrique / ORC ID: 0000-0002-0011-226X, Researcher ID Thomson: G-2674-2019, CVU CONACYT ID: 972787

ID 1<sup>er</sup> Coautor: CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio / ORC ID: 0000-0003-1091-8133, Researcher ID Thomson: S-3098-2018, CVU CONACYT ID: 349626

ID 2<sup>do</sup> Coautor: JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron / ORC ID: 0000-0002-9769-0540, Researcher ID Thomson: S-3099-2018, CVU CONACYT ID: 295058

ID 3<sup>er</sup> Coautor: MEJÍA-PEREZ José Alfredo / ORC ID: 0000-0002-4090-8828, Researcher ID Thomson: G-3354-2019.

DOI: 10.35429/JTD.2019.12.3.16.21

Recibido: 17 de Octubre, 2018; Aceptado 02 de Diciembre, 2018

#### Resumen

Los sistemas de refrigeración son de gran importancia en la vida diaria del ser humano, debido a que se requiere tener sistemas de conservación del frío para diferentes procesos y preservación de productos perecederos. La generación de energía eléctrica como fuente alternativa, se ha utilizado para sistemas de refrigeración involucrados en programas de desarrollo sustentable. Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar un sistema de refrigeración alimentado por paneles solares que pretenden mejorar la calidad de vida. Las máquinas refrigerantes que utilizan fuentes alternativas de energía contribuyen con el desarrollo sustentable, sin embargo, las que no lo utilizan presentan mayor impacto ambiental. El prototipo del refrigerador solar tiene un enfoque cuantitativo-cualitativo en procesos deductivos basados en la interpretación y recolección de datos. Este fue llevado a cabo usando materiales propios para la construcción de refrigeradores que permiten obtener una configuración compacta, presentando curvas de operación presión-volumen y autonomía del sistema con mantenimientos semejantes a los sistemas de refrigeración convencionales. El sistema de refrigeración se pretende utilizar en zonas marginadas, organizaciones de bajos recursos y en apoyo a poblaciones desprotegidas.

**Refrigeración solar, Desarrollo sustentable, Sistemas de refrigeración**

#### Abstract

The refrigeration systems are of great importance in the daily life of the human being, due to the fact that it is necessary to have cold storage systems for different processes and perishable products preservation. The generated electric power as an alternative source has been used for refrigeration systems involved in sustainable development programs. The aims of this research were to characterize a cooling system powered by solar panels and that pretend to improve the quality of life. Refrigerating machines that use alternative sources of energy contribute to sustainable development, however, those that do not use it have a greater environmental impact. The solar refrigerator prototype has a quantitative-qualitative approach in deductive processes based on interpretation and data collection. This was carried out using own materials for the refrigerators construction that allow obtaining a compact configuration, presenting, pressure-volume operation curves and autonomy of the system with maintenance similar to conventional refrigeration systems. The refrigeration system is intended to be used in marginalized areas, low-income organizations and in support unprotected populations.

**Solar refrigeration, Sustainable development, Refrigeration system**

**Citación:** AMADOR-GARCÍA, José Enrique, CRUZ-GÓMEZ, Marco Antonio, JUÁREZ-ZERÓN, Tomás Aáron y MEJÍA-PEREZ José Alfredo. Aplicación de sistemas de refrigeración solar en zonas marginadas, organizaciones de bajos recursos y poblaciones desprotegidas. Revista del Desarrollo Tecnológico. 2019 3-12: 16-21

\* Correspondencia del Autor (Correo electrónico: josen\_inm@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

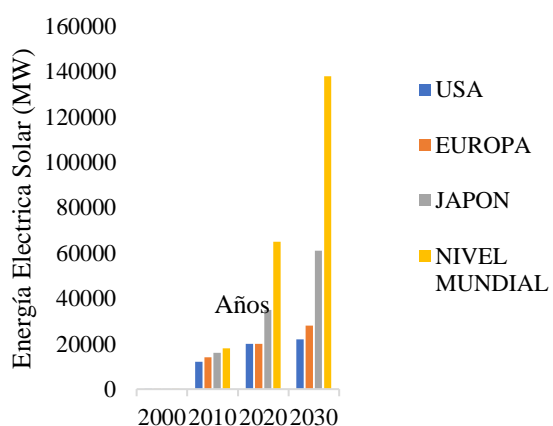
### Energía renovable

El término energía renovable se refiere a la energía producida a partir de fuentes naturales, teniendo como característica principal su inagotabilidad. Las fuentes de energías renovables incluyen viento, solar, geotérmica y las hidroenergías, entre otras.

Las energías renovables presentan una alta eficiencia potencial, incluyendo estímulos económicos y la reducción de contaminantes. *Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2013).*

### Energía solar

La energía solar se ha vuelto uno de los sistemas de energía más usados en varios países del mundo, siendo limpia y renovable como se muestra en la gráfica 1. Los científicos han puesto mayor atención a este tipo de fuente de energía, para las cuales tenemos varios tipos de aplicaciones como calentadores de líquidos, aire para confort de edificios, hogares y refrigeración para conservación de alimentos. *Chen, Q., Du, S., Yuan, Z., Sun, T., & Li, Y. (2018).*



**Gráfico 1** Proyección de países líderes en producción de energía solar. *Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2013)*

### Tecnología de refrigeración solar

Esta ofrece varios métodos de enfriamiento para la conservación de alimentos y enfriamiento de aire confort.

Este consta de un colector solar y sus correspondientes ciclos fotovoltaicos basados en sistemas de enfriamiento tradicionales. Los colectores solares transforman la radiación solar en calor, este es transportado al fluido del colector.

El fluido es guardado en un tanque térmico, para subsecuentemente usarse en varias aplicaciones. *Arias, E., Castro, E., & Sevilla, J. (1981).*

### Marco Teórico

#### Objetivo general

Caracterizar un sistema de refrigeración alimentado por paneles solares que pretenden mejorar la calidad de vida.

#### Objetivo particular

Diseñar un sistema de refrigeración solar accesible a la gente de bajos recursos, capaz de mantener alimentos y bebidas a una temperatura con el cual no se vuelvan perecederos a corto plazo.

#### Refrigeración por evaporación

Este es el más antiguo de los sistemas de refrigeración. Consiste en un recipiente en el cual los alimentos y bebidas son colocados en el recipiente, el cual está rodeado por una tela, ambos cuerpos se encuentran sumergidos en agua (H<sub>2</sub>O), ésta es absorbida por el tejido, después, el agua se evapora y la temperatura del recipiente disminuye a una menor a la del medio ambiente. Los requerimientos para este tipo de refrigeración son ambientes con aire seco, se debe instalar en áreas sombreadas y con corrientes de aire constantes. *Kim, D., & Infante Ferreira, C. (2008).*

#### Refrigeración por absorción

Consiste en un condensador, la válvula de expansión, el absorbedor capaz de comprimir el refrigerante evaporado. El ciclo de refrigeración se lleva a cabo a través de diferentes procesos, en el primero, el evaporador extrae el refrigerante en estado gaseoso por el absorbedor, seguido de la separación de vapores por la liberación de energía térmica de la solución refrigerante, y por último, el condensador extrae el calor del refrigerante para ser expandido por el evaporador. Este tipo de refrigeración utiliza energía solar como fuente calorífica y refrigerante de NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub>O/LiBr. El coeficiente de operación (COP) es de 0.7, 1.2 y 1.7. *Fernandes, M., Brites, G., Costa, J., Gaspar, A., & Costa, V. (2014b).*

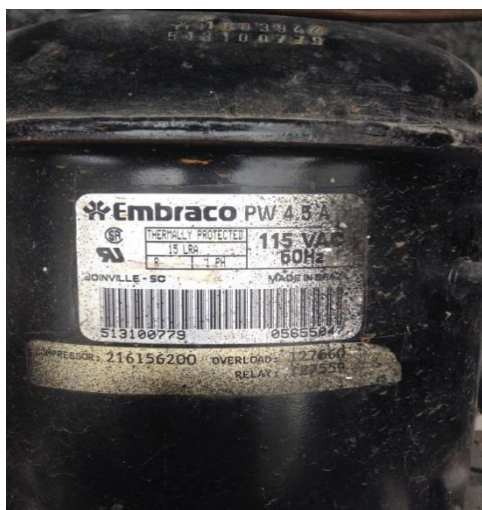
## Refrigeración por adsorción

Está compuesto por dos cámaras de sorción, un evaporador y el condensador. El agua es evaporada a baja presión y a baja temperatura en el evaporador, el vapor de agua entra a la cámara de adsorción donde se encuentra el fluido de trabajo, suele ser gel de sílica, agua, zeolita o carbón activado, en la otra cámara, el vapor de agua es liberado por el calor aplicado al fluido de trabajo a la sustancia de trabajo, ver tabla 1. El vapor de agua es condensado por la transferencia de calor de agua fría desde la torre de refrigeración. El COP en este tipo de refrigeración se encuentra en el rango de (0.3, 0.7), y temperaturas de (60, 90) °C. *kim, d., & infante Ferreira, C. (2008).*

Fluido en función	Tg (°C)	Tc (°C)	Pg (KPa)	Pe (KPa)	COP	$\eta_0$	COP <sub>r</sub>	QSC(W)	AS C (m <sup>2</sup> )	
H <sub>2</sub> O	130	37	392.2	0.88	0.913	0.18	0.168	69,130	173	
		30	392.2	0.88	1.471	4	0.319	36,396	91	
		37	475.5	0.88	2.076	0.21	0.469	24,717	62	
		30	475.5	0.88	2.887	7	0.645	17,175	45	
		37					0.22			
		37					0.22			
NH <sub>3</sub>	85	37	2157	520	Sin solución posible	-	-	-	-	
	130	37	2157	520	0.348	0.016	0.005	2,130,150	5338	

**Tabla 1** Rendimiento de los refrigerantes  
Fuente: Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2013).

La realización del refrigerador solar está basado en el método de refrigeración por absorción. El prototipo consiste en una celda solar conectada a un refrigerador para fines acordes a nuestro objetivo general alimentado por corriente alterna (CA), con un compresor de 115VCA, 60Hz, ver figura 1, y por un panel solar de 15.99 VCC(corriente continua) y 150watts (W), según datos obtenidos con un multímetro modelo 28A824.



**Figura 1** Condensador

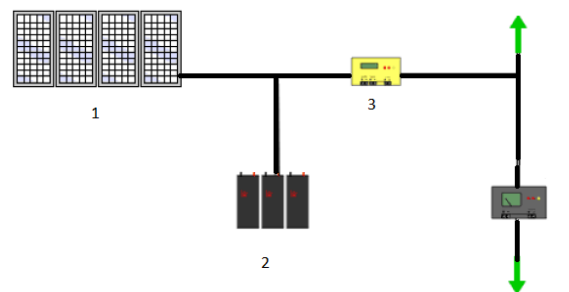


**Figura 2** Panel solar

El compresor trabaja según sus características de operación a una temperatura ambiente con rango de 20 a 30 °C para el estado de Puebla.

## Metodología

El panel solar fue conectado a una batería de 12V como fuente de almacenamiento para poder alimentar el sistema de refrigeración, cuando la potencia generada por el panel ha disminuido considerablemente por las condiciones de operación, la batería empieza a alimentar el sistema, hasta que el panel vuelva a operar con normalidad, posteriormente, es conectado al inversor de corriente (12VCC-120VCA), representado en la figura 3, el cual está unido al regulador que además de dar una tensión continua, evita la descarga de la batería, para así poder conectar al refrigerador y permitir su funcionamiento, representado en la figura 4.



**Figura 3** Diagrama eléctrico del sistema de refrigeración  
1) Panel solar, 2) Batería, 3) Regulador fotovoltaico, 4) Inversor de corriente CC/CA



**Figura 4** Refrigerador y panel solar conectados

El panel solar fue instalado en un poste metálico, como se aprecia en la figura 5 expuesto directamente a la luz solar, posicionada en 32° respecto a la latitud del estado de Puebla para aumentar su eficiencia. *Neville, R. (1977).*

Se usó refrigerante de amoníaco-agua (NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O), con una eficiencia promedia de 0.1, véase tabla 1, el refrigerador fue puesto en funcionamiento logrando disminuir la temperatura hasta 12°C.

En la cavidad de enfriamiento del refrigerador se busca disminuir la temperatura a 4°C para una conservación de los alimentos a largo plazo.

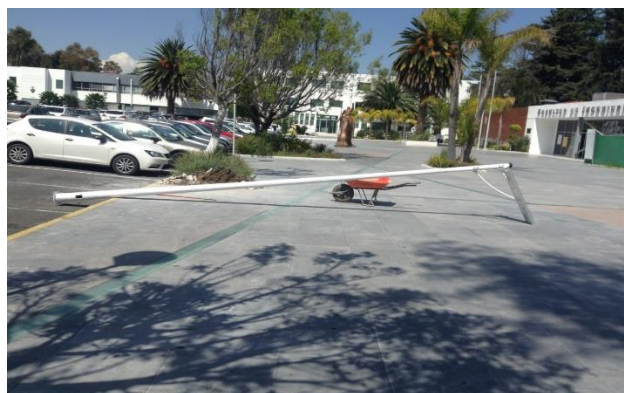


Figura 5 Panel solar ensamblado al poste con su respectiva inclinación

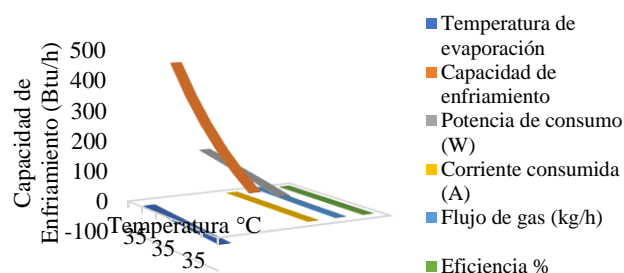
Para las pruebas, el panel fue instalado en una base fabricada según las medidas exteriores de la celda solar, una vez puesto en funcionamiento, la temperatura disminuyó hasta los 12 °C, dato obtenido con un termómetro bimetálico modelo 6065n, en un ambiente de 24°C en exterior, se basó el trabajo del compresor buscando simular sus características de trabajo de 33°C, como se muestra en la gráfica 2 y gráfica 3, sin embargo no se pudieron igualar por la temperatura ambiental.



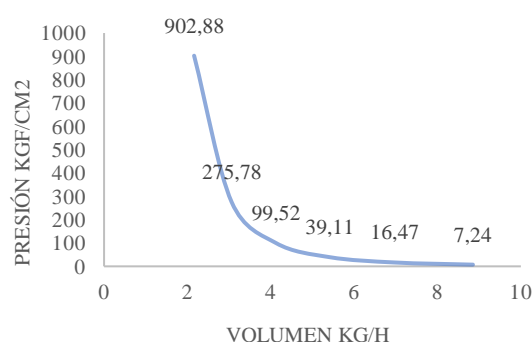
Figura 6 Interior del refrigerador utilizado

El objetivo es disminuir la temperatura hasta los 4°C, es bien sabido que a esa temperatura los alimentos son más duraderos ya que el crecimiento de bacterias que causan su descomposición es reducido, permitiendo una conservación a largo plazo, se buscaron desperfectos en el laminado interior, véase figura 6, para corregirse y mejorar el enfriamiento interno del refrigerador, una vez corregidas las fallas en los laminados, la temperatura disminuyó, alcanzando los 9°C sin variar las condiciones ambientales, tras un periodo de funcionamiento constante, se cubrió el panel solar provocando una disminución en su potencia para así iniciar la alimentación por la batería, después de un corto periodo de tiempo, las baterías comenzaron a suministrar voltaje al refrigerador, el cual continuó trabajando por 40 minutos hasta descargarse la batería.

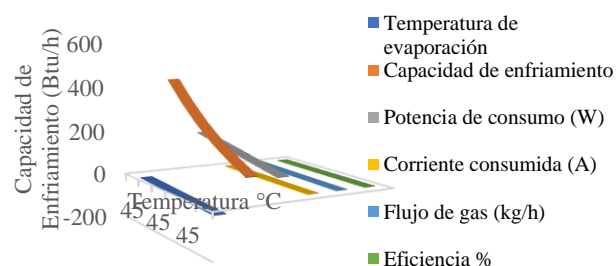
El refrigerador mantuvo la temperatura de 10°C durante 3 horas sin descubrir el interior del refrigerador.



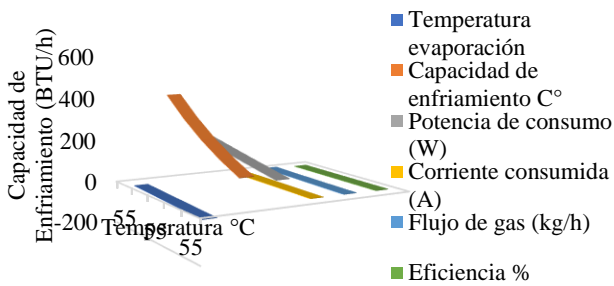
Gráfica 2 Gráfica de Operación del Compresor a 35°C



Gráfica 3 Gráfica Presión-Volumen



Gráfica 4 Gráfica de Operación del Compresor a 45°C



Gráfica 5 Gráfica de Operación del Compresor a 55°C

### Aplicación en Zonas Marginadas y Poblaciones Desprotegidas

La marginación y pobreza es un fenómeno social provocado por los modelos económicos, la cual afecta directamente a diversos grupos sociales en su desarrollo económico y poblacional, provocando carencia de oportunidades y desarrollo económico. *CONAPO (2019)*

Para la selección de las áreas marginadas en las que este sistema de refrigeración puede ser aplicado y demostrar su eficiencia, se deben revisar las comunidades que muestren:

- Grado de marginación
- Condiciones ambientales favorables
- Nivel de carencia de satisfactores básicos
- Accesibilidad
- Disponibilidad de información sobre recursos del sitio
- Actividades productivas y potencial de desarrollo
- Apoyo de las autoridades estatales, municipales y locales

*Mena Brito, C., Boelsterly, X., Jimenez, T., Tzec, I., Aranda, A., & Pérez, M. (2013).*

Las zonas marginadas con mayor relevancia, son las que están en la ruta de los migrantes centroamericanos y mexicanos que se dirigen a Estados Unidos de América, siendo las rutas del Pacífico y de Altar. Ambas tienen en común el Estado de Chiapas como entrada a la República Mexicana, centro de México donde se encuentra Puebla, CDMX, Tlaxcala y Estado de México y para salir del país, el estado de Baja California. *Nájar, A. (2015).*

Para aumentar la eficiencia del panel solar, se deberá implementar en una zona en la cual la temperatura sea considerablemente alta desde las primeras horas hasta las últimas horas del día (Figura 7, figura 8).

Debe ser en una zona donde sea aprovechado su uso, y cumpliendo el propósito de ser utilizado en zonas marginadas, organizaciones de bajos recursos y en apoyo a poblaciones desprotegidas.

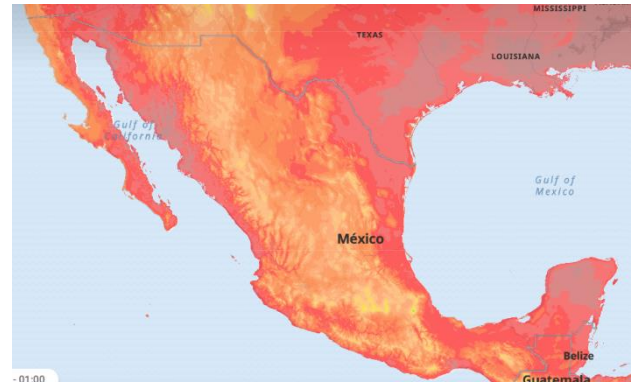


Figura 7 Temperatura 7:00 hrs México. Verde: 10°C, Amarillo: 15°C, Naranja: 24°C, Rojo: 30°C, Marrón: 38°C.

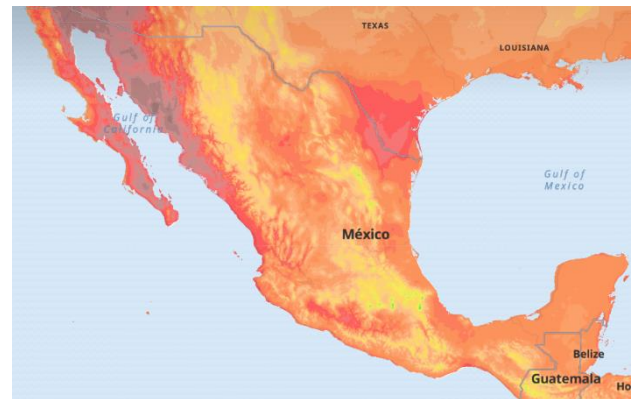


Figura 8 Temperatura 16:00hrs México. Mapa de temperatura del Oeste de México. (Julio 7, 2019)

### Conclusiones

La refrigeración de alimentos y productos perecederos ha cobrado una gran importancia en la vida diaria de las personas, esto originó la necesidad de tener un sistema de refrigeración, sin embargo, diversos grupos sociales de bajos recursos no tienen acceso debido a sus elevados costos. Por ello, se desarrolló la hipótesis de máquinas refrigerantes que utilizan fuentes alternativas de energía para contribuir al desarrollo sustentable y disminuir el impacto ambiental.

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) desarrolló un prototipo de refrigeración solar en el Departamento de Investigación en Zeolitas, capaz de trabajar 24 horas y alcanzar una temperatura mínima de 9°C con un ciclo termodinámico de adsorción.

El prototipo realizado en la Facultad de Ingeniería BUAP campus CU, logró alcanzar una temperatura mínima de 9°C usando ciclo termodinámico por absorción y refrigerante NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, capaz de trabajar sin interrupciones mientras el panel solar esté en funcionamiento y aproximadamente 1 hora suministrado por la batería.

El prototipo de refrigerador fue llevado a cabo con materiales convencionales y propone una alimentación a través de energías alternativas para alcanzar un funcionamiento óptimo que permita mantener alimentos perecederos para el consumo humano en zonas marginadas con bajos costos de adquisición y de operación, logrando los objetivos planteados en esta investigación.

### Objetivos futuros

Se tiene como objetivo disminuir la temperatura hasta los 4°C, por ello, es necesario mejorar el ciclo de refrigeración, el uso de un refrigerante de menor impacto ambiental, el método de energización cuando el panel está fuera de servicio y la mejora o en su defecto el reemplazo de componentes. Se deben hacer pruebas de campo en lugares que demuestren la eficiencia y funcionamiento del prototipo, para finalmente ser utilizados en zonas de marginación y cumplir el propósito de mejorar la calidad de vida de las personas.

### Referencias

- I) Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2013). Review of solar refrigeration and cooling systems. *Energy and Buildings*, 67, 286–297. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.08.022
- II) Chen, Q., Du, S., Yuan, Z., Sun, T., & Li, Y. (2018). Experimental study on performance change with time of solar adsorption refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*, 138, 386–393. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.04.061
- III) Arias, E., Castro, E., & Sevilla, J. (1981). Perspectivas De Las Aplicaciones De La Energia Solar En La Industria De Los Alimentos. *Solar Cooling and Dehumidifying*, 239–246. doi: 10.1016/b978-0-08-027571-0.50041-0
- IV) Kim, D., & Ferreira, C. I. (2008). Solar refrigeration options – a state-of-the-art review. *International Journal of Refrigeration*, 31(1), 3–15. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2007.07.011
- V) Fernandes, M., Brites, G., Costa, J., Gaspar, A., & Costa, V. (2014). Review and future trends of solar adsorption refrigeration systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 102–123. doi: 10.1016/j.rser.2014.07.081
- VI) Mena Brito, C., Boelsterly, X., Jimenez, T., Tzec, I., Aranda, A., & Pérez, M. (2019). Comunidades Marginadas -2013 | Centro Mario Molina. Retrieved from <http://centromariomolina.org/energia/comunidades-marginadas/>
- VII) Nájjar, A. (2015). México: las rutas de los migrantes que no pueden viajar en La Bestia - BBC News Mundo. Retrieved from [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/01/150116\\_migracion\\_mexico\\_centroamerica\\_nuevas\\_rutas\\_an](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/01/150116_migracion_mexico_centroamerica_nuevas_rutas_an).
- VIII) Mapa de temperatura del Oeste de México. (2019). Retrieved July 7, 2019, from <https://www.meteored.mx/mapas-meteorologicos/temp2m-mexw.html>
- IX) CONEPA. Capítulo 1. Concepto y dimensiones de la marginación. (2019). <http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1755/1/images/01Capitulo.pdf>