

## **Biogás: situación actual, potencial de generación en granjas porcinas y beneficios ambientales en Puebla\***

### **Biogas: current situation, generation potential in pig farms and environmental benefits in Puebla**

**José Apolonio Venegas Venegas<sup>1</sup>, Sergio Ernesto Medina Cuéllar<sup>2§</sup>, Francisco Guevara Hernández<sup>3</sup> y José Alfredo Castellanos Suárez<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas-CONACYT-Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Villaflores-Ocozocoautla, km 7.5. Villaflores, Chiapas. CP. 30470. (javenegasve@conacyt.mx; francisco.guevara@unach.mx). <sup>2</sup>Universidad de Guanajuato-Departamento de Arte y Empresa. Carretera Salamanca-Valle de Santiago, km 3.5 + 1.8. Salamanca, Guanajuato, México. CP. 36885. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5. Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (josealfedocs@hotmail.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: semedinacu@outlook.com.

## **Resumen**

Puebla es el tercer productor de carne de cerdo en canal en México, diversas granjas de ese estado están transformando sus desechos en energía renovable al emplear biodigestores. Se analizó el potencial de generación de biogás y la reducción de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) en 37 granjas porcinas con más de 500 cerdos cada una, ubicadas en 19 municipios de Puebla, las cuales mostraron la capacidad de generar 12 669 642 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> de biogás, con un potencial para dejar de emitir 69 702 t CO<sub>2</sub>e.

**Palabras clave:** biogás, energía renovable, línea base, metano.

El uso de combustibles de origen fósil y la actividad antropogénica han ocasionado un problema de índole mundial llamado cambio climático. En ese contexto se pronostica que la concentración de CO<sub>2</sub> para el año 2100 será de 490 ppm Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001). En orden de cantidad de emisiones de gases

## **Abstract**

Puebla is the third largest pork producer in Mexico, several farms in that state are transforming their waste into renewable energy by using biodigesters. The potential for biogas generation and the reduction of carbon dioxide equivalent (CO<sub>2</sub>e) was analyzed in 37 pig farms with more than 500 pigs each, located in 19 municipalities of Puebla, which showed the capacity to generate 12 669 642 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> of biogas, with a potential to stop emitting 69 702 t CO<sub>2</sub>e.

**Keywords:** baseline, biogas, methane, renewable energy.

The use of fossil fuels and anthropogenic activity have caused a global problem called climate change. In that context, the CO<sub>2</sub> concentration for the year 2100 is predicted to be 490 ppm Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001). In order of the amount of greenhouse gas (GHG) emissions to the atmosphere in

\* Recibido: febrero de 2017  
Aceptado: abril de 2017

de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera en México están el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con 65.95% del total de GEI, en segundo lugar está el metano (CH<sub>4</sub>), con 22.28%, y en tercer lugar el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); 9.24%.

Recientemente la agricultura aportó 12.32% del total de GEI en México, dentro de las subcategorías de este sector la fermentación entérica de ganado doméstico representó 41.18% de las emisiones de CO<sub>2</sub>e, los suelos agrícolas representaron 50.42% y las emisiones por manejo de estiércol del subsector ganadero representaron 8.19% (SEMARNAT, 2012). Gran cantidad de estiércol producido no tiene un adecuado tratamiento para su disposición final, que origina un foco de infección (Vera *et al.*, 2014). El uso de fuentes rentables de energía renovable como el biogás cobran importancia, tanto por el costo de los energéticos a causa de la incertidumbre en los precios del petróleo, como por la necesidad de mitigar las causas del efecto invernadero mediante una mejor gestión de residuos (Kunatsa *et al.*, 2013; Nnaji y Ugwu, 2014; Wang, 2014), y de suministro energético compuesto por metano, dióxido de carbono y trazas de otros gases (Deublein y Steinhauser, 2008).

El biogás constituye una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono, el metano producido por bacterias es la última etapa en la cadena de degradación de material orgánico (Rivera *et al.*, 2008; Lungkhimba *et al.*, 2010), constituida por: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Mantilla *et al.*, 2007). Los diseños de biodigestores para establos lecheros y granjas porcinas más utilizados son: complete mix digester, fixed film, plug flow digester y covered lagoon (tipo laguna), este último ha mostrado mayor eficiencia en la producción y un menor costo de inversión (United States Environmental Protection Agency (PA), 2004; Magaña, 2006; United States Department of Agriculture (USDA), 2007).

El factor más relevante en el diseño de un biodigestor es la temperatura estable de operación (Varnero, 2011), encontrando la producción óptima de metano en el rango comprendido entre 30-35 °C (Boyles, 1984). Por otro lado, los sólidos volátiles constituyen la variable más importante en la generación metano (Koudache y Yala, 2008), ya que el volumen de gas producido está en función de su concentración (Hashimoto, 1981; 1984). Adicional a esto, la tercera variable relevante implicada en el funcionamiento de un biodigestor es el tiempo de retención hidráulica (TRH); el periodo de degradación del material orgánico por los microorganismos (Ferreira *et al.*, 2003; Abbasi *et al.*, 2012).

Mexico are carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), with 65.95% of total GHG, second is methane (CH<sub>4</sub>), with 22.28% and thirdly nitrous oxide (N<sub>2</sub>O); 9.24%.

Agriculture recently contributed 12.32% of the total GHG in Mexico, within the subcategories of this sector the enteric fermentation of domestic cattle accounted for 41.18% of the CO<sub>2</sub>e emissions, the agricultural soils accounted for 50.42% and the manure management emissions of the cattle subsector accounted for 8.19% (SEMARNAT, 2012). A large amount of produced manure does not have an adequate treatment for its final disposal, which causes an infection source (Vera *et al.*, 2014). The use of cost-effective sources of renewable energy such as biogas is important both for the cost of energy due to uncertainty in oil prices and for the need to mitigate the causes of the greenhouse effect through better waste management (Kunatsa *et al.*, 2013; Nnaji and Ugwu, 2014; Wang, 2014), and energy supply composed mainly of methane, carbon dioxide and traces of other gases (Deublein and Steinhauser, 2008).

Biogas is an important part of the biogeochemical carbon cycle, methane produced by bacteria is the last stage in the organic material degradation chain (Rivera *et al.*, 2008; Lungkhimba *et al.*, 2010), consisting of hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis (Mantilla *et al.*, 2007). The most used biodigestors designs for dairy stables and pig farms are: complete mix digester, fixed film, plug flow digester and covered lagoon, the latter has shown greater efficiency in production and a lower investment cost (United States Environmental Protection Agency (PA), 2004; Magaña, 2006; United States Department of Agriculture (USDA), 2007).

The most relevant factor in the design of a biodigester is the stable operating temperature (Varnero, 2011), finding optimum methane production in the range of 30-35 °C (Boyles, 1984). On the other hand, volatile solids are the most important variable in methane generation (Koudache and Yala, 2008), since the volume of produced gas depends on its concentration (Hashimoto, 1981; 1984). In addition to this, the third relevant variable involved in the operation of a biodigester is the hydraulic retention time (HRT); the degradation period of organic material by microorganisms (Ferreira *et al.*, 2003; Abbasi *et al.*, 2012).

From 2004 to 2014 Puebla showed an annual growth rate of 7.51%, highlighting the six main pork producers in Mexico, Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development,

De 2004 a 2014 Puebla mostró una tasa de crecimiento anual de 7.51%, destacando dentro de los seis principales productores de carne de cerdo en canal en México Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2016). En un conjunto de 10 granjas porcinas en Puebla, apoyadas de 2008 a 2011 por la SAGARPA; a través, del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) con sistemas de biodigestión tipo laguna, se dejaron de emitir a la atmósfera 31 904 t CO<sub>2</sub>e anuales con el quemado de alrededor de 5 856 355 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> de biogás producido por una población porcina de 74 942 cabezas, y en el mismo estado de 2008 a 2012 se apoyaron dieciocho proyectos para motogeneradores, donde el total de energía eléctrica utilizada en las granjas beneficiadas fue de 4 018 010 kW año<sup>-1</sup>, con la operación de estos sistemas se generaron 2 901 974 kW año<sup>-1</sup>, cubriendo 72.22% de sus requerimientos totales de energía eléctrica.

Con datos proporcionados por la gerencia de FIRCO en Puebla, se hizo un análisis del consumo de energía, las reducciones de CO<sub>2</sub>e y el biogás generado por las granjas apoyadas de 2008 a 2012 con motogeneradores a biogás. También se estimó la generación de biogás y la reducción de CO<sub>2</sub>e de 37 granjas con más de 500 cerdos distribuidas en Tecamachalco, Tepanco de López, Tehuacán, Oriental, Teziutlán y otros 14 municipios de la entidad. Para calcular la producción de metano se consideró el modelo de Contois (1959), sobre cinética de la digestión anaerobia de residuos de los cerdos, el cual fundamenta la fórmula desarrollada por Chen (1983) que se utilizó para la estimación de metano:

$$V_{CH_4} = B_0V \left[ 1 - \frac{k}{\mu_m \theta - 1 + k} \right]$$

Donde:  $V_{CH_4}$  = volumen de metano producido en el biodigestor (m<sup>3</sup> día<sup>-1</sup>);  $B_0V$  = potencial de producción de metano (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>) acorde con lo establecido por el IPCC (2006);  $\theta$  = tiempo de retención hidráulico de 30 días de acuerdo a especificaciones de Lagrange (1979);  $K$  y  $\mu_m$  representan respectivamente el parámetro cinético y la tasa máxima de crecimiento específico por día (%), determinados por Hashimoto (1984).

Para determinar el potencial de reducción de emisiones se estableció la línea base ambiental, se utilizó la metodología establecida por la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 2013), considerando los valores establecidos por el IPCC (2006).

Fisheries and Food (SAGARPA, 2016). In a set of 10 pig farms in Puebla, supported from 2008 to 2011 by SAGARPA; through the Shared Risk Trust (FIRCO) with lagoon-type biodigestion systems, 31 904 t CO<sub>2</sub>e per year were stop from being discharged to the atmosphere with the burning of around 5 856 355 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> of biogas produced by a pig population of 74 942 heads, and in the same state from 2008 to 2012, eighteen motor generators projects were supported, where the total electric energy used in the benefited farms was 4 018 010 kW year<sup>-1</sup>, with the operation of these systems 2 901 974 kW year<sup>-1</sup> were generated, covering 72.22% of its total electric power requirements.

With data provided by FIRCO's management in Puebla, an analysis of energy consumption was made, CO<sub>2</sub>e reductions and biogas generated by the supported farms from 2008 to 2012 with biogas generators. Biogas production and CO<sub>2</sub>e reduction were also estimated for 37 farms with more than 500 pigs distributed in Tecamachalco, Tepanco de López, Tehuacan, Oriental, Teziutlan and 14 other municipalities of the entity. The model of Contois (1959) on kinetics of anaerobic digestion of pig residues was used to calculate the methane production. This model is based on the formula developed by Chen (1983), which was used for the estimation of methane:

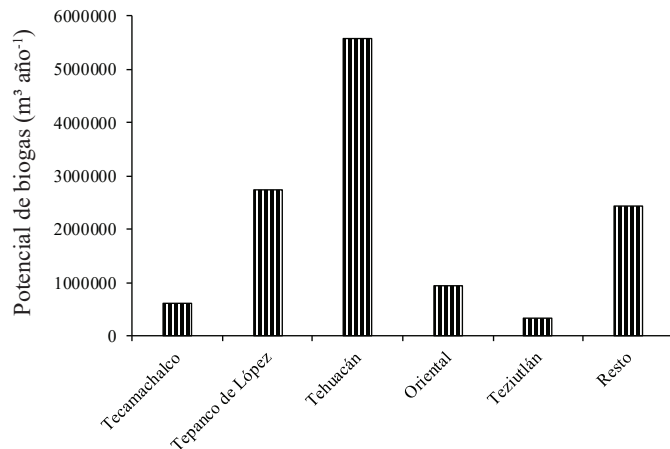
$$V_{CH_4} = B_0V \left[ 1 - \frac{k}{\mu_m \theta - 1 + k} \right]$$

Where:  $V_{CH_4}$  = methane volume produced in the biodigester (m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>);  $B_0V$  = methane production potential (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>) in accordance with the IPCC (2006);  $\theta$  = hydraulic retention time of 30 days according to specifications of Lagrange (1979);  $K$  and  $\mu_m$  represent respectively the kinetic parameter and the maximum specific growth rate per day (%), determined by Hashimoto (1984).

In order to determine the emission reduction potential, the environmental baseline was established, using the methodology established by the United Nations Convention on Climate Change (UNFCCC, 2013), taking into account the values established by the IPCC (2006).

In the state of Puebla there are 37 farms with biogas generation potential distributed in 19 municipalities, together they had a pig population of 163 033 heads with a generation potential of 12 669 642 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> of biogas, considering a concentration of CH<sub>4</sub> of 60% in its composition (Figure 1).

En el estado de Puebla existen 37 granjas con potencial de generación de biogás distribuidas en 19 municipios, en su conjunto tuvieron una población porcina de 163 033 cabezas con un potencial de generación de 12 669 642 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> de biogás, considerando una concentración de CH<sub>4</sub> de 60% en su composición (Figura 1).



**Figura 1. Potencial de biogás en granjas de Puebla con más de 500 cerdos (m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>).** Fuente: elaboración con base a fórmulas de Chen (1983); (Hashimoto, 1981; 1984).

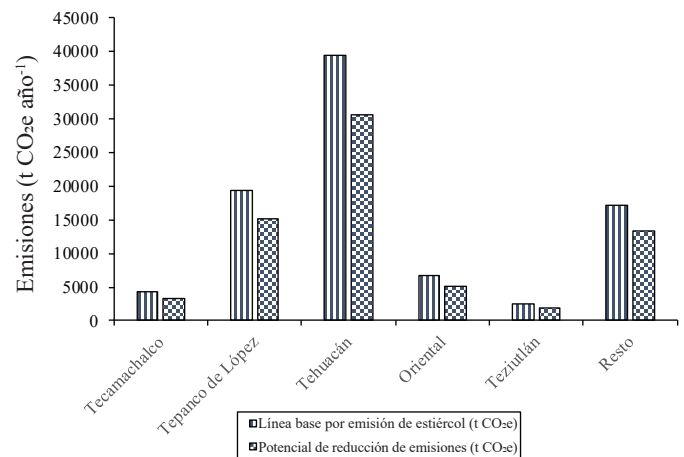
**Figure 1. Potential of biogas in farms of population with more than 500 pigs (m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup>).** Source: elaboration based on formulas of Chen (1983); (Hashimoto, 1981; 1984).

Destacan los municipios de Tehuacán con cinco granjas y un total de 71 707 cerdos; Tepanco de López con siete granjas y un total de 35 430 cerdos; Oriental con dos granjas y un total de 12 100 cerdos; Tecamachalco con tres granjas que suman un total de 8 000 cerdos y Teziutlán con cuatro granjas y un total de 4 462 cerdos. Estos cinco municipios representan 80.78% del potencial total de generación de biogás en la entidad, dentro de los que destaca el municipio de Tehuacán con 43.98%. Además de la producción de biogás, los sistemas de biodigestión reducen problemas de contaminación, al disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>e a la atmósfera (Figura 2).

## Conclusiones

En los 19 municipios que concentraron las 37 granjas, se tendría una línea base por emisión de estiércol de 89 628 t CO<sub>2</sub>e y un potencial de reducción de 69 702 t CO<sub>2</sub>e. El apoyo gubernamental ha sido clave para la producción de biogás

Of particular note are the municipalities of Tehuacán with five farms and a total of 71 707 pigs; Tepanco de López with seven farms and a total of 35 430 pigs; Oriental with two farms and a total of 12 100 pigs; Tecamachalco with three farms totaling 8 000 pigs and Teziutlán with four farms and a total of 4 462 pigs. These five municipalities account for 80.78% of the total biogas generation potential in the entity, among which the municipality of Tehuacán stands out with 43.98%. In addition to biogas production, biodigestion systems reduce pollution problems by decreasing CO<sub>2</sub>e emissions into the atmosphere (Figure 2).



**Figura 2. Línea base y potencial de reducción de emisiones en granjas de Puebla con más de 500 cerdos (t CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>).** Fuente: elaboración con base a la metodología establecida por la UNFCCC (2013).

**Figure 2. Baseline and emission reduction potential on farms with more than 500 pigs (t CO<sub>2</sub>e year<sup>-1</sup>).** Source: own elaboration based on the methodology established by the UNFCCC (2013).

## Conclusions

In the 19 municipalities that concentrated the 37 farms, there would be a manure emission baseline of 89 628 t CO<sub>2</sub>e and a reduction potential of 69 702 t CO<sub>2</sub>e. Government support has been key to biogas production and CO<sub>2</sub>e emissions reduction. In addition to producing biogas, biodigestors inhibit bad odors, generate biofertilizer, and prevent the proliferation of harmful flora and fauna around farms, benefiting nearby inhabited areas. The generation of biogas

y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>e. Además de producir biogás, los biodigestores inhiben malos olores, generan biofertilizante, y evitan la proliferación de flora y fauna nociva alrededor de las granjas, beneficiando las zonas habitadas cercanas. La generación de biogás depende de la calidad de la materia orgánica, sólidos volátiles, temperatura y tiempo de retención, además del número de cabezas con que cuente la granja.

## Literatura citada

- Abbasi, T.; Tauseef, S. M. and Abbasi, S. A. 2012. *Biogas energy*. Springer. New York, USA. 169 p.
- Boyles, D. T. 1984. *Bio-energy: technology, thermodynamics and costs*. Ellis Horwood Ltd. Chichester, England. 158 p.
- Chen, Y. R. 1983. Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications. *J. Agric. Wastes*. 8:65-81.
- Contois, D. E. 1959. Kinetics of microbial growth: Relationship between population density and specific growth rate of continuous culture. *USA. J. General Microbiol.* 21:40-54.
- Deublein, D. and Steinhauser, A. 2008. *Biogas from waste and renewable resources*. Wiley-VCH. Germany. 443 p.
- Ferreira, F. L. A.; Lucas, J. J. and Amaral, L. A. 2003. Partial characterization of the polluting load swine wastewater treated with an integrated biodigestion system. *Brazil. Bio. Technol.* 90:101-108.
- Hashimoto, A. G.; Chen, Y. R. and Varel, V. H. 1981. Theoretical aspects of methane production: state of the art in Livestock Wastes: a renewable resource. *ASAE. St. Joseph, Michigan, USA.* 86-91 pp.
- Hashimoto, A. G. 1984. Methane from swine manure: effect of temperature and influent substrate concentration on kinetic parameter (K). *J. Agric. Wastes*. 9:299-308.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *Climate Change 2001: the scientific basis. contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. In: Houghton, J. T.; Ding, Y.; Griggs, D. J.; Noguer, M.; Van der Linden, P. J.; Dai, X.; Maskell, K. and Johnson, C. A. (Eds.). New York, USA. 881 p.
- IPCC. 2006. *Agriculture, forestry and other land use*. In: *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T. and Tanabe K. (Eds.). Published IGES. Japan. 4:549.
- Koudache, F. and Yala, A. A. 2008. Contribution to the optimisation of biogas digesters with the design of experiments method. *J. Inter. Environ. Appl. Sci.* 3(3):195-200.
- Kunatsa, T.; Madiye, L.; Chikuku, T.; Shonhiwa, C. and Musadamba, D. 2013. Feasibility study of biogas production from water hyacinth a case of Lake Chivero-Harare, Zimbabwe. *Inter. J. Eng. Technol.* 2(3):119-128.
- Lagrange, B. 1979. *Biomethane 2: principes-techniques utilization*. Edisud. La Calade, France. 249 p.
- Lungkhimba, H. M.; Karki, A. B. and Shrestha, J. N. 2010. Biogas production from anaerobic digestion of biodegradable household Wastes. *Nepal. J. Sci. Technol.* 11:167-172.
- depends on the quality of the organic matter, volatile solids, temperature and retention time, and the number of heads in the farm.

*End of the English version*



- Magaña, R. J. L.; Torres, R. E.; Martínez, G. M. T.; Sandoval, J. C. y Hernández, C. R. 2006. Producción de biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabra. *México. Acta Universitaria.* 2(16):27-37.
- Mantilla, G. J. M.; Duque, D. C. A. y Galeano U. C. H. 2007. Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Colombia. Ingeniería e Investigación.* 3(27):133-142.
- Nnaji, J. C. and Ugwu, B. I. 2014. Use of polyethylene tube biodigester for fish production and processing-a review. *Res. J. Chem. Sci.* 11(4):76-79.
- Rivera, D. A.; Méndez, J. F. y Herrera, L. 2008. Estudio de factibilidad para la implementación de una planta generadora de energía eléctrica en la UNAH, utilizando celdas de combustible a base de gas metano. *Honduras. Ciencia y Tecnología.* 3:37-52.
- SEMARNAT-INECC (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2012. In: *México Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. SEPRIM. 1<sup>ra</sup> Edición. D. F., México. 400 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. *Información de la producción de carne de cerdo en canal por entidad Federativa de los años 2004 a 2014*. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario>.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2013. *ACM0010 Large-scale Consolidated Methodology: GHG emission reductions from manure management systems V. 8.0*. 54 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2007. *An analysis of energy production cost from anaerobic digestion systems on U.S. Livestock production facilities*. Technical Note No. 1. Washington, D. C. 27 p.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2004. *Technical and economic feasibility assessment*. In: *a manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States*. Ross, K. F.; Martin, Jr. J. B. and Moser, M. A. (Eds.). Second edition. EPA. USA. Chapter 4.
- Varnero, M. M. T. 2011. *Manual de biogás*. FAO. Santiago, Chile. 120 p.
- Vera, R. I.; Martínez, R. J.; Estrada, J. M. y Ortiz, S. A. 2014. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *México. Ingeniería Investigación y Tecnología.* 3(15):429-436.
- Wang, J. 2014. Decentralized biogas technology of anaerobic digestion and farm ecosystem: opportunities and challenges. *Switzerland. Frontiers in Energy Research.* 10(2):1-12.