

Cosechando combustibles: los cultivos energéticos.

MINTZIRANI EQUIHUA SÁNCHEZ<sup>\*1</sup> & IRVING SAENZ PEDROZA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Doctorado, Unidad de Energía Renovable

<sup>2</sup>Estudiante de Doctorado, Unidad de Recursos Naturales

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY).

Calle 43, No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97200, Mérida, Yucatán, México

\*mintzirani.equihua@cicy.mx

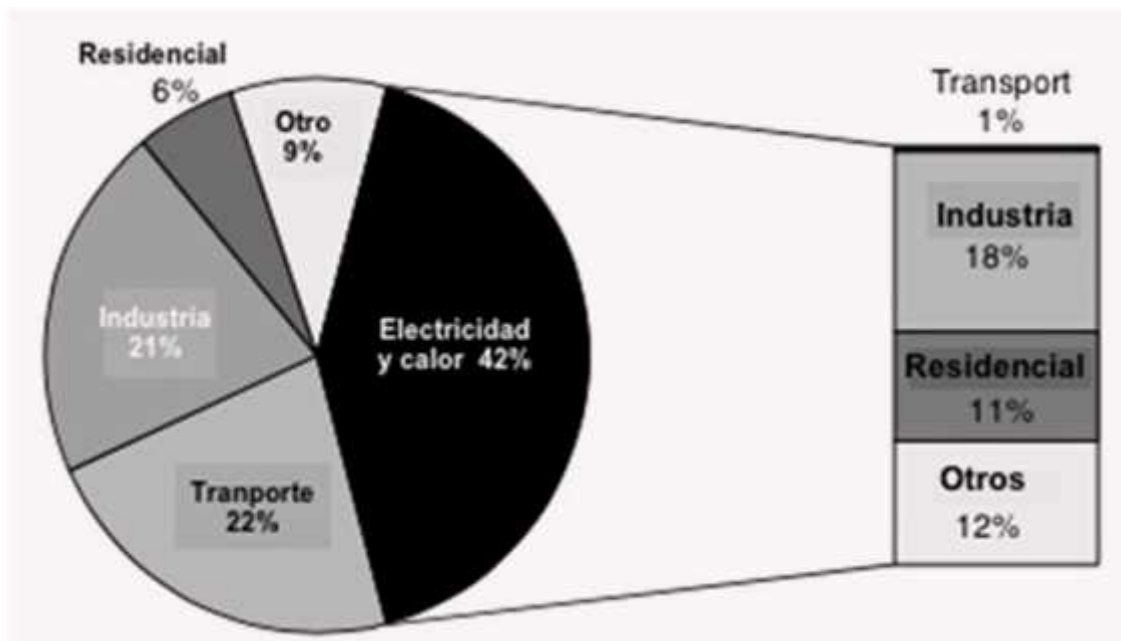
La gran dependencia de los hidrocarburos ha provocado problemas ecológicos y económicos a nivel mundial. Los sectores del transporte y de generación de electricidad son los principales demandantes de este tipo de combustibles, por lo que es necesario adoptar nuevas tecnologías que permitan utilizar fuentes renovables de energía para satisfacer la futura demanda. Se han identificado especies de plantas que por sus características representan una alternativa viable para la generación de biomasa que puede ser utilizada en la producción tanto de electricidad como de biocombustibles; estos son los denominados cultivos energéticos. En un futuro, estos cultivos pueden ayudar a satisfacer la demanda de combustibles y al mismo tiempo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

**Palabras claves:** Cultivos energéticos, biocombustibles, bioenergía, sustentabilidad.

En la actualidad y gracias a la gran cantidad de evidencia científica que lo sustenta, ha venido creciendo en el mundo la preocupación por la diversidad de fenómenos adversos que se presentan influenciados por el cambio climático antropogénico, fenómenos que amenazan con modificar de forma drástica e irreversible el panorama geopolítico mundial, así como la distribución de las especies biológicas y las dinámicas ecológicas predominantes. A esto se viene a sumar la inestabilidad social ocasionada por las fluctuaciones macroeconómicas debido a la volatilidad en los precios del petróleo y los hidrocarburos, recursos cada vez más escasos y difíciles de extraer, pero de los cuales depende el 80% de la demanda primaria de energía a nivel global, lo que deja en claro que estos recursos no serán la opción energética de las próximas generaciones (Palazuelos, 2010). Es necesario adoptar nuevas tecnologías que permitan sostener el desarrollo social incluyente

y respetuoso con el medioambiente, en un afán de transitar hacia una sociedad baja en carbono en un mundo sustentable.

Los países desarrollados y muchos de los países en vías de desarrollo están adoptando medidas que les permitan transitar hacia una economía “verde”, menos intensiva en carbono. Una de estas estrategias es la investigación en fuentes renovables de energía, que permitan garantizar la soberanía y seguridad energética de una nación y a la vez, ayuden a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Entre las distintas fuentes renovables de energía, una opción a considerar es la biomasa, la cual contiene la energía química almacenada por acción de la fotosíntesis, y que después puede ser liberada directamente por combustión en forma de calor o por medio de derivados energéticos como biocombustibles sólidos (pellets de biomasa), líquidos (biodiesel, bioetanol, bioturbosina) y gaseosos (biometano, biohidrógeno) (Oecko



**Figura 1.** Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por sector en 2011. Tomado con modificaciones de International Energy Agency (2013).

e IFEU, 2009), y que a diferencia de otras fuentes de energía como la solar o la eólica, tiene la particularidad de poder ser fácilmente almacenada y no ser intermitente, es la llamada bioenergía.

A nivel mundial, la generación de electricidad y el transporte, son los dos sectores que más energía demandan, por lo tanto, son responsables de la mayoría de las emisiones de GEI a la atmósfera (**Figura 1**), y la bioenergía puede ser una alternativa viable para ambos. Por ser un sector estratégico para el intercambio de bienes y servicios básicos para la humanidad, se espera que el transporte incremente a la par que crece la población. Este sector en 2015 consumirá un estimado de energía equivalente a 119.9 miles de billones de Btu y para el 2035 se espera que aumente hasta 142.1 miles de billones de Btu (International Energy Agency, 2011). Para transitar hacia un modelo energético menos contaminante se debe de buscar satisfacer esta futura demanda utilizando combustibles de transición, alternativas no fósiles como lo son los biocombusti-

bles, pero que sin embargo, sean producidos de tal forma que no se vulnere la seguridad alimentaria y con estricto apego a los principios de sustentabilidad. Será necesaria una fuente constante de biomasa que permita la producción continua y creciente de biocombustibles, que asegure la viabilidad técnica y económica de proyectos a gran escala, y que permita producir biocombustibles con balances energéticos netos positivos. Con esta visión, la búsqueda de fuentes de biomasa se ha intensificado, siendo los residuos lignocelulósicos (agrícolas, forestales, agroindustriales) los principales candidatos para ser usados en este fin.

El problema, es que estas fuentes de biomasa solo pueden satisfacer una parte de la demanda de materia prima necesaria para cubrir las necesidades de producción actual y futura de biocombustibles. Por eso, se han identificado una nueva clase de cultivos a los cuales se les han denominado “cultivos energéticos”. Estas plantas por sus características físicas, químicas y agronómicas, así como por su

alta bioproductividad, son idóneas para ser usadas como generadoras de biomasa y posteriormente de energía en alguna de sus formas. Este tipo de cultivos pueden ser utilizados directamente para la generación de electricidad, biocombustibles líquidos, sólidos y gaseosos (Sims *et al.*, 2006), así también para la producción de precursores químicos, sentando la base de la llamada bioeconomía.

Para que un cultivo pueda ser denominado como cultivo energético debe cumplir con ciertas condiciones generales:

- **Adaptación:** los cultivos deben ser adaptables para ser cultivados en tierras no aptas para la producción de alimentos y en áreas geográficas diversas.
- **Alta eficiencia:** los rendimientos de biomasa deben ser lo suficientemente altos para ser rentable y además el cultivo debe ser capaz de utilizar los nutrientes y recursos de manera eficiente. Un cultivo energético no debe ser altamente demandante de agua ya que entra en competencia de recursos con los cultivos alimenticios.
- **Costos de producción bajos:** los costos asociados a la producción del cultivo deben ser competitivos comparados con los costos presentados por las fuentes de energía convencional.
- **Balance energético positivo:** la energía que se extraiga del cultivo debe ser mayor a la utilizada para la propia producción de éste, además debe poder mejorar el balance medioambiental en relación a los cultivos tradicionales.
- **Naturaleza adecuada:** el cultivo debe ser el indicado para ser usado como materia prima en un proceso de producción de bioenergía en alguna de sus formas.

Al aplicar dichas restricciones de forma estricta, los cultivos energéticos se presentan como una gran oportunidad

para generar nuevas cadenas de valor, abrir nuevos mercados e incentivar el desarrollo en el sector rural.

Algunos ejemplos de cultivos energéticos son:

**Sorgo dulce** (*Sorghum bicolor* L.), una hierba de la familia Poaceae que se utiliza principalmente para la generación de carbohidratos (**Figura 2A**). Es un cultivo que ha sido ampliamente reconocido como una fuente potencial de materia prima para la producción de biocombustibles y en específico de bioetanol, debido a una alta acumulación de azúcares totales en el jugo como la sacarosa, la glucosa y la fructosa (Delserone, 2007), y también, una alta capacidad de generación de biomasa lignocelulósica en forma de bagazo. Tanto los azúcares del jugo como los carbohidratos estructurales del bagazo, pueden ser convertidos a etanol mediante fermentación (Almodares *et al.*, 2009), y ser usado como combustible sustituto de la gasolina.

**Jatrofa o piñon** (*Jatropha curcas* L.), un arbusto o árbol pequeño perteneciente a la familia Euphorbiaceae, cuyo principal uso es la generación de lípidos (aceites) (**Figura 2B**). Esta especie es nativa del trópico americano, pero ha sido propagada a zonas tropicales de otros continentes (África y Asia) ya que tiene distintos usos y propiedades. Esta planta puede ser usada como un cultivo comercial debido al gran potencial de sus semillas para producir aceite (Openshaw, 2000). El aceite de *Jatropha* es fácilmente extraíble y puede ser usado para la producción de combustibles como el biodiesel y la bioturbosina por procesos como la transesterificación o el craqueo catalítica (Becker *et al.* 2008). Además, los residuos de la extracción de aceite son ricos en N y pueden ser usados como fertilizante (Abou Kheiraa y Attab, 2009).



**Figura 2.** Ejemplos de cultivos energéticos. **A.** Sorgo dulce (*Sorghum bicolor*). **B.** Jatrofa o piñon (*Jatropha curcas*). **C.** Pasto varilla (*Panicum virgatum*). Fotografías: **A.** Mintzirani Equihua. **B.** SAGARPA, tomada de [http://www.sagarpa.gob.mx/-saladeprensa/Banco/Jatropha/jatropha\\_2.jpg](http://www.sagarpa.gob.mx/-saladeprensa/Banco/Jatropha/jatropha_2.jpg). **C.** Foto: Cornell University, tomada de <http://www.sustainablecampus.cornell.edu/blogs/news/posts/researchers-survey-how-green-grows-your-switchgrass>.

**Pasto varilla** (*Panicum virgatum* L.) una hierba perenne de la familia Poaceae que puede ser utilizada para la generación de biomasa lignocelulósica de rápido crecimiento (**Figura 2C**). La especie presenta una amplia distribución en distintos ecosistemas, desde Canadá hasta Centroamérica (Zhang y Maun, 1991). El pasto varilla es elegido como cultivo energético por ser altamente productivo, poseer una gran capacidad de adaptación, presentar bajos requerimientos hídricos y nutricionales, así como beneficios ecológicos y ambientales (Sanderson *et al.* 1996). La biomasa generada por esta especie puede ser utilizada en la producción de bioetanol lignocelulósico, el cual, a diferencia del producido a partir de azúca-

res simples, requiere de un proceso más complejo de transformación. Es necesario llevar a cabo la deconstrucción de la estructura primaria de la biomasa, para poder recuperar los carbohidratos que componen a la celulosa y la hemicelulosa (hexosas y pentosas), que posteriormente serán convertidos a etanol mediante fermentación.

Cada vez existe una mayor cantidad de plantas que están siendo investigadas con este propósito, sin embargo, al ser cultivos cuya domesticación va iniciando, aún se desconocen cuestiones básicas sobre su biología. Dicho desconocimiento impide que en este momento se cuente con paquetes agrotecnológicos sólidos que aseguren el éxito de las plantaciones, y mu-



chas veces el manejo de los cultivos se realiza de manera empírica, lo que ha llevado a la obtención de resultados deficientes y no se cumplan las expectativas de productividad.

Actualmente se está llevando a cabo el estudio sistemático de la fisiología de las plantas, lo que permitirá identificar las condiciones climáticas idóneas para su cultivo y reconocer sus límites de tolerancia. Por otra parte, mediante estudios ecológicos, se podrá analizar el impacto ambiental que pueden tener estos cultivos en el entorno, al concretar su propagación a gran escala; estudiar el daño potencial de organismos patógenos, así como sus posibilidades de control; además de examinar la interacción de los cultivos con las especies nativas de cada región.

Hoy por hoy, son pocos los lugares en el mundo donde se está llevando a cabo el cultivo sistemático y masificado de este tipo de plantas, y aún menos, los que cumplen con todas las exigencias que los reconocerían como sustentables. Gran parte de las plantaciones de este tipo de cultivos se encuentran en zonas que no corresponden a la distribución natural de la especie, es decir en condiciones bióticas y abióticas anómalas. Bajo dichas condiciones, los cultivos son capaces de crecer y sobrevivir, ya que al ser un monocultivo se limita o anula la competencia por recursos con otras especies. Sin embargo, la productividad del cultivo puede reducirse, por lo que se hace necesaria la influencia humana para modificar el microambiente y equiparlo con las condiciones que la especie requiere para ser altamente productiva, esto incluye la aplicación de riego, la adición de fertilizantes y de ser necesario el control de organismos patógenos, aunque dichas acciones incrementarían los costos de producción y reducirían las ganancias energéticas.

El éxito de los cultivos energéticos dependerá en gran medida, de cómo logre

implementarlos cada país, es necesario el uso de estrategias inteligentes donde se busque obtener el máximo de beneficios, ambientales, sociales y económicos, ya que se trata de usar los recursos disponibles de forma local para resolver problemas con una mira global. Es claro que el cambio climático ha puesto en evidencia las grandes problemáticas a las que se enfrenta la humanidad en este siglo, así como también, su capacidad de respuesta, de adaptación, de mitigación, y su alta vulnerabilidad; en un mundo de población creciente y de recursos limitados, los paradigmas están obligados a cambiar, dando lugar a nuevos modelos de pensamiento más consiente y avanzado donde los debates energéticos como “alimentos ó energía” se convierten en “alimentos y energía”, lo que obliga a hacer sinergia para resolver ambas cuestiones y no una sobre otra, ya que en el mundo moderno, los dos están íntimamente ligados. Solo así, y con la ayuda de todo el abanico de tecnologías disponibles para el aprovechamiento de los flujos renovables y no de los reservorios de energía, será posible transitar hacia una sociedad baja en carbono, objetivo necesario para mantener al planeta a temperaturas apropiadas. La transición energética se vuelve entonces, una de las principales herramientas para lograr este objetivo, y los cultivos energéticos, una oportunidad importante (remarco –no la única–) para generar combustibles más limpios y amigables con el medioambiente, que esperemos, que en un futuro no muy lejano, sean parte esencial de la matriz energética de todo el mundo.

## Referencias

Abou Kheiraa A. A. y N.M.M. Attab.  
2009. Response of *Jatropha curcas* L.

- to water deficits: Yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy* 33: 1343–1350.
- Almodares A. y M. Hadi. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research* 4: 772–780.
- Becker K. y H.P.S. Makkar. 2008. *Jatropha curcas*: A potential source for tomorrow's oil and biodiesel. *Lipid Technology* 20(5): 104–107.
- Delserone L.M. 2007. Sorghum. *Journal of Agricultural & Food Information*. 8(1): 9–14.
- International Energy Agency. 2011. International Energy Outlook 2011. Energy Information Administration, Washington, DC: U.S.
- International Energy Agency y Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (IEA/OCDE). 2013. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion *Highlights*. International Energy Agency Eds., Paris: Francia.
- Oecko Institut & Institute for Energy y Environment Research Heidelberg (Oecko/IFEU). 2009. Sustainable Bioenergy: Current Status and Outlook. The Federal Environment Agency.
- Openshaw K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy* 19: 1–15.
- Palazuelos E. 2010. The role of transnational companies as oil suppliers to the United States. *Energy Policy* 38 (8): 4064–4075.
- Sanderson M. A., R.L. Reed, S.B. McLaughlin, S.D. Wullschleger, B.V. Conger, D. J. Parrish, D.D. Wolf, C. Taliaferro, A. A. Hopkins, W. R. Ocumpaugh, M.A. Hussey, J.C. Read y C.R. Tischler. 1996. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Biore-source Technology* 56: 83–93.
- Sims R.E.H., A. Hastings, B. Schlamadinger, G. Taylor y P. Smith. 2006. Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biology* 12(11): 2054–2076.
- Zhang j. y M.A. Maun. 1991. Establishment and Growth of *Panicum virgatum* L. Seedlings on a Lake Erie Sand Dune. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 118 (2): 141–153.

**Desde el Herbario CICY, 7: 141–146 (24-Septiembre-2015)**, es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 232, [www.cicy.mx/Sitios/Desde\\_Herbario/](http://www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/), [webmas@cicy.mx](mailto:webmas@cicy.mx). Editor responsable: Ivón Mercedes Ramírez Morillo. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2014-082714011600-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 24 de septiembre de 2015. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación.