

Ra Ximhai

Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo
Sustentable

Ra Ximhai
Universidad Autónoma Indígena de México
ISSN: 1665-0441
México

2012

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y BIOETANOL:

¿UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE A LA CRISIS ENERGÉTICA?

Claudia Castro-Martínez; Laura Ivonne Beltrán-Arredondo y Juan Carlos Ortiz-Ojeda

Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3

Universidad Autónoma Indígena de México

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 93-100.



e-revist@s

PRODUCCIÓN DE BIODIESEL Y BIOETANOL: ¿UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE A LA CRISIS ENERGÉTICA?

BIODIESEL AND BIOETHANOL PRODUCTION: A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR THE ENERGY CRISIS?

Claudia Castro-Martínez; Laura Ivonne Beltrán-Arredondo; Juan Carlos Ortiz-Ojeda

Profesor-Investigador. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250. Col. San Joachin, C. P. 81101, Guasave, Sinaloa. Teléfono: +(52) 687-872-9626, extensión IPN 87661. Fax: +(52) 687-872-9625. claudiacm30@hotmail.com

RESUMEN

La presente contribución pretende dar una visión general de la situación energética actual y sugerir algunas alternativas sustentables de energía. En primer lugar, se muestra una breve historia sobre las materias primas utilizadas para la producción de energía a través del tiempo, teniendo una alta dependencia de combustibles fósiles, ya que ha sido estimado que más del 90% de la energía consumida proviene de recursos no renovables como el petróleo, gas y carbón. También se menciona que el petróleo es sin duda la principal fuente de energía utilizada en la actualidad y por ende sus reservas se agotan inevitablemente. Además de ocasionar y aumentar los problemas de contaminación ambiental. Posteriormente, se sugiere que para lograr la sustentabilidad energética es necesario el desarrollo de fuentes alternativas que puedan reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que son tóxicos, así como también disminución en el uso de agua y disminución en los costos de producción de energía. Una de las alternativas que se proponen es la producción de biocombustibles como son: biodiesel y bioetanol, se citan principales características de ellos a nivel de materias primas utilizadas y sistemas de producción. Finalmente, se sugieren algunas soluciones que están siendo desarrolladas a nivel mundial para hacer frente a esta actual situación energética.

Palabras clave: Sustentabilidad energética, biocombustibles, biodiesel, bioetanol.

ABSTRACT

The present contribution intends to give an overview of the current status of the energy crisis and suggest some sustainable alternatives for energy production. In first place, a brief summary of the history about resources for energy production is presented. The high dependency of fossil combustibles it is well known and has been estimated that more than 90% of the used energy comes from non-renewable resources such as oil, gas and carbon. In the same way, here, it is described that oil is, by far, the main source of energy used to date and as a consequence, this resource is, unavoidably, coming to an end and at the same time is causing and increasing environmental pollution problems. Later in this work, it is suggested that in order to achieve the energetic sustainability, the development of alternative sources that will allow the reduction of toxic greenhouse gas (GHG) emissions as well as a decrease of water usage along with a decrease in the energy production costs are needed. One of the alternatives that have been proposed is the production of biofuels, such as biodiesel and bioethanol. Here, some of the main properties at the level of the employed raw materials and production systems are cited. Finally, this work suggests some solutions that are under development worldwide in order to face this current energy situation.

Key words: Sustainability energy, biofuels, biodiesel, bioethanol.

INTRODUCCIÓN

Energía

La energía desempeña un rol importante en el desarrollo humano, económico y en el bienestar de las sociedades, ya que es el motor de todas las actividades que realiza el hombre. Sin energía no habría vida y desarrollo.

La fuente principal de energía se encuentra en el sol, que nos proporciona luz y calor. El resto se encuentra en la atmósfera, sobre la superficie terrestre o en el interior del planeta. Esta energía puede ser renovable y no renovable, dentro de esta última, encontramos a los combustibles fósiles, tales como: el petróleo, carbón mineral y el gas natural, los cuales son recursos limitados.

A lo largo de la historia, la humanidad ha utilizado una variedad de recursos energéticos. Quizás el momento más decisivo fue el descubrimiento del fuego, que gracias a él, se comenzó a ser capaz de controlar y modificar muchos procesos que hasta el momento dependían únicamente de la naturaleza. Fue entonces, que la energía ha sido un elemento indispensable en la satisfacción de las necesidades cotidianas en todas las formas de organización social.

A través de los años el sistema energético mundial ha pasado por dos transiciones energéticas importantes: la primera de ellas determinó la conversión de recursos energéticos fósiles en trabajo mecánico, gracias al descubrimiento y uso de la máquina de vapor y la segunda se caracterizó por el descubrimiento de la electricidad y del perfeccionamiento del motor de combustión interna. Sin embargo, junto con esto se dio una creciente dependencia del petróleo como el energético primario que cubriría las necesidades cada vez mayores de combustibles para la generación de electricidad y para transporte.

Hoy en día vivimos en una época de constantes cambios, de generar y construir un sinfín de herramientas y desarrollos tecnológicos con el fin de tener una mejor calidad de vida. Por lo tanto, cada vez es mayor la cantidad de recursos energéticos que necesitamos y por ende existe un uso desmedido de las materias primas que nos proporcionan energía, como lo es principalmente el petróleo.

Petróleo

El petróleo es una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuestos químicos que contienen hidrógeno y carbono, que se forma naturalmente en yacimientos subterráneos de roca sedimentaria. Este hidrocarburo es sin duda la principal fuente de energía utilizada en la actualidad. Se consume principalmente en sectores tales como:

1. Industrial
2. Residencial, comercial y público
3. Transporte
4. Agropecuario

A nivel nacional el consumo energético total en 2009 fue de 4568.07 PJ, del cual el sector transporte consumió 49.0% (Fig. 1A), siendo el mayor consumidor de energía en México (SENER, 2010). Al analizar por combustible se observa que la demanda de gasolina influyó de forma importante en el comportamiento del consumo final energético al representar el 32.8% de la energía. El diesel por su parte, representó el 16% del consumo energético, seguido de la electricidad con el 14.4%. El consumo de biomasa representó el 7.6% del consumo final energético (Fig. 1B). Este escenario nos indica que es de suma importancia buscar materias primas alternativas al petróleo para la producción de combustibles.

Por otro lado, es importante mencionar que la actual era del petróleo que vivimos, además de obtener beneficios de él, ha ocasionado numerosas problemas sociales, económicos y políticos, tales como: división entre países vendedores y compradores, vulnerabilidad respecto a las fluctuaciones de los precios en el mercado petrolero internacional, es un recurso no renovable, dependencia casi total que el sector transporte aún mantiene respecto al petróleo, y finalmente los problemas hacia el ambiente y la salud humana, generando emisiones masivas de gases tóxicos (CO₂, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafloruro de azufre) a la atmósfera, ocasionando un cambio climático al planeta, esto debido a que el CO₂ es un gas de efecto invernadero.

Por lo anterior, surge la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía, de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, es decir, de visualizar una transición energética hacia otras formas de energía renovables, considerando aspectos ambientales, oportunidades económicas, el desarrollo científico y tecnológico, la industrialización de nuevas tecnologías, el aprovechamiento de recursos naturales y la seguridad energética.

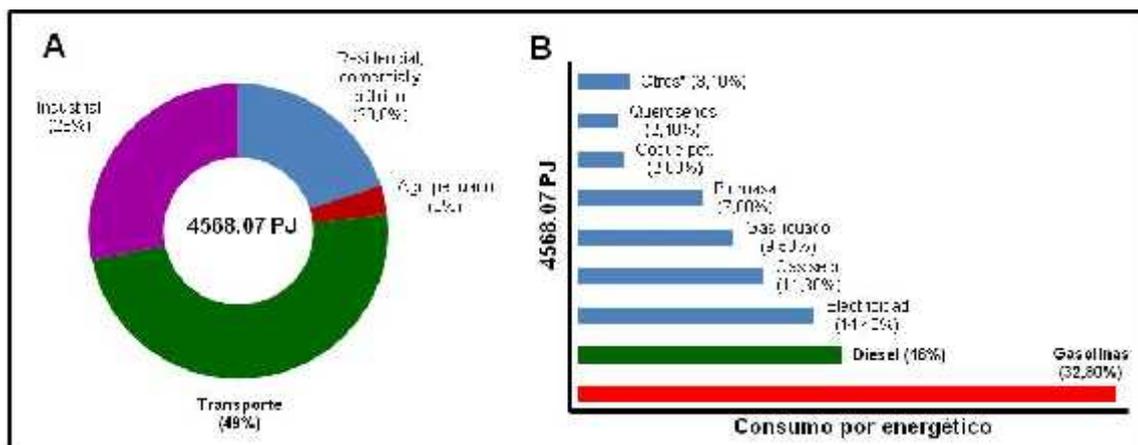


Figura 1. Consumo final energético 2009: A) por sector, B) por tipo energético (SENER, 2010).

Energía sostenible o sustentable

La Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, establecida por las Naciones Unidas en 1983, definió al desarrollo sustentable como: “*el desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones, tomando en cuenta los aspectos sociales, económicos y ecológicos*” (www.un.org). Este concepto fue conocido mundialmente en el informe “Nuestro Futuro Común”, publicado en 1987 con motivo de la preparación para la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil en 1992. El significado de esto implica un desarrollo basado en términos cuantitativos a un tipo cualitativo, estableciendo fuertes vinculaciones entre aspectos económicos, sociales y ambientales de manera equitativa, sin perjudicar alguno de ellos.

La sustentabilidad energética es precisamente la producción y consumo de energía, de tal forma que soporte el desarrollo humano en sus tres dimensiones: social, económica y medio ambiental.

Diversas organizaciones en el mundo que han examinado la sustentabilidad del sistema energético actual y mantienen una opinión general: “**hoy en día el sistema energético es insostenible**”. Es decir, el modelo energético está condicionado por tres factores: 1) la disponibilidad de recursos para hacer frente a la demanda de energía, 2) el impacto ambiental ocasionado por los medios utilizados para su suministro y consumo, y 3) la gran falta de equidad en el acceso a este elemento imprescindible para el desarrollo humano. Actualmente estos factores no se cumplen, sino todo lo contrario.

En lo que se refiere a disponibilidad de recursos se predice que “*atendiendo a las condicionantes geológicas, dentro de 50 años prácticamente ya no habrá petróleo, ni gas y/o si los hay su extracción será muy costosa, sin punto de comparación con los precios actuales, es decir, existen cantidades limitadas de este recurso y no hacemos más que agotarlas*” (documento emitido por la Comisión Europea: “Energía: controlemos nuestra dependencia”).

Por su parte, el impacto ambiental se refiere al uso desmedido del petróleo, que ocasiona la emisión de sustancias y gases contaminantes a la atmósfera (gases de efecto invernadero, GEI), de tal forma que propicia el cambio climático. Así como también, contaminación en ríos, mares y lagos, dañando la fauna y vegetación. Se ha informado que el sector energético contribuye con aproximadamente el 80% de las emisiones de GEI en el mundo (AIE, 2010).

Finalmente, el primer problema de la sustentabilidad energética es la falta de equidad, es decir, un tercio de la población mundial no tiene acceso a la energía comercial y a los servicios que proporciona: iluminación, cocinado de alimentos, calefacción y refrigeración, telecomunicaciones y energía mecánica, entre otros. Como resultado de esto, se consumen los combustibles tradicionales a una velocidad superior a la regeneración natural, lo cual degrada la tierra.

Tomando como base la problemática actual sobre el desconocimiento de la población de la situación energética mundial y reconociendo la importancia de la energía para el desarrollo sostenible, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el año 2012 “*Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos*”, el cual ofrece una gran oportunidad para tomar conciencia sobre la importancia de incrementar el acceso sostenible a la energía, la eficiencia energética y la energía renovable en el ámbito local, nacional, regional e internacional, asegurando el desarrollo sostenible y la protección del clima mundial.

Con esto se reafirma el apoyo a la aplicación de políticas y estrategias nacionales que combinen un mayor uso de fuentes de energía nuevas y renovables, así como tecnologías de bajas emisiones, un uso más eficiente de la energía, un mayor uso de tecnologías avanzadas y menos contaminantes para el aprovechamiento de los combustibles fósiles, y el uso sostenible de recursos energéticos tradicionales, así como tener un mayor acceso a servicios energéticos modernos, fiables, asequibles y sostenibles, y una mayor capacidad nacional para atender a la creciente demanda de energía.

Algunas alternativas de producción de energía: Biocombustibles líquidos

Asumiendo los principios de la sustentabilidad energética, en la actualidad se están realizando grandes y diversos proyectos alrededor del mundo para la producción de bioenergía, es decir, a partir de fuentes renovables, por ejemplo: de la materia constitutiva de los seres, sus excretas y sus restos no vivos (biomasa). Algunas de las ventajas que presenta este tipo de energía son: es almacenable, permite satisfacer la mayor parte de los usuarios finales (por ser renovable), es ubicua, es escalable y es comercialmente madura. Además, los biocombustibles podrían idealmente tener ventajas sobre los combustibles fósiles con respecto a sus bajos costos y alto contenido energético, así como también podrían tener una ganancia de energía neta, ya que se obtendrían beneficios ambientales y pueden ser reproducibles en grandes cantidades sin impactar el suministro de alimentos (Hill *et al.*, 2006).

Uno de los productos que son obtenidos a partir de la biomasa son los biocombustibles, éstos pueden ser sólidos, por ejemplo: carbón de leña y maderas; o líquidos, como es el caso del bioetanol, biodiesel y aceites de la pirólisis; o gaseoso, como el biogás (metano).

Solamente el biodiesel y el bioetanol son actualmente producidos como combustibles a escala industrial: una breve historia de su uso y producción se muestra en Antoni *et al.*, (2007); Goldemberg y Guardabassi, (2009). Por lo anterior, en esta revisión se detallará la situación actual de los dos biocombustibles líquidos más utilizados en los últimos años: biodiesel y bioetanol.

Diversos investigadores mencionan que la producción de biocombustibles líquidos es una necesidad mundial y estiman que el uso del petróleo está limitado a 40-50 años (Khanna *et al.*, 2011; Craig y Sehlke, 2012).

Biodiesel

El biodiesel es una de las fuentes de energía alternativas potenciales que cumplen con criterios de sustentabilidad o sostenibilidad, ya que es renovable y producido a partir de los recursos nacionales con un menor impacto ambiental, además de ser biodegradable y no tóxico (Demirbas, 2008). Es un biocombustible líquido propuesto como alternativa para la sustitución o disminución del uso de diesel tradicional de petróleo (fósil). Químicamente, el biodiesel es un mono alquil éster (metil o etil éster) de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y grasas animales. Durante esta reacción consecutiva y reversible: un mol de acilglicerol actúa con un mol de alcohol y un mol de éster es formado en cada etapa en ausencia o presencia de un catalizador. La alcoholisis de un aceite vegetal puede ser catalizada química o enzimáticamente. La catálisis química (básica y ácida) puede ser homogénea o heterogénea, mientras que en la catálisis enzimática se utiliza comúnmente una enzima llamada lipasa (Bankovic-Ilic *et al.*, 2012).

El biodiesel tiene el potencial para reducir emisiones de gases contaminantes generados en el sector transporte, el cual es el mayor usuario de combustibles fósiles líquidos. El uso del biodiesel también reduce las partículas tóxicas liberadas a la atmósfera como resultado de la quema de combustibles, puede proveer de tal forma beneficios a la salud humana (Pawar *et al.*, 2011).

Diversos métodos de producción han sido utilizados, entre los que podemos citar: mezclado/dilución, microemulsificación, craqueo térmico, esterificación y transesterificación. Hoy en día, el biodiesel es comercialmente producido por transesterificación a partir de aceites vegetales con alcohol. Los alcoholes más comúnmente utilizados son metanol o etanol, estos pueden ser producidos a partir de fuentes de energía renovable (Nabi *et al.*, 2006; Salvi y Panwar, 2012).

Este biocombustible podría ser usado en motores de combustión interna convencional, con pequeñas o sin modificación en motores actuales (Gerpen, 2005; Canaki, 2007). También se podría emplear como combustible puro o mezclado con petrodiesel, siendo estable en cualquier proporción. Además, con la producción de biodiesel se espera fomentar el empleo y el desarrollo económico en las zonas rurales, reduciendo de esta forma la dependencia nacional sobre la importación de petróleo y aumentando la seguridad del abastecimiento energético (Moser, 2009).

Por otro lado, aunque el biodiesel tiene muchas ventajas sobre el petrodiesel, los altos precios de producción son una barrera para su comercialización. Zhang *et al.* (2003) muestran que el precio de biodiesel es alrededor de 0.5 US\$/L, comparado con 0.35US\$/L para el diesel de petróleo. Los precios del biodiesel dependen principalmente de los costos de las materias primas utilizados para su producción, siendo este precio entre el 70-95% del costo total de biodiesel (Balat, 2011, Fan y Burton, 2009; Gui *et al.*, 2008, Leung *et al.*, 2010). El uso de aceites no comestibles y de bajo costo podría ser una opción para mejorar la economía de la producción de biodiesel y su producción comercial a escala industrial. Debido a diferentes condiciones climatológicas, varios países han localizado varios tipos de aceites vegetales no comestibles para su posible uso en la producción de biodiesel (Salvi y Panwar, 2012). En este sentido, en el mundo han sido identificadas alrededor de 350 plantas oleaginosas que pueden ser candidatas a investigación para la posible producción de biodiesel.

Bioetanol

El bioetanol, también conocido como etanol o alcohol etílico, ha sido ampliamente utilizado como combustible o como potenciador de gasolina, este es completamente renovable en la naturaleza, ya que al quemarlo, el bióxido de carbono que libera es reciclado y retorna a las plantas debido a que estas usan el bióxido de carbono durante la fotosíntesis para la producción de biomasa, además el uso del bioetanol como potenciador de los combustibles fósiles presenta algunas ventajas como una mejor oxidación de los hidrocarburos de la gasolina y la consecuente reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (alrededor de un 12%) (Chandel y Singh, 2011).

En muchos países la producción y uso de bioetanol como combustible data desde la década de 1980's y actualmente existen en países como Brasil y Estados Unidos tecnologías rentables y probadas comercialmente, tanto en la producción a nivel industrial, como en el uso de este biocombustible. Sin embargo estos países producen bioetanol a partir de materias primas utilizadas en alimentación, como la caña de azúcar y granos de maíz (Howard *et al.*, 2003).

Debido a los conflictos que puede generar el uso de cultivos para alimento humano en la producción de biocombustibles, en los últimos años ha surgido la alternativa de producir bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica, siendo esta la fuente orgánica de energía renovable más abundante en la tierra (alrededor de 200 billones de toneladas/año) y están disponibles para la conversión de etanol y otros productos de valor agregado (Himmel *et al.*, 2007).

Existe una amplia variedad de biomasa disponible en las biorefinerías para la producción de bioetanol. Los principales monocultivos utilizados crecen en suelos fértiles (azúcar de caña, maíz,

soya, oleaginosas) (Farrel *et al.*, 2006), desechos de biomasa (residuos agrícolas) (Kim y Dale, 2004), y desechos municipales (desechos de papel y periódico) (Blanch, 2011).

Los principales componentes de la biomasa vegetal son celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales se encuentran en la pared celular de las plantas como una mezcla compleja de polisacáridos, pectina y lignina (Simmons *et al.*, 2008). Dentro de estos la celulosa es el polisacárido más abundante, que está formado por una cadena lineal de residuos de glucosa y es el principal componente estructural de las plantas. La degradación de la biomasa lignocelulósica es llevada a cabo por una gran cantidad de microorganismos, que poseen enzimas que son capaces de producir azúcares fermentables que podrán ser utilizados en la producción de bioetanol (Lynd *et al.*, 2002; Rubin, 2008).

Debido a la extensa distribución de la materia lignocelulósica, existen una gran variedad de microorganismos que poseen enzimas capaces de hidrolizarla. Estos crecen en varios ambientes y en diferentes condiciones de oxígeno, temperatura, salinidad, entre otras. Los materiales lignocelulósicos poseen un enorme potencial industrial, debido a su bajo costo y abundancia, es por ello que en las últimas años se ha incrementado el estudio de microorganismos que puedan degradar estos materiales (González *et al.*, 2005).

La producción de bioetanol lignocelulósico se lleva a cabo en varias etapas, es necesario, una vez recolectados los desechos vegetales, aplicar un pretratamiento de estos desechos para romper la estructura de la matriz lignocelulósica, ya sea físico, químico o térmico, posteriormente se realiza una hidrólisis enzimática, llevada a cabo por una mezcla de enzimas celulolíticas. Posteriormente, la fermentación de los azúcares en etanol mediante cepas de levaduras que metabolizan la glucosa al etanol. Como etapa final esta la destilación-rectificación-deshidratación, que es la separación y purificación de etanol a las especificaciones del combustible (Howard *et al.*, 2003; Rubin, 2008).

El futuro de la materia lignocelulósica está ligado a mejoramiento de la biomasa de las plantas, ingeniería metabólica para la producción de bioetanol y microorganismos productores de enzimas celulolíticas, así como la mejora de la infraestructura tecnológica para la producción del biocombustible a nivel industrial (Chandel y Singh, 2011).

Soluciones para un mejor futuro energético

Sistemas de energía renovable podrían ser una solución viable para resolver los problemas de insuficiencia de combustibles fósiles, garantizando seguridad energética en muchos países, sin causar daños ambientales. Existen varias razones para el interés, estudio y producción de los biocombustibles, entre los que podemos citar (Russo *et al.*, 2012):

1. Mitigan el cambio climático y reducen la dependencia en las importaciones de energía,
2. La producción de energía renovable puede sustituir o disminuir el uso de los combustibles fósiles tradicionales (Walker, 2009).
3. Reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), compromiso a nivel mundial para la producción de algún tipo de energía.
4. El desarrollo de los recursos locales: apoyo a las empresas y pequeños productores, generando bienestar y valor agregado.
5. Importante ahorro en los costos de transporte (Tao y Aden, 2009).

El panorama global sobre los biocombustibles para los próximos años dependerá de un número interrelacionado de factores, incluyendo el precio futuro del petróleo, la disponibilidad de materias primas baratas, la continuidad de políticas públicas que alienten al sector, los cambios tecnológicos que podrían reducir el costo de biocombustibles de segunda generación (celulosa y microalgas), y la competencia de los combustibles fósiles no convencionales. Por el lado de la demanda, en varios países existe un importante y progresivo impulso derivado de regulaciones que actualmente están vigentes.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Como hemos visto, aún nos encontramos en la era del petróleo. No obstante, algunos expertos en el área de energía sostienen que el mundo se encamina hacia una crisis energética global. Se postula que por razones sociales, económicas y medio ambientales es necesaria una nueva transición energética, lo que conlleva cambios radicales, primero es necesario concientizar, generar, construir y aplicar los conocimientos y estrategias establecidas. Para lograrlo, es necesario realizar grandes esfuerzos con la finalidad de aumentar la eficiencia de su uso final, lograr ahorros de energía primaria, desarrollar una base de datos con amplios sustitutos de los combustibles fósiles, así como tecnologías de producción y uso final. Además, propiciar e impulsar la descentralización de los sistemas energéticos.

LITERATURA CITADA

- AIE, 2010. **World Energy Outlook 2010**. International Energy Agency (OECD/IEA). 219-252.
- Antoni, D., Zverlov, V.V., Schwarz, W.H. 2007. **Biofuels from microbes**. Applied Microbiology and Biotechnology. 77:23-35.
- Balat, M. 2011. **Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – a review**. Energy Convers Manage. 52:1479-1492.
- Bankovic-Ilic, I.B., Stamekovic, O.S. y Veljkovic, V.B. 2012. **Biodiesel production from non edible plant oils**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: 3621-3647.
- Blanch, H.W. 2011. **Bioprocessing for biofuels**. Current Opinion in Biotechnology. 23: 1-6.
- Canaki, M. 2007. **The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks**. Bioresources Technology. 98:183-190.
- Chandel, A.K. y Singh, O.V. 2011. **Weedy lignocellulosic feedstock and microbial metabolic engineering: advancing the generation of “Biofuel”**. App Microbiol Biotechnol. 89: 1289-1303.
- Craig, D.C. y Sehlke, G. 2012. **Sustainability and energy development: influences of greenhouse gas emission reduction options on water use in energy production**. Environmental Science and Technology. 46: 3509-3518.
- Dermibas, D.A. 2008. **Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections**. Energy Conversion and Management. 49: 2106-2116.
- Fan, X. y Burton, R. 2009. **Recent development of biodiesel feedstocks and the applications of glycerol: a review**. Open Fuel Energy Science. 2: 100-109.
- Farrel, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O’Hare, M. y Kammen, D.M. 2006. **Ethanol can contribute to energy and environmental goals**. Science. 311: 506-508.
- Gerpen, J.V. 2005. **Biodiesel processing and production**. Fuel Process and Technology. 86: 1097-1107.
- Goldemberg, J. y Guardabassi, P. 2009. **Are biofuels a feasible option?**. Energy Policy. 37: 10-14.
- González, Y., González, O., Bungaray, J. 2005. **Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos**. E-Gnosis.3. Art. 14: 1-18.
- Himmel, M.E., Ding, S.Y., Johnson, D.K., Adney, W.S., Nimlos, M.R., Brady, J.W. y Foust, T.D. 2007. **Biomass recalcitrance: engineering plants and enzymes for biofuels production**. Science. 315: 804-807.
- Howard, R.L., Abotsi, E., Jansen van Rensburg, E.L. y Howard, S. 2003. **Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production**. African Journal of Biotechnology. 2:602-619.
- Khanna, M., Crago, C.L. y Black, M. 2011. **Can biofuels be a solution to climate change? The implications and land use change-related emissions for policy**. Interface Focus. 1: 233-247.
- Kim, S. y Dale, E.B. 2004. **Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues**. Biomass Bioenergy. 26: 361-375.
- Leung, D.Y.C., Wu, X. y Leung, M.K.H. 2010. **A review on biodiesel production using catalyzed transesterification**. Applied Energy. 87: 1083-1095.
- Lynd, L., Weimer, P., Zil, H., Preterius, I. 2002. **Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology**. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 66: 506-577.
- Moser, B.R., Knothe, G., Vaughn, S.F. y Isbell, T. A. 2009. **Production and evaluation of biodiesel from field pennycree (*Thlaspi arvense* L.)**. Oil, Energy Fuel. 23: 4149-4155.
- Nabi, M.N., Akhter, A.S., Shahadat, M.M.Z. 2006. **Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel-biodiesel blends**. Bioresources Technology. 97:372-378.
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S. 2011. **Role of renewable energy sources in environmental protection: a review**. Renewable Sustainable Energy Reviews. 15:1513-1524.

- Rubin, E. 2008. **Genomics of cellulosic biofuels**. Nature Reviews. 454:841-845.
- Salvi, B.L. y Panwar, N.L. 2012. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: 3680-3689.
- SENER. 2010. **Balance Nacional de Energía 2009**. Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Tecnológico. México, D.F. 1-183.
- Simmons, B. A., Loque, D., Blanch, H. W. 2008. **Next-generation biomass feedstocks for biofuel production**. Genome Biology. 9: 242.
- Russo, D., Dassisti, M., Lawlor, V. y Olabi, A.G. 2012. State of the art of biofuels from pure plant oil. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 16: 4056-4070.
- Walker, D.A. 2009. **Biofuels, facts, fantasy, and feasibility**. Journal of Applied Phycology. 21 :509-517.
- Tao, L. y Aden, A. 2009. **The economics of current and future biofuels**. In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. 45: 199-217.
- Zhang, Y. Dube, M.A., McLean, D.D. y Kates, M. 2003. **Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment**. Bioresource Technology. 89 :1-16.

Claudia Castro Martínez

Profesor-Investigador Titular del CIIDIR IPN-Unidad Sinaloa. Responsable del Laboratorio de Bioenergéticos, Depto. Biotecnología Agrícola. Doctor en Ciencias en Ingeniería de Bioprocesos y Medio Ambiente, IPN, Toulouse, Francia. Estancia Posdoctoral en el Posgrado en Biotecnología de la UAS y en el Departamento de Biotecnología y Bioquímica del CINVESTAV, Unidad Irapuato. Candidato del SNI.

Laura Ivonne Beltrán Arredondo

Ingeniero Bioquímico del Instituto Tecnológico de Los Mochis. Estudiante de posgrado del programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente de CIIDIR IPN-Unidad Sinaloa.

Juan Carlos Ortiz Ojeda

Ingeniero en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Sinaloa. Estudiante de posgrado del programa de Maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente de CIIDIR IPN-Unidad Sinaloa.