

Pellets energéticos: Esperanza verde ante la crisis del petróleo

Energy pellets: Fueling a greener future amid the oil crisis

Javier Gómez-Rodríguez^{id}, Jose Angel Soriano-Parra^{id}, María Inés Infanzón-Rodríguez^{id}, Melina Limón-Lili^{id}, María Guadalupe Aguilar-Uscanga^{id}, Daniel Arturo Zavala-Ortiz*^{id}

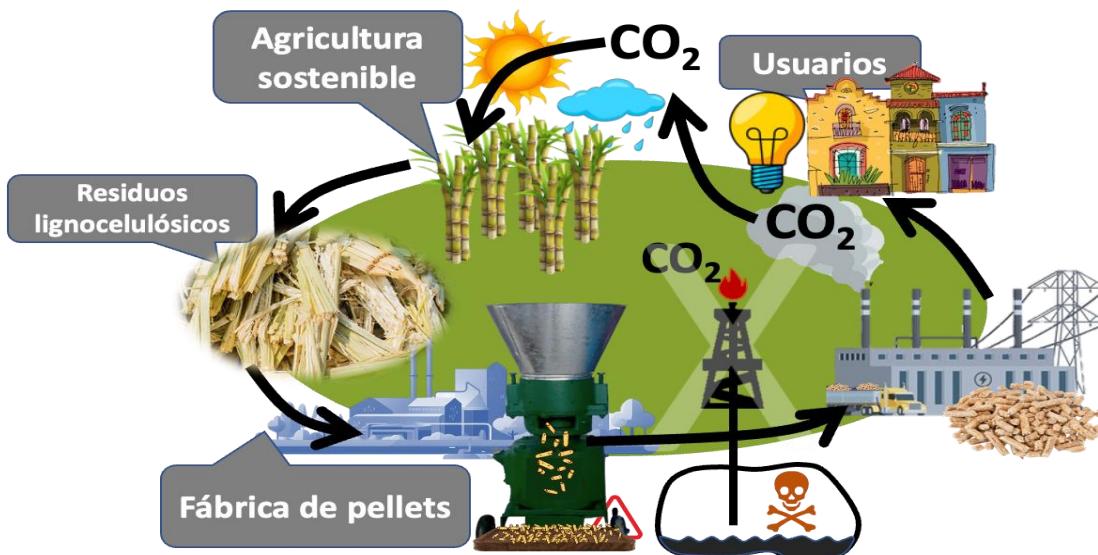
Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz, Veracruz, México.

*Autor para correspondencia

Correo electrónico: daniel.zo@veracruz.tecnm.mx (D.A. Zavala-Ortiz)

Historial del artículo:

Recibido: 19 Agosto 2025 / Recibido en forma revisada: 28 Septiembre 2025 / Aceptado: 30 Septiembre 2025 / Publicado online: 10 Octubre 2025.



“De residuos agrícolas a energía: El prometedor futuro de los pellets”

Resumen

La energía es indispensable para la vida moderna: desde encender una lámpara, cocinar y transportarnos, hasta actividades más complejas. Actualmente, la mayor parte proviene de combustibles fósiles, y en México cerca del 82 % es suministrado por Petróleos Mexicanos (PEMEX). Sin embargo, sus reservas se agotarán en las próximas décadas, lo que hace urgente una transición hacia fuentes más sostenibles, seguras y confiables. Entre las opciones disponibles destacan la energía solar y la eólica, aunque su intermitencia y el manejo de residuos limitan su aprovechamiento como alternativas totalmente sustentables. En este contexto, los pellets energéticos de biomasa surgen como una opción prometedora: son renovables, pueden almacenarse y liberan el mismo dióxido de carbono que absorbieron en su producción, lo que los hace neutros en emisiones. Este artículo analiza su potencial y cómo México podría posicionarse como líder en esta tecnología clave para una transición energética justa y sostenible.

Palabras claves: Energía verde, pellets energéticos, residuos lignocelulósicos.

La energía es la columna vertebral de toda sociedad moderna y sin ella, nada sería posible. La energía cubre necesidades humanas fundamentales y marca una diferencia profunda entre nuestro nivel de vida actual y el que existía antes de la Revolución Industrial. La mayor parte de esta energía es “del pasado”, acumulada durante millones de años en el petróleo, gas o carbón. Sin embargo, no es infinita y, tarde o temprano, se agotará. ¿Qué haremos entonces? Será necesario recurrir a la energía “del presente”: la que proviene del sol y que se manifiesta en el viento, las mareas y en el crecimiento de las plantas. Este cambio representará un impacto profundo en nuestra sociedad y para ello, es necesario prepararnos desde ahora para una transición energética ordenada, justa y sostenible. La forma en que lo hagamos definirá nuestro futuro.

Abstract

Energy is indispensable for modern life: from turning on a lamp, cooking, and traveling, to more complex activities. Currently, most energy comes from fossil fuels, and in Mexico about 82% is supplied by Petróleos Mexicanos (PEMEX). However, its reserves will be depleted in the coming decades, making an urgent transition toward more sustainable, secure, and reliable sources essential. Among the available alternatives are solar and wind energy, although their intermittency and waste management issues limit their potential as fully sustainable solutions. In this context, biomass energy pellets emerge as a promising option: they are renewable, can be stored, and release the same carbon dioxide absorbed during their production, making them carbon neutral. This article analyzes their potential and how Mexico could position itself as a leader in this technology, which is key for achieving a fair and sustainable energy transition.

Key words: Energy pellets, green energy, lignocellulosic residues.

El desafío de la transición energética

Gran parte de la energía suministrada en México proviene de Petróleos Mexicanos (PEMEX), una empresa que durante años fue reconocida a nivel mundial en la lista de las 500 más grandes empresas del mundo “Fortune Global 500”. Sin embargo, su importancia ha disminuido: de su puesto 31 en 2008 cayó al lugar 80 en 2023 debido a la caída de sus reservas de hidrocarburos. La situación es preocupante, porque PEMEX todavía suministra alrededor del 82 % de la energía del país a partir de combustibles fósiles. Por ello, el gobierno mexicano requiere lograr una transición hacia energías más limpias y sostenibles.

Las energías sostenibles (solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y la biomasa) se han convertido en la principal alternativa para garantizar el suministro energético del futuro debido a que provienen de procesos naturales que se renuevan constantemente. A diferencia del petróleo o el carbón, su uso no implica una extracción irreversible ni una emisión masiva de gases de efecto invernadero, lo que las convierte en pilares fundamentales de la transición energética y descarbonización. Sin embargo, también presentan desventajas importantes.

En el caso de la energía solar, requiere grandes superficies para instalar paneles solares con una vida útil limitada y contienen materiales difíciles de reciclar como las celdas de silicio que contienen metales pesados; además, su eficiencia disminuye en climas nublados o durante la noche. La energía eólica también enfrenta problemas similares: las palas de los aerogeneradores están fabricadas con compuestos difíciles de reciclar como la fibra de vidrio, fibra de carbono y resinas epoxi, y ya se están empezando a acumular en vertederos industriales. A ello se suman el impacto visual, la contaminación acústica, la afectación a aves y murciélagos, y la dependencia de materiales estratégicos como tierras raras para sus componentes electrónicos. Así mismo, la energía hidroeléctrica, aunque confiable, puede provocar alteraciones severas en los ecosistemas fluviales, desplazamiento de comunidades, sedimentación en los embalses y pérdida de biodiversidad; e incluso accidentes catastróficos. Un ejemplo de ello sucedió el 9 de octubre de 1963 en la represa de Vajont, Italia, donde un deslizamiento de tierra en el embalse sobrepasó la capacidad de la presa, generando un tsunami interno que derramó agua sobre el valle y afectó a más de 2000 personas. Además, es vulnerable a la variabilidad climática y sequías prolongadas.

Por ello, se requieren fuentes de energía confiables y listas para satisfacer las demandas al instante, sin intermitencia. De esta necesidad nacen los biocombustibles, los cuales presentan ciertas similitudes a los combustibles fósiles: se queman al momento que se requiere generar trabajo en motores, pero que, a diferencia de los combustibles fósiles, estos son sostenibles y sustentables.

El reto tecnológico de los biocombustibles

El objetivo de los biocombustibles es generar combustibles equivalentes a los de origen fósil pero que provengan de fuentes renovables. Por ejemplo, para producir

biocombustible del diesel proveniente del petróleo, éste se sustituye por una matriz química equivalente que proviene de aceites vegetales; la gasolina, se sustituye por bioetanol proveniente de la fermentación alcohólica de levaduras (Aguilar-Uscanga *et al.*, 2025); y el gas proveniente de yacimientos, se sustituye por biogás o biometano, derivados del metabolismo de bacterias que descomponen materia orgánica. Consecuentemente, existen múltiples tipos de biocombustibles enfocados en sustituir un tipo de combustible fósil.

Los biocombustibles no existen en la naturaleza como los combustibles fósiles, sino que hay que producirlos, es decir, hay que invertir energía para tenerlos disponibles hasta el momento en que liberen su energía en motores. La relación entre la energía que se obtiene al utilizarlos y la energía requerida para producirlos, se conoce como balance energético. Un balance energético positivo indica que se genera más energía al quemar el biocombustible de la que se consume en su proceso de fabricación, lo cual es deseable desde el punto de vista ambiental y económico. El balance energético varía considerablemente según la materia prima y el proceso utilizado.

Por ejemplo, el bioetanol producido a partir de caña de azúcar presenta uno de los mejores balances energéticos, con una ganancia energética de hasta 8 veces la energía invertida, pues el jugo de caña contiene directamente el azúcar que se fermenta para producir el alcohol; mientras que el etanol de maíz ofrece un balance más pequeño, cercano a 1.3, pues el almidón del maíz debe primero tratarse para liberar el azúcar a usarse en la fermentación (Aguilar-Uscanga *et al.*, 2025). Entre más complejo el proceso de producción del biocombustible, menor el valor del balance energético. Consecuentemente, para que un biocombustible sea competitivo, debe provenir de una materia que no requiera gran inversión energética para su adquisición, como desechos o residuos, y que, para tenerla en una forma comercial, no se requiera de un proceso de producción complejo.

Los biocombustibles más conocidos, como el bioetanol y el biodiésel, han ganado amplia notoriedad debido a su compatibilidad con motores convencionales de combustión interna utilizados en medios de transporte masivos, facilitando su integración a la infraestructura energética actual y generando la percepción de que representan las principales alternativas renovables a los combustibles fósiles. Sin embargo, existen otros biocombustibles como los pellets energéticos de biomasa lignocelulósica, que, aunque menos conocidos por el público general, presentan balances energéticos significativamente más altos, llegando a generar hasta 20 veces más energía de la que se invierte en su producción.

A pesar de esta ventaja, los pellets no son utilizados en motores automovilísticos, sino en sistemas de combustión estacionarios como calderas y plantas termoeléctricas, lo que ha limitado su visibilidad en comparación con los biocombustibles líquidos empleados en el transporte. Sin embargo, esto no siempre fue así. En la escasez de gasolina durante la Segunda Guerra Mundial, hubo adaptaciones a automóviles para que trabajaran con pellets sólidos de madera como combustible, estos automóviles eran llamados “gasógenos” (Figura 1). Un gasógeno es un aparato que calienta pellets de biomasa lignocelulósica empleando muy poco oxígeno y los transforma en un gas que puede usarse como combustible o generador de electricidad, el cual sustituye a la gasolina o al

gas natural. En Europa belicosa, fue común ver en esta época vehículos con tanques llenos de pellets en la parte posterior, o incluso con remolques llenos de pellets. Esto es solo una muestra del potencial que tienen los pellets energéticos para descarbonizar y de aportar sostenibilidad a la matriz energética de México.

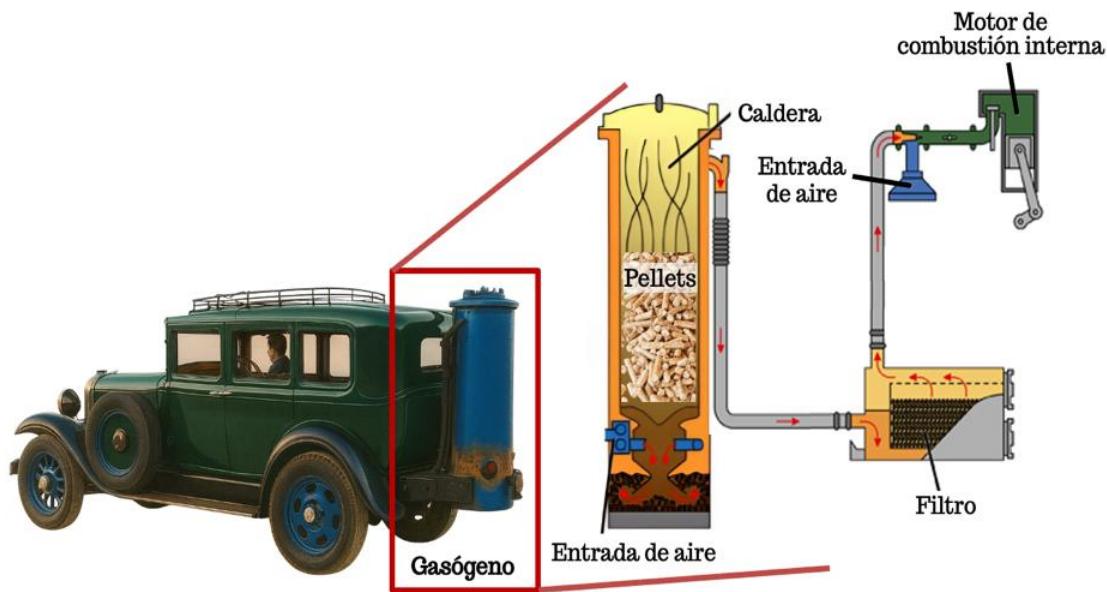


Figura 1. Automóviles "gasógenos" funcionando con pellets.

Figure 1. "Gasogene" automobiles running on pellets.

El potencial energético de los pellets a partir de residuos vegetales

Las materias primas para fabricar pellets energéticos provienen principalmente de residuos orgánicos de origen vegetal, lo que los convierte en una opción sostenible y de bajo impacto ambiental pues el dióxido de carbono generado por su combustión es el mismo que las plantas fijaron de la atmósfera al crecer. Las fuentes más comunes se encuentran en los restos de bosques, como ramas, hojas, pasto y aserrín; en los residuos de los cultivos, como tallos y podas; y en los subproductos de la industria agrícola, como cáscaras, bagazo y coronas de frutas (Goh *et al.*, 2013). Una ventaja importante de estos materiales es que son fáciles de conseguir y manejar, incluso para comunidades que no cuentan con mucha tecnología (Golub *et al.*, 2025).

La materia prima con mayor potencial en México son los residuos lignocelulósicos ya que anualmente se producen alrededor de más de 100 millones de toneladas (Aguilar-Uscanga *et al.*, 2025). Un ejemplo, es el uso de los bagazos de la agroindustria, como la caña de azúcar, debido a que es un subproducto que se genera año con año y están listo para ser transformados en pellets energéticos (Golub *et al.*, 2025). Para dimensionar el potencial energético del bagazo de caña, consideraremos lo siguiente: México produce alrededor de 17 millones de toneladas de bagazo de caña al año, lo que sería suficiente para cubrir cerca del 22 % del consumo anual de gasolina en el país o alrededor del 6 % del consumo eléctrico nacional. Esto demuestra que, incluso a partir de residuos del

campo, es posible avanzar hacia una matriz energética más limpia y menos dependiente del petróleo.

De la esperanza a la acción: Proceso de producción de pellets

Si bien en México no existen normas que regulen la calidad de los pellets, éstos deben presentar una serie de características fisicoquímicas específicas que aseguren su eficiencia y seguridad durante el uso. Entre los parámetros más importantes para la producción de pellets se encuentra el bajo contenido de humedad para facilitar la combustión y evitar problemas de almacenamiento. Además, se requiere una alta densidad aparente y una resistencia mecánica adecuada, que garanticen que los pellets no se desintegren durante el transporte o manejo. Así mismo, los pellets deben contener un contenido controlado de cenizas, para reducir la cantidad de residuos en calderas y estufas (Goh *et al.*, 2013). Estas especificaciones permiten que los pellets se utilicen de forma segura y eficiente tanto en sistemas domésticos como industriales. El control de estas características se logra mediante un control de la materia prima, y un proceso de producción adecuado.



Figura 2. Proceso de producción de pellets energéticos.

Figure 2. Energy pellet production process.

La producción de pellets energéticos (Figura 2) comienza con la limpieza y secado de la materia prima para reducir su humedad a niveles óptimos, que puede realizarse al sol o en secadores industriales. Luego, el material se tritura y mezcla, seguido de un proceso de compresión a alta presión en una peletizadora, donde el calor generado por la fricción activa la lignina natural de la biomasa, que actúa como un aglutinante interno, permitiendo la formación de pellets sin necesidad de añadir productos externos. Sin embargo, en

algunos casos donde la biomasa no contiene suficiente lignina o tiene características desfavorables para la compactación, por lo que se pueden emplear aglutinantes o aditivos naturales como almidones, melaza, glicerina o incluso ciertos tipos de aceites vegetales. Posteriormente los pellets se secan para alcanzar la humedad requerida por las normas aplicables o necesidades del cliente. Al final del proceso, los pellets se enfrian, se tamizan para eliminar partículas sueltas y se empacan (Mortada *et al.*, 2025).

La elección del aglutinante añadido depende del tipo de biomasa, el costo, la disponibilidad y el uso final de los pellets. Aunque el uso de aglutinantes mejora la eficiencia en la combustión y la estabilidad del producto final, también puede incrementar ligeramente los costos de producción o presentar desafíos técnicos que deben evaluarse (Zawiślak *et al.*, 2020). Por ejemplo, el almidón de maíz es uno de los aglutinantes más comunes debido a su buena capacidad de unión, sin embargo, puede elevar el costo si compite con usos alimentarios. Así mismo, la melaza, un subproducto de la industria azucarera, es una opción económica y efectiva, pero puede generar residuos pegajosos en los equipos si no se controla adecuadamente. La glicerina cruda actúa también como fuente adicional de energía, pero su composición variable puede afectar la calidad del pellet. Por otro lado, el uso de aceites vegetales mejora la lubricación durante el peletizado y reduce el desgaste de maquinaria, aunque en exceso, puede generar gran cantidad de cenizas o afectar la combustión (Mortada *et al.*, 2025).

Avances recientes en la producción de pellets energéticos

En años recientes, diversas investigaciones han mejorado la producción de pellets. Se ha identificado la “temperatura de adhesión” como punto clave en el que la lignina actúa como pegamento natural, reduciendo el uso de aditivos y energía en el prensado. También se ha explorado la torrefacción, un tratamiento térmico que eleva el poder calorífico y mejora la estabilidad del pellet. Además, el uso de aglutinantes diversos está siendo afinado. Estas innovaciones hacen más eficiente el proceso y su aplicación industrial (Zawiślak *et al.*, 2020).

El caso más emblemático de la aplicación de pellets energéticos es la planta de cogeneración eléctrica danesa de Avedøre, la cual ha sustituido completamente el carbón y gas por pellets de madera, con una capacidad de 254 megavatios (MW) de electricidad y 359 MW de calor, similar a la capacidad de la central eléctrica “Los azufres” (252 MW) en el estado de Michoacán, y que abastece a 1.1 millones de personas. En México, aunque el sector de pellets aún es incipiente, existen proyectos de investigación y propuestas para integrar pellets en la generación eléctrica renovable, aprovechando la abundancia de residuos agrícolas como el bagazo de caña de azúcar.

El grupo de investigación de Bioprocesos-Bioenergía del Tecnológico Nacional de México (TecNM) - Instituto Tecnológico de Veracruz (ITVer) está trabajando desde hace algunos años en el desarrollo de investigación aplicada sobre producción de pellets energéticos. Actualmente mantienen vigente un proyecto de investigación llamado “Producción de Pellets a partir de residuos lignocelulósicos para la generación de biocombustibles sólidos”, el cual busca evaluar el efecto de la composición de los residuos lignocelulósicos

de bagazo de caña, aserrín, rastrojo de maíz y el uso de aglutinantes novedosos sobre la capacidad energética de pellets, desarrollando además un sistema automatizado de peletizadora que permita contar con equipos operables en comunidades poco tecnificadas para valorizar sus desechos agrícolas en pellets. En el marco de este proyecto, se ha desarrollado la empresa de reciente creación “Biopellets+” (Figura 3), una iniciativa biotecnológica para producir pellets energéticos con residuos agroindustriales que permite el acceso a energía sostenible en comunidades donde no llega el suministro de la red eléctrica. ¡Un aporte tecnológico que pronto comenzará a rendir frutos para el mejoramiento social de comunidades vulnerables!



Figura 3. Integrantes de Biopellet+, una empresa de reciente creación para producir pellets energéticos y ganadora del evento nacional de innovación INNOVATecNM 2025.
Figure 3. Members of Biopellet+, a newly established enterprise dedicated to producing energy pellets and winner of the national innovation event INNOVATecNM 2025.

Conclusiones

La transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles no es una opción sino una necesidad ante la inminente escasez de combustibles fósiles y los efectos del cambio climático. Los pellets de biomasa, con un balance energético favorable y un impacto ambiental reducido, son una solución viable, eficiente y ecológica, capaz de transformar residuos en energía útil. Su producción a partir de materias primas locales y accesibles permite no solo diversificar la matriz energética del país, sino también impulsar el desarrollo económico de comunidades rurales. Si bien México aún enfrenta retos importantes en infraestructura, normatividad y financiamiento para escalar esta tecnología, los avances en investigación, como los que lideran instituciones como el Instituto Tecnológico de Veracruz, y el surgimiento de iniciativas como Biopellets+, demuestran

que es posible construir un modelo energético más justo, descentralizado y sustentable. Apostar por el uso de pellets es apostar por un futuro donde la energía sea una herramienta de equidad y bienestar social.

Referencias

Aguilar-Uscanga, M.G., Zavala-Ortiz, D.A., Gomez-Rodriguez, J., & Infanzón-Rodríguez, M.I. (2025). México y el futuro del bioetanol2G: Conversión de residuos agrícolas en energía mediante enzimas celulosas. *Biognosis* 2(4), 1-8. <https://doi.org/10.29267/biognosis.2025.2.4.1-8>

Goh, C. S., Junginger, M., Cocchi, M., Marchal, D., Thrän, D., Hennig, C., Heinimö, J., Nikolaisen, L., Schouwenberg, P., Bradley, D., Hess, R., Jacobson, J., Ovard, L., & Deutmeyer, M. (2013). Wood pellet market and trade: A global perspective. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), 24-42. <https://doi.org/10.1002/bbb.1366>

Golub, O., Shushpanova, D., Mikhailidi, D., & Mikhrabov, A. (2025). The application of pellets made from wood and agricultural waste as an alternative to fossil fuels. *E3S Web of Conferences*, 623, 02008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562302008>

Mortada, H., Kerrouchi, H. B., Al-Othman, A., & Tawalbeh, M. (2025). Pellet as Biofuel: An Overview. En *Comprehensive Green Materials* (pp. 202-217). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15738-7.00097-0>

Zawiślak, K., Sobczak, P., Kraszkiewicz, A., Niedziółka, I., Parafiniuk, S., Kuna-Broniowska, I., Tanaś, W., Żukiewicz-Sobczak, W., & Obidziński, S. (2020). The use of lignocellulosic waste in the production of pellets for energy purposes. *Renewable Energy*, 145, 997-1003. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.051>

Información de los autores



Javier Gómez Rodríguez (Primer autor).

Doctor en Ingeniería Electrónica por la Universidad Paul Sabatier, Toulouse, Francia. El Dr. Gómez es especialista en Sistemas de Control y Automatización de procesos biológicos. Además, el Dr. Gómez es profesor-investigador del TecNM-ITVer adscrito al departamento de Química-Bioquímica, jefe de la Planta Piloto de Bioetanol y miembro del núcleo académico básico de la Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables (MEEYER).



Daniel Arturo Zavala Ortiz (Autor de correspondencia).

Doctor en Biotecnología e Industrias Alimentarias por la Universidad de Lorraine, Francia. El Dr. Zavala es titular de la asignatura Cinética Química y Biológica de la carrera de Ingeniería Bioquímica del ITVer, miembro del consejo de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica y del Doctorado en Ciencias en Alimentos. Su labor se enfoca en el desarrollo y escalamiento de procesos químicos y biológicos en el Laboratorio de Bioingeniería y en la planta piloto de bioetanol de la UNIDA del ITVer.