

# USOS INDUSTRIALES Y ENERGÉTICOS DE LOS SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL, PASADO Y FUTURO

Dr. S. A. McGlashan\*. 2016. Engormix.com.

\*Gerente de Ambiente y Coproductos, Meat and Livestock Australia, Ltd.

[www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Volver a: [Carne y subproductos](#)

## RESUMEN

Este capítulo se enfoca a la aplicación de los productos reciclados de origen animal a la producción de la energía y de otros usos industriales. El alto volumen de los productos reciclados generados descarta la investigación en la mayoría de los mercados de alto valor y bajo volumen. Las reglamentaciones futuras con relación a la bioseguridad y a la protección ambiental tienen el potencial de restringir el acceso al mercado tradicional de los coproductos reciclados. Es esencial desarrollar aplicaciones de productos que demanden grandes volúmenes de materia prima para garantizar la viabilidad de la industria del reciclaje de subproductos de origen animal.

Históricamente, el sebo ha tenido una aplicación mucho más amplia de energía e industrial que las harinas a base de proteína. Los fertilizantes y los acondicionadores de tierra eran una vía menor para los subproductos animales, mientras que había un uso muy amplio y rentable de las harinas a base de proteína en los sectores de alimentos para consumo animal y humano.

Los productos reciclados tradicionalmente han sido una fuente de proteína digestible, nutrientes y energía en las industrias de alimentos para consumo animal y humano. Hay métodos físicos y químicos para transformar el valor de energía intrínseco en combustible comercial. El biodiesel derivado del sebo es el uso alternativo más obvio para los subproductos animales. El uso de las harinas de proteína como fuentes de energía es técnicamente factible mediante la pirólisis, digestión anaeróbica y la incineración/coincineración, pero pueden tener limitaciones económicas.

El potencial de usos industriales de las harinas de proteína está limitado. Las proteínas son una materia prima potencial para los plásticos biológicos y para los adhesivos de cartón. Las formas naturales de hidroxiapatita, encontradas en los huesos de las piernas de alta densidad de ganado, ovejas y cabras, tienen aplicaciones como absorbentes, catalizadores, sustrato dental y como un sustituto del hueso. Si se desarrollan estas aplicaciones industriales, hay varios obstáculos técnicos y económicos que se tienen que superar.

## USOS HISTÓRICOS Y ACTUALES DE LOS SUBPRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL

Históricamente, las aplicaciones que no son de alimentos para consumo animal o humano de los coproductos reciclados, con la excepción del sebo, han tendido a limitarse a su aplicación en mercados nicho (Pearl, 2003). Generalmente, de carne y hueso y harina de carne de aves.

Cientos de aplicaciones químicas industriales han usado, y en algunos casos todavía usan, grasas y ácidos grasos como materia prima, mientras que se han desarrollado relativamente pocas aplicaciones para las harinas de carne y hueso más allá de los adhesivos, acondicionadores de tierra y fertilizantes. El inicio de ambas Guerras Mundiales fue testigo de una demanda importante de la glicerina reciclada para la producción de explosivos, específicamente la trinitroglicerina o TNT. La demanda de coproductos reciclados para estas aplicaciones (véase el cuadro 1 para más ejemplos) ha disminuido con el aumento del uso de productos del petróleo o sintéticos más ampliamente disponibles y a menudo más baratos.

El proceso de reciclar las partes animales se ha documentado durante al menos 2,000 años (Grummer, 1992). El propósito del reciclado era del producir sebo y otras grasas animales para hacer jabones y velas.

**Cuadro 1.** Usos industriales de las grasas y ácidos grasos.

Explosivos	Cosméticos	Pinturas
Jabón de calabaza (jabón para cuero)	Disolventes	Aceite industrial y lubricantes
Oleomargarina y manteca para panificación	Químicos	Productos de hule (goma)
Crayones	Insecticidas	Cera para pisos
Cosméticos	Parafina	Herbicidas
Cerámica	Jabón para lavar platos y para las manos	Medicinas
Cremas y lociones	Aceite de mink (visón)	Anticongelante
Sebo para curtido de pieles	Crema para afeitarse	Detergentes biodegradables
Acondicionador para el pelo	Carbón de hueso para filtrar y decolorar soluciones de azúcar	Platos de hueso

Fuente: California Department of Food and Agriculture, [www.cdfa.ca.gov/ahfss/mpi/by\\_products.mtm](http://www.cdfa.ca.gov/ahfss/mpi/by_products.mtm).

## PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

El sebo se puede usar directamente como combustible de calderas o para fabricar biodiesel. Algunos sistemas quizás requieran filtrar las grasas antes de usarlas como combustibles de calderas. Un biocombustible mal filtrado puede causar problemas en el manejo de éste y mayores emisiones de gases.

## APLICACIONES AGRÍCOLAS E INDUSTRIALES

La fabricación de jabón era el principal uso del sebo. En el siglo XIX, la Revolución Industrial transformó al sector agrícola. El desarrollo de la producción intensiva del ganado condujo a un creciente problema de eliminación de desechos. El reciclaje se convirtió en una solución atractiva. Los procesos de principios del siglo XX separaban la grasa y el agua de la proteína, llamada tankage, que se usaba entonces como fertilizante.

Las corrientes de proteína de los coproductos reciclados eran muy aptas para fabricar adhesivos, debido al gran número de funcionalidades químicas de adherencia con que cuenta. Los adhesivos de origen animal se han usado desde principios del siglo XIX, cuyo consumo llegó a su pico en 1948 con 70 mil toneladas (aproximadamente 2 por ciento del consumo actual de los adhesivos derivados del petróleo). Los adhesivos sintéticos de bajo costo rápidamente se infiltraron en el mercado después de la Segunda Guerra Mundial, haciendo que su competidor de origen animal, técnicamente inferior, fuera económicamente inviable.

## USOS FUTUROS DE LOS PRODUCTOS RECICLADOS

El alto volumen de los productos reciclados generados descarta la investigación en la mayoría de los mercados de alto valor y bajo volumen. Es esencial desarrollar aplicaciones de productos que demanden grandes volúmenes de materia prima para garantizar la viabilidad de la industria del reciclaje de subproductos de origen animal. No se hace diferenciación entre los tipos de sebo o de proteína para usos futuros.

## ENERGÍA

Tradicionalmente, los productos reciclados han sido una fuente de proteína, nutrientes y energía convertibles en las industrias de alimentos para consumo animal y humano. Hay métodos físicos y químicos para transformar el valor de energía intrínseco en combustible comercial.

## BIODIESEL

En 1898, Rudolph Diesel fue el primero en demostrar su máquina de ignición de compresión en la Exposición Mundial en París. Su fuente de combustible se basaba en aceite de cacahuete (maní), el primer biodiesel. Diesel creía que el combustible de biomasa era una alternativa viable al recurso de la máquina consumir de vapor. Los aceites vegetales se usaban en las máquinas diesel hasta 1920 cuando se le hizo una alteración a la máquina, lo que permitía su uso del residuo del petróleo, lo que se conoce ahora como diesel No. 2.

El biodiesel es un sustituto del combustible diesel que se produce de recursos renovables como los aceites vegetales, grasas animales y aceites reciclados para cocinar. El biodiesel es biodegradable y no tóxico y tiene emisiones significativamente menores que cuando se quema el diesel de petróleo. El biodiesel funciona en las máquinas actuales de diesel, además de que es un posible candidato para reemplazar a los combustibles fósiles como proveedor importante de la energía mundial para el transporte.

El biodiesel se produce por la transesterificación de las grasas animales tales como el sebo; los triglicéridos reaccionan con el metanol para producir ésteres de metilo y glicéridos. El proceso es típicamente catalizado por el hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH) para aumentar las tasas de reacción.

El producto del proceso es un combustible líquido similar al diesel común. El biodiesel tiene un valor calórico bruto de aproximadamente 33.3 mega julios por litro y una densidad de 0.88 kg por litro (Khan, 2002). Una ventaja que ofrece el biodiesel en comparación con otras fuentes de energía (como el metano) es que el combustible resultante ya está en forma líquida y es por lo tanto más fácil almacenarlo y transportarlo. El biodiesel ya se usa ampliamente en todo el mundo.

Se mezcla con diesel en la misma forma que el etanol se mezcla con la gasolina. Sin embargo, se ha encontrado que el biodiesel puede mezclarse a concentraciones mucho más altas que el etanol, sin que se requiera de modificaciones de la máquina. La mezcla estándar es 20 por ciento biodiesel, 80 por ciento diesel (Paisley, 2003). Sin embargo, dependiendo de su uso, la producción de biodiesel a partir del sebo ofrece desafíos que no tiene la producción de biodiesel de aceites vegetales tradicionales.

Una desventaja que presenta el biodiesel hecho de sebo como combustible líquido es con respecto a sus propiedades de flujo en frío. La cristalización en los ésteres del sebo (biodiesel) sucede debido a los altos puntos de fusión de los ésteres de los ácidos grasos saturados presentes en el biodiesel (Papadopoulos, 2005). Los biodiesel es de sebo de metilo limpio (100%) han mostrado que se cristalizan a temperaturas significativamente más altas que el diesel normal (es decir, hasta 15° C). Esto se atribuye a los altos niveles de ácidos grasos saturados presentes en el sebo de res, que conducen a la producción de estearato de metilo por esterificación (punto de fusión del estearato de metilo es de 39.1°C).

Existen varias opciones para el mejoramiento de las características de flujo en frío que incluyen la mezcla con diesel normal, el uso de alcoholes de cadenas ramificadas y el uso de aditivos. El mezclado con diesel normal es el método actual preferido debido a su simplicidad y practicidad (National Biodiesel Board, 2005). Se ha encontrado que el uso de alcoholes de cadena ramificada en la reacción de esterificación (alcohol isopropilo en lugar de metanol) mejora las propiedades del flujo en frío. El diesel resultante va a comprender al sebo de isopropilo en lugar del sebo de metilo. Esto indica que los ésteres de isopropilo tienen un punto de cristalización de 7°C a 11°C más bajo que los ésteres de metilo producidos de la misma fuente (Wang, 2003). El problema con el uso de los alcoholes de cadena ramificada es el aumento en el costo de la fabricación. Sería ideal el uso de aditivos similares a los usados en el diesel común y corriente. Actualmente, no obstante tales aditivos no existen.

Un método de mejorar las propiedades de flujo en frío del biodiesel es el "winterizado." Este proceso básicamente involucra la recirculación del biodiesel a través de etapas de enfriamiento y de filtración de los compuestos cristalizados. Este proceso reduce la cantidad de ésteres de metilo saturados (de mayor punto de fusión), que por lo tanto mejora las características de flujo en frío. No obstante, es impráctico en la producción en masa debido a las grandes cantidades de producto que se pierden durante la filtración y debido a los requisitos de energía que implican con los pasos de enfriamiento repetidos. Obviamente, las mejoras futuras de las características del flujo en frío es probable que provengan de métodos que inhiben la formación y crecimiento de cristales, más que de la eliminación de los componentes de bajo punto de fusión.

## SUBPRODUCTOS DE LA PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

El biodiesel se puede producir de grasas animales extraídas mediante el proceso de reciclado. Las grasas producidas por este proceso se pueden dividir en dos grupos: comestibles y no comestibles. Las grasas comestibles es probable que sean objeto de un mayor precio en la industria de alimentos para consumo humano. Los productos de reciclaje no comestibles típicamente son objeto de precios más bajos y pueden ser más aptos para la producción de biodiesel.

Los niveles más altos de ácidos grasos libres (AGL) generalmente significan una menor calidad y valor del sebo. La composición de AGL más altos es probable que requiera de más tratamiento antes de la producción de biodiesel, lo que va a generar un subproducto de la glicerina de más baja calidad. Existen las operaciones comerciales que convierten los AGL a biodiesel en presencia de catalizadores ácido-base, en las que el contenido de AGL es menor a 20 por ciento.

El cuadro 2 es un resumen del balance de masa y energía utilizado para calcular la viabilidad económica de la producción del biodiesel con base en un ternero de 400 kg en el proceso, derivado del balance de masa general.

**Cuadro 2.** Balance de masa de la producción del biodiesel.

	Insumo	Producción	Fuente
Sebo	37.20 kg		Balance general de masa
Metanol	3.72 kg		Estequiometría (Duncan, 2003)
Glicerina		3.72 kg	Estequiometría (Duncan, 2003)
Biodiesel		37.20 kg	Estequiometría (Duncan, 2003)

El principal beneficio sería la conversión de productos reciclados no comestibles de bajo valor a un combustible con un contenido de energía medio de valor más alto. Tal proceso podría reducir la demanda general de energía de la planta o proporcionar un combustible líquido valioso para el transporte y venta. La tasa de producción del biodiesel es casi de 1:1 de la grasa animal que reacciona en términos de peso.

Actualmente, los precios del diesel son lo suficientemente altos como para garantizar una rentabilidad significativa de la industria. Sin embargo, los precios actuales están significativamente arriba de los promedios históricos y un regreso a los promedios históricos haría que la industria fuera no sustentable.

Dado el efecto relativamente bajo del costo de capital en el costo de producción del biodiesel, comparado con el costo del sebo para alimentos balanceados, la viabilidad económica en el futuro no va a aumentar por los mejoramientos tecnológicos en el proceso. La viabilidad futura de la producción de biodiesel se va a ver determinada por el precio del combustible diesel normal y el costo del sebo como materia prima. Adicionalmente, la viabilidad económica a largo plazo de la producción de biodiesel se va a ver afectada por las disposiciones fiscales para combustibles alternativos. En general, la viabilidad de los combustibles de biodiesel está altamente influida por las tendencias del mercado, debido a la baja proporción de costo de capital de la inversión y a los precios tan variables de las secciones de alimento balanceado y de producto. La alternativa relativamente barata del gas natural para el calentamiento de la planta y la necesidad de desgravamiento o de precios altos sostenidos del diesel afecta la viabilidad de las inversiones en el biodiesel.

Dada la inestabilidad política de las naciones petroleras del Medio Oriente el costo a largo plazo del petróleo (y por lo tanto del diesel) no se puede predecir de manera fidedigna, lo que de esta manera aumenta el riesgo potencial de la inversión. Aunque el mercado del sebo sigue ahí, los productores de carne que producen sebo de las operaciones de reciclaje estarían mucho mejor si lo pudieran vender, posiblemente a un productor de biodiesel centralizado, de continuar la tendencia actual del aumento de los precios del petróleo, en lugar de enfrentarse a los posibles riesgos económicos relacionados con la misma producción de biodiesel. Los recicladores pueden obtener beneficios de la producción de biodiesel de una planta centralizada y aprovechar los beneficios de las economías de escala en forma de los mayores precios del sebo, sin incurrir en costos operativos ellos mismos.

Los costos operativos de la producción de biodiesel calculados en "Potential Feedstock Supply and Costs for Biodiesel Production" (Nelson, 1994) indican que la mayoría de los costos operativos relacionados con la producción típica de biodiesel es el costo de la materia prima (aceites y grasas). El costo del metanol, mano de obra, catalizador y conexos se consideró como muy bajo; en este estudio el costo de la materia prima se calculó en 85.8 por ciento de los costos operativos totales al año.

La utilización de esta tecnología depende mucho del tipo de reciclaje que utilice la planta, y por lo tanto la posible contribución al proceso de producción de biodiesel. Al considerar la evaluación de Nelson (1994), la viabilidad económica del sebo para una operación de biodiesel depende más en el costo de las materias primas principales. Por esta razón, la planta que produce sebo de alta calidad y alto valor capaz de vender para propósitos comestibles es mucho más probable que se beneficie de esta tecnología, que la que produce sebo de baja categoría para alimentación del ganado.

## PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DEL GLICEROL

El glicerol es un importante subproducto de la producción del biodiesel vía la esterificación de las grasas animales. Aunque el glicerol tiene sus usos en la fabricación del jabón y otros químicos, se espera que su valor disminuya en los siguientes años como resultado de la mayor producción de biodiesel en el mundo. El Departamento de Energía de Estados Unidos predijo en 2004 que la producción de biodiesel podría llegar a los 7,570 millones de litros (2 mil millones de galones) al año después de echarse a andar los incentivos de energía renovable. Este nivel de producción de biodiesel resultaría en la coproducción de 908 mil toneladas (2 mil millones de lb) de glicerol al año. El Chemical Market Reporter declaró también en 2004, que la demanda mundial de glicerol era de 224,276 toneladas (494 millones de lb). Esta expectativa de que la oferta vaya a sobrepasar a la demanda que resulta en menores precios de glicerol da la justificación para explorar usos alternativos, dado que la viabilidad económica del proceso de producción de biodiesel es la parte menos dependiente de la venta de glicerol.

De esta manera, se necesitan desarrollar aplicaciones completamente nuevas para el glicerol. Un proceso prometedor implica la reformación de la fase acuosa de glicerol para producir hidrógeno (Liu, 2005). El hidrógeno es un combustible limpio y materia prima para las industrias de la energía y de los químicos industriales. Una de las ventajas de este proceso es que la reacción de reformación y la reacción de cambio de agua / gas son termodinámicamente favorables en condiciones operativas similares. Como resultado, es posible que se lleven a cabo las reacciones en este proceso en un sólo recipiente. Liu (2005) indica que una temperatura óptima para la reformación es de aproximadamente 250°C, y bajo estas condiciones el gas producido del reformador contiene 63.8 por ciento de hidrógeno y 33 por ciento de dióxido de carbono mientras que el resto es etileno y metano. Este gas se podría usar en sistemas de combustión, tal y como está; sin embargo, la absorción de variación de presión se puede usar para generar una corriente pura de hidrógeno y una corriente pura de dióxido de carbono que representa-

rían productos más valiosos. El beneficio de esta operación es la conversión de glicerol a un producto más valioso: el hidrógeno. El hidrógeno se puede usar como materia química para la producción de amoníaco o metanol. La producción de metanol puede ser de particular interés ya que es uno de los reactivos que se requieren para la producción del biodiesel en las primeras etapas. El hidrógeno se puede usar también como combustible en celdas. Dados los beneficios ambientales de las celdas o células de combustible en comparación con las máquinas de combustible interna estándar, es probable que la demanda de hidrógeno puro pueda aumentar en el futuro, por lo que es probable que la reformación de glicerol sea el método más costeable de producir hidrógeno puro de una fuente de combustibles no fósiles. El subproducto de dióxido de carbono puro también tiene valor en la industria alimenticia y como refrigerante en la industria cárnica. Su suministro, sin embargo, es relativamente abundante. Cabe hacerse notar que aunque el proceso tiene una corriente de salida del dióxido de carbono, aún se considera neutral en carbonos en lo que se refieren a los gases de efecto invernadero. Esto se debe a que el carbón liberado se absorbió previamente durante la creación de la materia orgánica en lugar de que saliera de los combustibles fósiles. Finalmente, la viabilidad de este proceso depende del valor del alimento balanceado, el glicerol, que se espera que disminuya con el exceso futuro.

### USO DE LA HARINA DE CARNE Y HUESO

Los ingresos por harina de carne y hueso (HCH) son un aspecto importante para la rentabilidad de las operaciones de reciclaje y la industria cárnica en general. Las ramificaciones de una prohibición total de alimento necesitan una consideración especial. Si se echa a andar una prohibición de alimento, va a ser básico tener posibilidades alternativas rentables para el uso del HCH.

### PIRÓLISIS

La pirólisis es una tecnología similar a la gasificación. Sin embargo, la pirólisis se realiza en ausencia del aire y el producto es un líquido en lugar de un gas. El producto de la pirólisis se llama bioaceite y tiene una capacidad de calentamiento del valor de alrededor de 16 a 19 megajulios por kg (Paisley, 2003). Los índices de rendimiento del bioaceite se mejoran fuertemente al proporcionar calor a una tasa más rápida en el reactor, lo que a su vez mejora la tasa de reacción de la pirólisis. Esta reacción es una pirólisis térmica rápida, o RTP. Para poder lograr estas tasas de reacción rápidas, el alimento por lo general se muele en partículas pequeñas, de menos de dos milímetros (Paisley, 2003). Para poder ayudar a la velocidad de reacción y disminuir el contenido de humedad del bioaceite, el alimento típicamente necesita un contenido de humedad de menos del 15 por ciento. Tal vez se requiera de la reducción del tamaño de partícula y de la tecnología de secado, dependiendo del desperdicio a tratar.

**Cuadro 3.** Balance de masa de la pirólisis: producción del insumo de 32 kg de HCH (rendimiento aproximado de un ternero).

	Producción	Fuente
bioaceite	20 kg	Con base en 560 L/ton de insumo (Wisconsin Biorefining)
Carbón	8 kg	Con base en 15 - 25% de rendimiento (DynaMotive)
Gases no condensables	4 kg	Con base en 10 - 15% de rendimiento (DynaMotive)

El cuadro 3 es un resumen del balance de masa utilizado para calcular la viabilidad económica de la pirólisis con base en un ternero de 400 kg de insumo al proceso, derivado del balance de masa general.

El principal potencial de la pirólisis es la producción de un combustible líquido apto para su almacenamiento y transporte. Una ventaja de esa tecnología en comparación con los otros métodos de extracción de energía de las corrientes de desperdicio son las condiciones operativas más ligeras, típicamente alrededor de 500°C, en comparación con los 800°C a 900°C para la gasificación, y los tiempos de procesamiento muy cortos comparados con las varias semanas que se requieren para la digestión anaeróbica.

La inversión de capital que se requiere para esta tecnología es similar a la de la gasificación, ya que ambas requieren de una cámara de combustión de cama fluidizada. Los materiales de construcción pueden ser más baratos para la pirólisis, dadas las temperaturas operativas más bajas. Habrá costos de capital más grandes si se hace necesario el secado o reducción de tamaño. Los costos de capital calculados varían y dependen mucho de los requisitos del pretratamiento del alimento. McArthur (1996) indica que la porción de costos de capital atribuible al horno es relativamente pequeña, mientras que los costos de la preparación del material, del secado y del pretratamiento representan aproximadamente la mitad del costo de capital. Como es de esperarse, las condiciones de procesamiento actuales, y por lo tanto, los alimentos potenciales van a dictar en mucho la viabilidad.

El rendimiento de bioaceite se espera que sea alrededor de 560 litros por tonelada de alimento seco (Wisconsin Biorefining Development Initiative), con un valor calorífico de 16 a 19 megajulios por kg (Paisley, 2003). Debido a la reciente escalada en el precio del petróleo, puede estar garantizado el análisis de su uso como combustible líquido; no obstante, su densidad relativamente baja de energía y la incompatibilidad con las máquinas de combustión interna estándar puede causar problemas. Su viabilidad económica general también depende de los usos alternos de su materia prima, particularmente en relación a la pirólisis de la HCH, que actualmente es un producto alimenticio de gran valor. De casualidad, la HCH típicamente es un polvo fino y tiene un contenido de humedad muy bajo de alrededor del 5 por ciento, lo que la hace un producto ideal para la pirólisis. El análisis financiero básico indica que no es viable este uso de la HCH, cuyo proceso no se considerará mientras prosiga el mercado del HCH como ingrediente de alimentos para animales.

La tecnología más madura y apta para la implementación dentro de la industria del procesamiento de carne es un reactor de cama fluidizada. Desafortunadamente, los requisitos de tamaño pequeño de producto (se requieren de partículas pequeñas para ayudar a la tasa de reacción) pueden representar un problema en consideración para la energía que se requiere para la reducción de tamaño de partícula, con excepción del HCH. La tecnología de cama fluidizada es bien conocida y podría escalarse del tamaño de demostración actual al tamaño comercial.

Pocas compañías han construido y operado una biomasa comercial de una planta de bioaceite que utilice tecnología RTP. El éxito comercial de estas operaciones se basa en la generación de productos múltiples:

- ◆ Productos químicos de mayor valor extraídos del bioaceite
- ◆ Bioaceite para usos energéticos de menor valor
- ◆ Carbón para uso interno de energía, o para la venta.

La clave para el éxito comercial parece ser la extracción de subproductos químicos de valor más alto que se encuentran naturalmente durante la pirólisis de la biomasa, además del bioaceite en sí mismo. Además, la biomasa de la materia prima utilizada en este proceso es generalmente del producto de desperdicio de la madera. Están garantizadas las investigaciones de posibles subproductos que pudiera haber de la pirólisis de biomasa típica de mataderos.

## **DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

La digestión anaeróbica no desactiva los patógenos, ya que la temperatura máxima que se logra en la formación de composta comercial está por debajo de lo necesario para la inactivación de patógenos y del prión de la encefalopatía espongiforme bovina (BSE). La HCH puede requerir tratamiento térmico previo (pasteurización) para poder cumplir con las reglamentaciones de uso. La pasteurización de una corriente de ese tamaño incurriría en costos adicionales significativos para el proceso de digestión anaeróbica. La materia prima también requeriría de enfriamiento e inoculación con bacterias frescas para que continúe la digestión. La digestión anaeróbica produce metano, gas dióxido de carbono y fertilizante, por lo que es posible que la presencia de materiales de “alto riesgo” (es decir, cerebro, médula espinal, etc.) no se permita que entren a la corriente del proceso, ya que el fertilizante podría encontrar su camino de regreso hacia el sistema ecológico.

## **COINCINERACIÓN / INCINERACIÓN**

En Europa se pueden encontrar ejemplos del coincineración/incineración de la HCH; Lagan Cement, Ltd. tiene planes de coincinerar hasta 45 por ciento de HCH con carbón en sus hornos. Castle Cement también tiene planes de sustituir una parte del carbón con HCH. Esta sustitución ofrece varias ventajas comparado con otras opciones de eliminación. No sólo proporciona un método de recuperación de energía, sino que reduce las emisiones netas de gases de efecto invernadero al reemplazar el carbón con un combustible de “carbón neutral”. El combustible de carbón neutral es un combustible derivado de biomasa. Se considera carbón neutral porque el carbón liberado de la combustión es absorbido de la atmósfera durante el crecimiento del organismo. Como se mencionó, el tratamiento a altas temperaturas ha mostrado tener los mejores resultados en la desactivación del prión de la BSE (USDA, 2005). Otra ventaja es que la ceniza resultante se incorpora al producto de cemento final. Por lo tanto, se reduce la cantidad de desperdicios sólidos que termina en los rellenos sanitarios.

## **INCLUSIÓN DE HARINA DE CARNE Y HUESO EN LAS MEZCLAS DE CONSTRUCCIÓN DE CEMENTO Y ASFALTO**

Parece que la aplicación de HCH en el cemento y asfalto para la construcción puede ser algo promisorio y garantiza que haya más investigaciones. Las aplicaciones más interesantes pueden hacerse más atractivas con la utilización de un producto de harina fraccionada.

La solución a corto plazo más atractiva está en el desarrollo de aplicaciones en la construcción. Como se mencionó, el valor calorífico de la HCH hace que sea marginal la economía de la recuperación energética, aunque estas dos soluciones son mucho más atractivas que el gasto de eliminar en un relleno sanitario.

Se anticipan pocos problemas del uso de la HCH en las aplicaciones de construcción. Las cuestiones ambientales percibidas de la recuperación de energía a través de la incineración pueden generar una opinión pública negativa y una considerable presión para cerrar esta forma de eliminación.

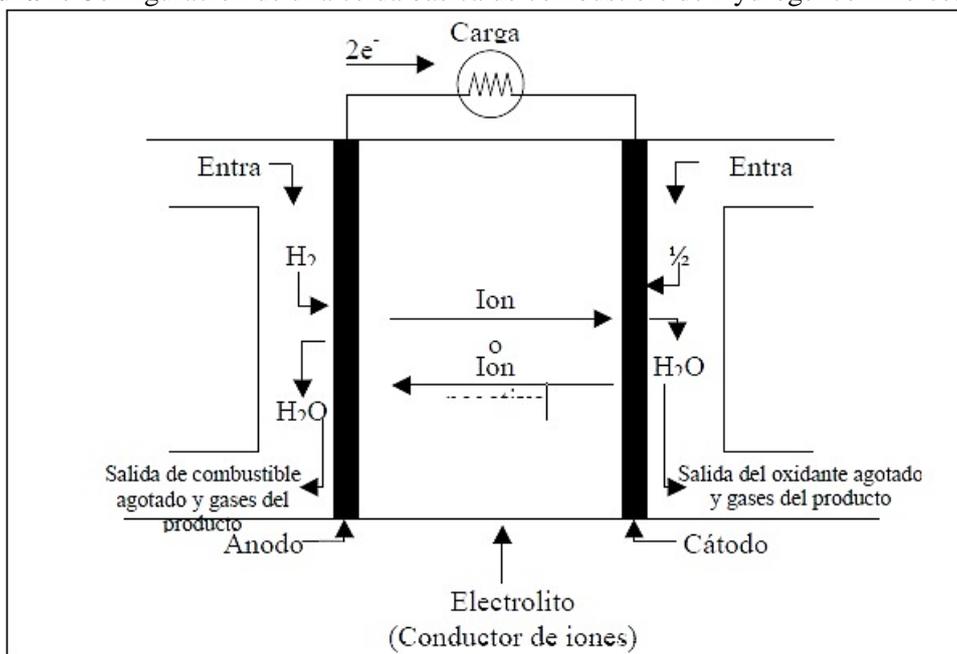
## GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

### APLICACIONES DE CELDAS DE COMBUSTIBLE

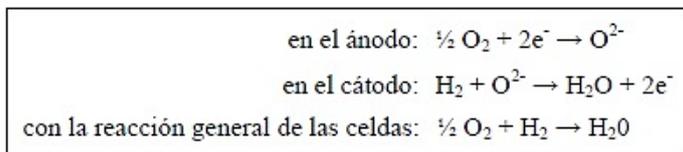
Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química directamente a electricidad. Las celdas de combustible ofrecen una ventaja inherente significativa en comparación con los ciclos de combustión típicos. En una máquina de combustión interna típica, la eficiencia se pierde debido a la conversión de la energía química almacenada, primero a energía térmica, luego a energía mecánica y finalmente a electricidad. Las celdas de combustible tienen el potencial de eficiencia significativamente mejor que las máquinas de combustión interna, ya que no están sujetas a las limitaciones de eficiencia del ciclo Rankine/Carnot. Existe el concepto erróneo común de que las celdas de combustible son portadoras de energía, como las baterías. De hecho, son convertidores de energía, similares en aplicación a las calderas o máquinas, aunque tienen una conversión más directa de la energía almacenada del combustible a electricidad. En teoría, la celda de combustible puede continuar produciendo energía indefinidamente si se proporciona una corriente de combustible, como el hidrógeno, de manera constante. Sin embargo, una batería no puede producir energía cuando se gasta la energía química almacenada. Esto es un atractivo obvio para prácticamente cualquier proceso de consumo de energía. Una eficiencia de conversión más alta de energía química almacenada a electricidad trae consigo una reducción de los costos operativos. El problema que tienen las celdas de combustible comercialmente hablando está relacionado a los costos muy altos de instalación y procesos que típicamente son más complicados y sensibles a la variación que la generación de energía estándar.

Se espera que disminuyan los problemas de fiabilidad y costo de capital conforme aumente la demanda de energía alterna, para así permitir a los fabricantes aprovechar las economías de escala y el mayor volumen. Con una mayor demanda, los fabricantes esperan que se puedan optimizar sus procesos de producción. Se está llevando a cabo mucha investigación con respecto a las configuraciones de celdas de combustible y los materiales de construcción para poder reducir los costos de capital.

Figura 1. Configuración de una celda básica de combustible de Hydrogencommerce.com.



La figura 1 muestra la configuración básica de una celda. Las reacciones electromecánicas que suceden dentro de ellas son:



Para poder producir energía de la celda, se requiere de una fuente constante de hidrógeno y de oxígeno. De particular interés, en términos de aplicaciones a la industria cárnica, es la integración de una tecnología de celdas de combustible con la digestión anaeróbica. A diferencia de otras opciones de conversión de energía, las celdas de combustible no pierden eficiencia al reducir el tamaño de la unidad. Una aplicación inmediata para la industria es la conversión del metano generada por digestión anaeróbica a energía, dióxido de carbono y agua.

Es de esperarse que la celda de combustible opere a temperaturas suficientemente altas como para facilitar la reformación de metano a hidrógeno y dióxido de carbono dentro de la celda de combustible. Hay opciones de celdas de combustible de baja temperatura que pueden operar con un paso de reformación externo. Hablando de manera general, se requiere aún de investigación para cuantificar el desempeño y la durabilidad de la celda de combustible reformada interna de alta temperatura impulsada con metano.

Es de esperarse que sean de gran interés las celdas de combustible de alta temperaturas. La demanda creciente de celdas de combustible va a corresponder al aumento en la demanda de los catalizadores de metales preciosos que se requieren para la operación de celdas de combustible de baja temperatura. Típicamente, se requieren catalizadores de platino para celdas de combustible de baja temperatura, mientras que el níquel o la perovskita pueden usarse para catalizar las celdas de combustible de alta temperatura.

## PROTEÍNAS PARA PLÁSTICOS

La demanda y uso de plásticos ecológicos fabricados de recursos renovables está en aumento anualmente. En la actualidad, las tecnologías más maduras utilizan almidones de trigo y de maíz, proteínas de soya y ésteres derivados de aceites como materias primas.

Hay pocos plásticos biodegradables producidos comercialmente que sean competitivos en el precio con los plásticos tradicionales derivados del petróleo, tales como el polietileno y el poliestireno. Por lo general se requiere de legislación, en forma de impuestos ambientales, para darle al plástico biológico un margen competitivo. El plástico biológico derivado de procesos de la fermentación (como los plásticos hechos de proteína) generalmente son más caros que los que se fabrican a través de procesos químicos. Las bajas tasas actuales de conversión de proteína a plásticos biológicos son un obstáculo significativo para que sean competitivos en precios.

Los plásticos más biodegradables son mecánica e inherentemente inferiores al polietileno y poliestireno. No obstante, el polietileno y el poliestireno están significativamente “sobrediseñados” para la mayoría de las aplicaciones. Por ejemplo, la bolsa de compras de plástico se puede llenar con productos hasta un punto en que es difícil levantarla, aunque la bolsa permanece intacta.

Una amplia gama de proteínas se pueden y se han usado para producir empaques biodegradables o comestibles y recubrimientos para productos alimenticios, farmacéuticos e industriales. Por ejemplo, el intestino delgado (predominantemente colágeno) fue el empaque original de los embutidos. Un libro recientemente editado por Gennadios (2002) proporciona una revisión integral de la materia. El formado se basa principalmente en el vaciado de disolventes, con agua, agua ácida, agua alcalina, o etanol acuoso como disolvente (dependiendo del tipo de proteínas). Se utiliza la extrusión para los productos de colágeno: una suspensión acuosa acidificada y purificada se extruye en un baño coagulante. La extrusión termoplástica, como la que se usa comúnmente en la industria del plástico, no se emplea para las películas a base de proteína. Sin embargo, existen pruebas de que algunas proteínas pueden mostrar propiedades termoplásticas; la inducción de estas propiedades para permitir el uso de tecnología de extrusión más “tradicional” es una de las áreas de investigación (Gennadios, 2002).

Las películas de proteínas en sí mismas tienden a ser bastante quebradizas, de tal manera que se puede usar una amplia gama de plastificantes, como el glicerol, el propilenglicol, el trietilenglicol, el sorbitol, la sacarosa y el polietilenglicol. El uso de plastificantes tiende a disminuir la dureza de la película y la resistencia a la tracción, al mismo tiempo que se incrementa la elasticidad y permeabilidad. Las propiedades de las películas de proteína también se pueden modificar al hacer enlaces cruzados de moléculas de proteína y modificar la estructura molecular con varios procesos físicos y químicos, tales como el calor, la presión, el corte, la irradiación y el tratamiento ácido o alcalino.

En general, la naturaleza hidrofílica de las películas de proteínas significa que tienen pocas propiedades de barrera contra la humedad, aunque su modificación estructural o la adición de ceras o lípidos puede disminuir la tasa de transmisión de vapor de agua (Tharanathan, 2003). Tienden también a tener malas propiedades mecánicas en comparación con las películas sintéticas y las basadas en polisacáridos. No obstante, en aplicaciones de humedad relativa baja a media puede proporcionar excelentes barreras al oxígeno, aroma y aceites.

Para poder tener éxito, necesita resolverse el principal problema técnico de la estabilidad de la película bajo procesamiento térmico. Necesita resolverse el principal desafío técnico de la estabilidad térmica de una proteína durante el procesamiento para poder desarrollar una capacidad de producción importante.

## HIDROXIAPATITA COMO CATALIZADOR

La hidroxiapatita (HAP) se encuentra en los huesos de las piernas de alta densidad de ganado, ovejas y cabras. Algunos de los usos actuales de la HAP sintética son como absorbente, como catalizador y sustrato dental, y como sustituto del hueso. Claramente, la percepción del público elimina el uso de productos animales en aplicaciones biomédicas, de ahí que las aplicaciones fundamentales de la HAP sean como un catalizador y absorbente.

El mercado de tubos de escape de automóviles de catalizador sólido y las celdas de combustible es un área de alto valor añadido que parece tener crecimiento futuro en el crecimiento potencial del sector de la nanotecnología. Hay experiencias anteriores en el uso de la HAP sintética como apoyo de catalizador (por ejemplo, Lewis et al. (U.S. Patent Office, 2003)). Sin embargo, la especificidad catalítica difiere entre las diversas formas del material. Esta especificidad puede permitir a la HAP derivada de animales diferenciarse de su rival sintético.

La búsqueda de patentes sobre la materia revela un gran número de referencias con relación a los diferentes usos de la HAP. La libertad de operación va a depender de encontrar el camino a través de laberinto de patentes japonesas publicadas en los últimos años.

Va a ser difícil penetrar y desarrollar el mercado médico para humanos para huesos reconstruidos y aplicaciones dentales. Los mercados no humanos de la cerámica de HAP y catalizadores eliminan el impacto de la salud percibido con el contacto humano. En este paso hay muy poca información en el dominio público para llegar a la conclusión de futuras oportunidades. Sin embargo, existe un área de aplicación de riesgo moderado con el potencial de añadir valor a la cadena de coproductos del HCH. La investigación clave y los desafíos de desarrollo son:

- ◆ Escalamiento del proceso
- ◆ Variación natural en las materias primas
- ◆ Pruebas de desempeño contra las alternativas sintéticas.

Si la HAP puede llenar incluso a una aplicación nicho en el mercado de cerámicas o de catalizadores, la demanda de su oferta tendría un impacto considerable sobre la industria de coproductos.

## PROTEÍNAS COMO ADHESIVOS

Como se mencionó anteriormente en este capítulo, las corrientes de proteína de los coproductos reciclados van muy bien con las aplicaciones de adhesivos, debido al gran número de funcionalidades químicas para la adhesión. El principal mercado objetivo es para las formulaciones de adhesivos a base de proteínas que pueden actuar como sustitutos de las resinas de formaldehído, y particularmente, las resinas de urea-formaldehído en aplicaciones para adhesivos de productos de mezclas de maderas, tales como la madera laminada, madera comprimida, y los aditivos químicos para la fabricación de papel y recubrimientos. Los adhesivos a base de proteínas animales se pueden derivar de la sangre animal, aunque algunos involucran el uso de proteínas específicas principalmente seleccionadas del colágeno y la albúmina sanguínea.

El uso de proteína de desecho como materia prima en la fabricación de adhesivos para las mezclas de madera ha sido tema de un amplio estudio en muchos países en los últimos 50 años. A pesar de este hecho, hay pocos usos, si es que los hay, a gran escala de las proteínas animales de desecho en esta forma.

La mayor parte de los adhesivos de menor fuerza, que no resistentes al agua se encuentran en la parte más baja de la escala de costos y encuentran su uso en productos de construcción de interiores, principalmente en pisos. El valor relativamente bajo de la mayor parte de los productos adhesivos junto con los costos de transformar la proteína animal de desecho a una forma que sea apta para su uso en la formulación de adhesivos hace que este uso no sea económicamente atractivo.

En comparación con los adhesivos de mezclas de maderas, se ha explorado muy poco la posible aplicación de los productos de proteína animal de desecho para fabricar papel y cartón. Se combinan los importantes defectos de desempeño en muchos químicos que actualmente se usan y su alto valor relativo para hacer este un posible producto atractivo para las proteínas de desecho.

La barrera para las aplicaciones en el mercado de mezclas de madera es la baja resistencia al agua inherente de los adhesivos a base de proteína y el deterioro biológico acelerado resultante del producto. Las investigaciones en los procesos de enlaces cruzados y la adición de reactivos o la modificación de grupos funcionales puede superar algún aspecto de los adhesivos de la mala resistencia al agua, pero es poco probable que produzcan una resina epóxica que se parezca a las resinas sintéticas, ya sea en desempeño o en costo. Existe el potencial real en papel y cartón para empaque de almacenamiento de corto plazo (uno a tres meses).

Los adhesivos se usan para reducir la deformación (fatiga o falla progresiva dependiente del estrés) en las cajas apilables, pero como resultado el contenedor no se puede reciclar. Cada vez hay más presión para reciclar todas las formas de papel. Existe el problema adicional de que las cajas de cartón recicladas muestran cuatro veces más deformación (U.S. Patent Office, 2003). Si los adhesivos a base de proteína sustituyen a la versión actual no reciclable, la inoculación con una proteasa (para hacer el adhesivo hidrosoluble) podría hacer posible el reciclaje del artículo utilizado.

Las investigaciones con éxito y en el desarrollo de los agentes de enlaces cruzados que reducen significativamente la deformación general en las cajas recicladas haría que los adhesivos a base de proteínas animales de desecho fueran una realidad comercial. La eliminación de formaldehídos, particularmente de las formulaciones interiores es un paso muy positivo hacia la percepción pública. Para ir hacia lo ecológico y el hecho de que este adhesivo podría fabricarse de una corriente de desecho se combinaría para dar una ventaja comercial significativa sobre los productos tradicionales.

El mercado del empaque de cartón tendría el mayor uso de producto, por lo que el desarrollo de un adhesivo apto para esta aplicación generaría una mayor demanda de los coproductos de proteína.

## INCENTIVOS PARA EL DESCUBRIMIENTO

El preámbulo de la conferencia de inauguración del Clemson University Animal Co-Products Research and Education Center (abril 2006) plantea que “es imperativo para la sociedad que la industria de reciclaje permanezca viable”. Como se consigna en el primer capítulo de este libro, “Visión general de la industria del reciclaje”, la disponibilidad de productos reciclados para alimentos de animales en el futuro depende de las reglamentaciones y del mercado. Las reglamentaciones futuras con relación a la bioseguridad y a la protección ambiental tienen el potencial de restringir el acceso al mercado tradicional de los coproductos reciclados. De ahí que sea esencial que se descubran, investiguen y desarrollen nuevas aplicaciones y formas de disposición rentables de los coproductos en procesos comerciales viables y se adopten ampliamente por parte de la industria para poder mantener el reciclaje de subproductos de origen animal como un servicio viable y valioso para el sector del procesamiento de la carne.

## BIBLIOGRAFÍA

1. California Department of Food and Agriculture. 2006. Beef by-products. [www.cdfa.ca.gov/ahfss/mpi/by\\_products.htm](http://www.cdfa.ca.gov/ahfss/mpi/by_products.htm)
2. Duncan, J. 2003. Costs of Biodiesel Production. Energy Efficiency and Conservation Authority, New Zealand. [www.eeca.govt.nz/eecalibrary/renewableenergy/biofuels/report/cost-of-biodiesel-production-03.pdf](http://www.eeca.govt.nz/eecalibrary/renewableenergy/biofuels/report/cost-of-biodiesel-production-03.pdf).
3. DynaMotive. 2006. [www.DynaMotive.com](http://www.DynaMotive.com).
4. Freel, B., and R. Graham. 2000. Commercial Bio-oil Production via Rapid Thermal Processing. Ensyn Group, Boston. [www.ensyn.com/info/11122000.htm](http://www.ensyn.com/info/11122000.htm).
5. Gennadios, A. 2002. Protein-based films and coatings. 1st ed. CRC Press.
6. Grummer, R.R. 1992. Chapter 6: Inedible Fats and Greases. Inedible Meat By-Products. Eds. Pearson, A.E. and T.R.Dutson. Elsevier Applied Science, London and New York. pp. 113-148.
7. Hanlon, J., R. J. Kelsey, and H. E. Forcinio. 1998. Handbook of Package Engineering. 3rd ed. CRC Press.
8. Khan, A. 2002. Research into Biodiesel Kinetics and Catalyst Development. The University of Queensland.
9. Liu, B., Y. Zhang, J.W. Tierney, and I. Wender. 2005. Hydrogen by Catalytic Reforming of Glycols. Department of Chemical Engineering, University of Pittsburgh.
10. McArthur, K. 1996. Financial Feasibility Analysis of Alternative Potential Biomass Based Products. University of Nevada, Reno. [www.ag.unr.edu/uced/reports/technicalreports/fy1995\\_1996/9596\\_12rpt.pdf](http://www.ag.unr.edu/uced/reports/technicalreports/fy1995_1996/9596_12rpt.pdf)
11. National Biodiesel Board. 2005. Cold weather blending study. [www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20050728\\_Gen-354.pdf](http://www.biodiesel.org/resources/reportsdatabase/reports/gen/20050728_Gen-354.pdf)
12. Nelson, R.G., S.A. Howell, and J. Weber. 1994. Potential Feedstock Supply and Costs for Biodiesel Production. Presented at the sixth national bioenergy conference in Nevada, October 2-8.
13. Paisley, M. 2003. Biomass Energy. Kirk-Othmer Encyclopaedia of Chemical Technology.
14. Papadopoulos, E., and S. Clarke. 2005. Modification of Tallow for Better Performance as Biodiesel. Flinders University, Adelaide, Australia.
15. Pearl, G.G. 2003. Non-feed, non-food applications for animal by-products. *Render*. 32(1):22-25.
16. Tharanathan, R.N. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trend in Food Science and Technology*. 14:71-78.
17. USDA. 2005. General Guidelines for the Disposal of Carcasses. [www.aphis.usda.gov/NCIE/oie/pdf\\_files/tahc-carcass-disp-jan05.pdf](http://www.aphis.usda.gov/NCIE/oie/pdf_files/tahc-carcass-disp-jan05.pdf).
18. U.S. Patent Office. 1996. Patent number 5569482, Process for producing edible proteinaceous film.
19. U.S. Patent Office. 2003. Patent number 6544439, Low coke formation catalysts and process for reforming and synthesis gas production.
20. Wang, P. 2003. The production of isopropyl esters and their effects on a diesel engine. Iowa State University. [www.me.iastate.edu/biodiesel/Technical%20Papers/Wang%20Intro.pdf](http://www.me.iastate.edu/biodiesel/Technical%20Papers/Wang%20Intro.pdf).
21. Wang, Y., and G.W. Pauda. 2003. Tensile Properties of Extruded Zein Sheets and Extrusion Blown Films. *Macromolecular Materials and Engineering*. 228:886-893.
22. Wisconsin Biorefining Development Initiative. 2006. [www.wisbiorefine.org](http://www.wisbiorefine.org).

Volver a: [Carne y subproductos](#)