

# *BIODIESEL:* sustentabilidad tecnológica y competitividad económica



Gerardo D. López

# Introducción

- # El propósito de la presentación es analizar dos factores cruciales -tecnología y economía - que impactan sobre la viabilidad de la producción y uso de biodiesel como combustible *ecológicamente aceptable*, *técnicamente eficaz* y *económicamente competitivo*, apto para consolidar un sistema de transporte enmarcado en los criterios del **desarrollo sustentable**.

# Temas de discusión

- # **Caracterización del biodiesel**
- # **Externalidades**
- # **Recursos**
- # **Producción**
  - # *Aspectos técnicos*
  - # *Aspectos económicos*
- # **Perspectivas**

# Caracterización del biodiesel

- # ***Biodiesel***: combustible elaborado a partir de aceites vegetales o grasas animales, apto como sustituyente parcial o total del gasoil en motores diesel, sin que resulten necesarias conversiones, ajustes o regulaciones especiales del motor.
- # **Técnicamente**: ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos naturales

# Caracterización del biodiesel

# ***Biodiesel***: La Agencia de Protección Ambiental (EPA/EE.UU.) lo tiene registrado para utilización como *combustible puro* (100% de biodiesel, o B100), como *mezcla-base* (con 20% de biodiesel y el resto de gasoil, B20), o como *aditivo* de combustibles derivados del petróleo en proporciones del 1 al 5%.

# Caracterización del biodiesel

# ***Biodiesel***: En diferentes países se han establecido diversas normas y ensayos para estandarizar este biocombustible. A manera de ejemplo, se presenta en el cuadro 1 la normativa fijada en Argentina<sup>[i]</sup> para biodiesel puro (100%)

<sup>[i]</sup> Secretaría de Energía y Minería de Argentina, Resolución 129/2001

# Caracterización del biodiesel

**Cuadro 1: Especificación técnica de biodiesel puro – Argentina**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>METODO ASTM (o IRAM según el caso)</b>	<b>LIMITES</b>	<b>UNIDADES</b>
Punto de inflamación	ASTM D93	100.0 min	° C
Agua y sedimentos	ASTM D1796	0.050 max	%
Viscosidad cinemática a 40 °C	IRAM – IAP A 6597	3,5 a 5	centistokes
Azufre	ASTM D4294 o IRAM – IAP A 6539 o A 6516	0.01 max	% en peso
Número de cetano	ASTM D613/96	46 min	
Densidad	ASTM D1298	0,875 a 0,900	
Alcalinidad	ASTM D664	0.50 max	mg KOH/g
Glicerina libre	ASTM 6584-00 o NF T 60-704	0.020 max	% en peso
Glicerina total	ASTM 6584-00 o NF T 60-704	0.24 max	% en peso

# Caracterización del biodiesel

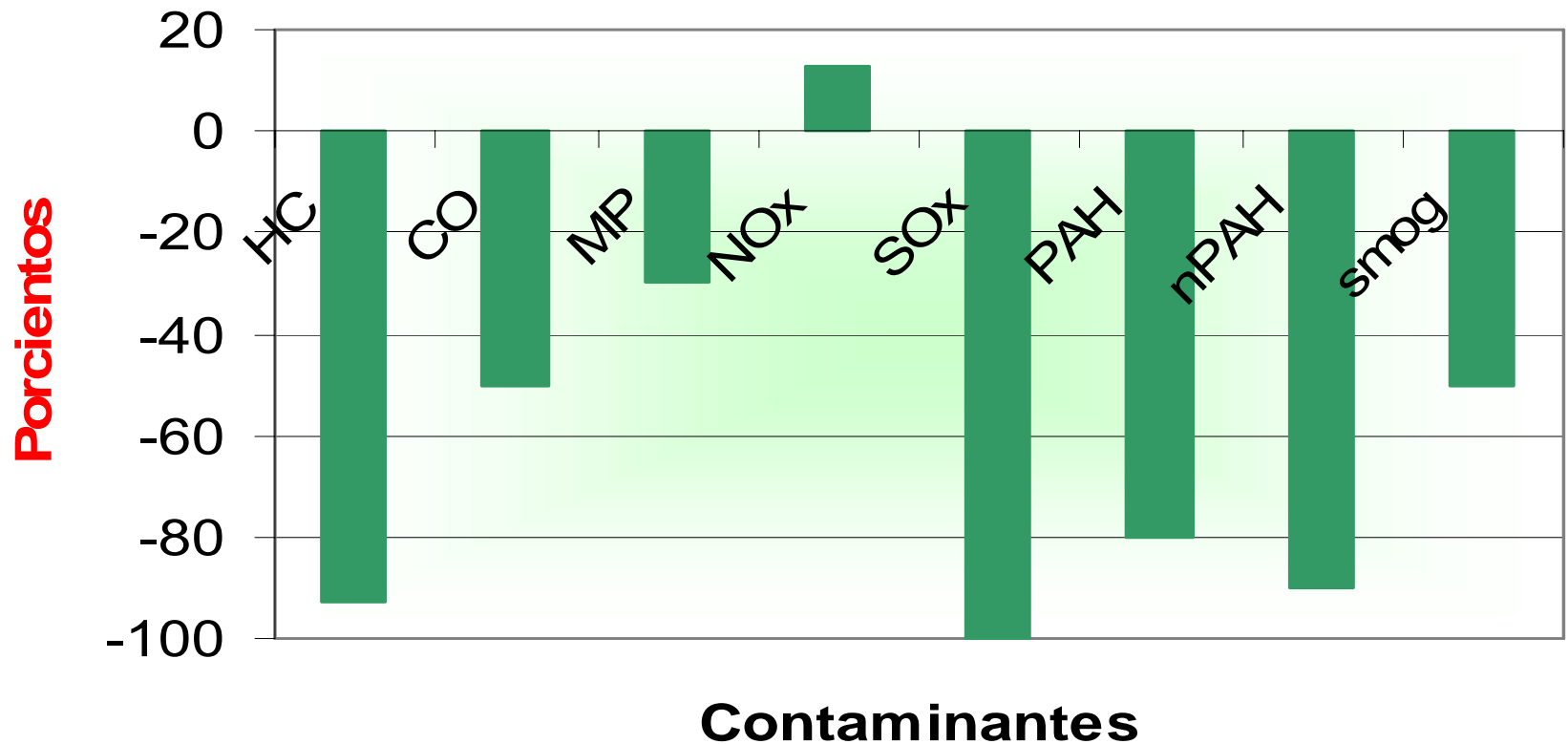
## # ***Biodiesel***: impacto ambiental

- # El Biodiesel puro ( B 100) comparando con el gasoil N° 2 , reduce las emisiones de todos los contaminantes, incluyendo materias particuladas, excepto el NOx
- # En el balance general se reduce el *smog* potencial
- # Se reducen los niveles de hidrocarburos poliaromáticos (cancerígenos) en un 75%
- # El benzo(a)antraceno se reduce en un 50%.



# Caracterización del biodiesel

## Reducción de las Emisiones



# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # VENTAJAS

- Mínimas diferencias en torque, potencia y consumo de los motores
- Mayor punto de ignición (reduce peligro de explosiones por emanación de gases durante el almacenamiento)
- Índice de cetano promedio de 55
- Mayor lubricidad (favorece el funcionamiento del circuito de alimentación y de la bomba de inyección)

# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # + VENTAJAS TÉCNICAS (USO)

- No se requieren mayores modificaciones en los motores diesel convencionales para su uso, obteniéndose similares rendimientos
- Su utilización sustitutiva no demanda modificaciones de la infraestructura de distribución y venta de combustibles líquidos ya instalada
- Transporte y almacenamiento más seguros dado el alto *flash point* del biodiesel

# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # + VENTAJAS TÉCNICAS (AMBIENTALES)

- Alta biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa
- Al no contener azufre permite el uso de catalizadores para mejora de la combustión y minimización de gases de escape

# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # + VENTAJAS SOCIOECONÓMICAS

- Viabiliza el autoabastecimiento de combustible al productor agropecuario (en términos de microeconomía)
- Independiza a los países agroproductores del abastecimiento de combustibles fósiles por parte de los países productores de petróleo (en términos de macroeconomía)
- Los proyectos de inversión asociados a una sustitución en cualquier escala constituyen una fuente potencial de nuevos puestos de trabajo

# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # LIMITACIONES - DESVENTAJAS

#### # Factibilidad económica:

- alta dependencia del costo de las materias primas
- Generación de un coproducto (glicerina) cuya purificación a grado técnico solo es viable para grandes producciones

# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # LIMITACIONES - DESVENTAJAS

#### # Aspectos técnicos:

- problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)
- escasa estabilidad oxidativa (vida útil / período máximo de almacenamiento inferior a seis meses)

# Caracterización del biodiesel

## *Biodiesel versus gasoil:*

### # LIMITACIONES - DESVENTAJAS

#### # Aspectos técnicos: *poder solvente*

- Incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural (*eventual sustitución de algunos componentes del motor: mangueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares*)
- Cuando se lo carga en tanques sucios por depósitos provenientes del gasoil, al "limpiar" dichos depósitos por disolución parcial, puede terminar obstruyendo las líneas de combustible



# Externalidades

- # **Aspecto esencial:** el **biodiesel** es un combustible obtenido mediante un proceso **sustentable** a partir de materias primas vegetales renovables, a diferencia de los derivados del petróleo, que dependen de reservorios fósiles no renovables. Por ello se dice que el biodiesel tiene un *efecto positivo sobre el ciclo del carbono*

# Externalidades

## Aspecto esencial (1)

# *La combustión libera a la atmósfera dióxido de carbono ( $CO_2$ ), elemento que se asocia al "efecto invernadero". Pero ese  $CO_2$  es a su vez fijado por los vegetales, que lo utilizan como materia prima para construir sus tejidos*

# Externalidades

## Aspecto esencial (2)

- # *Es posible cuantificar el "crédito" ambiental de un combustible de base renovable calculando cuánto  $CO_2$  fija una plantación de oleaginosa determinada, y comparándolo con el  $CO_2$  que genera la combustión del biodiesel que se puede fabricar con esa misma plantación*

# Externalidades

## Aspecto esencial (3)

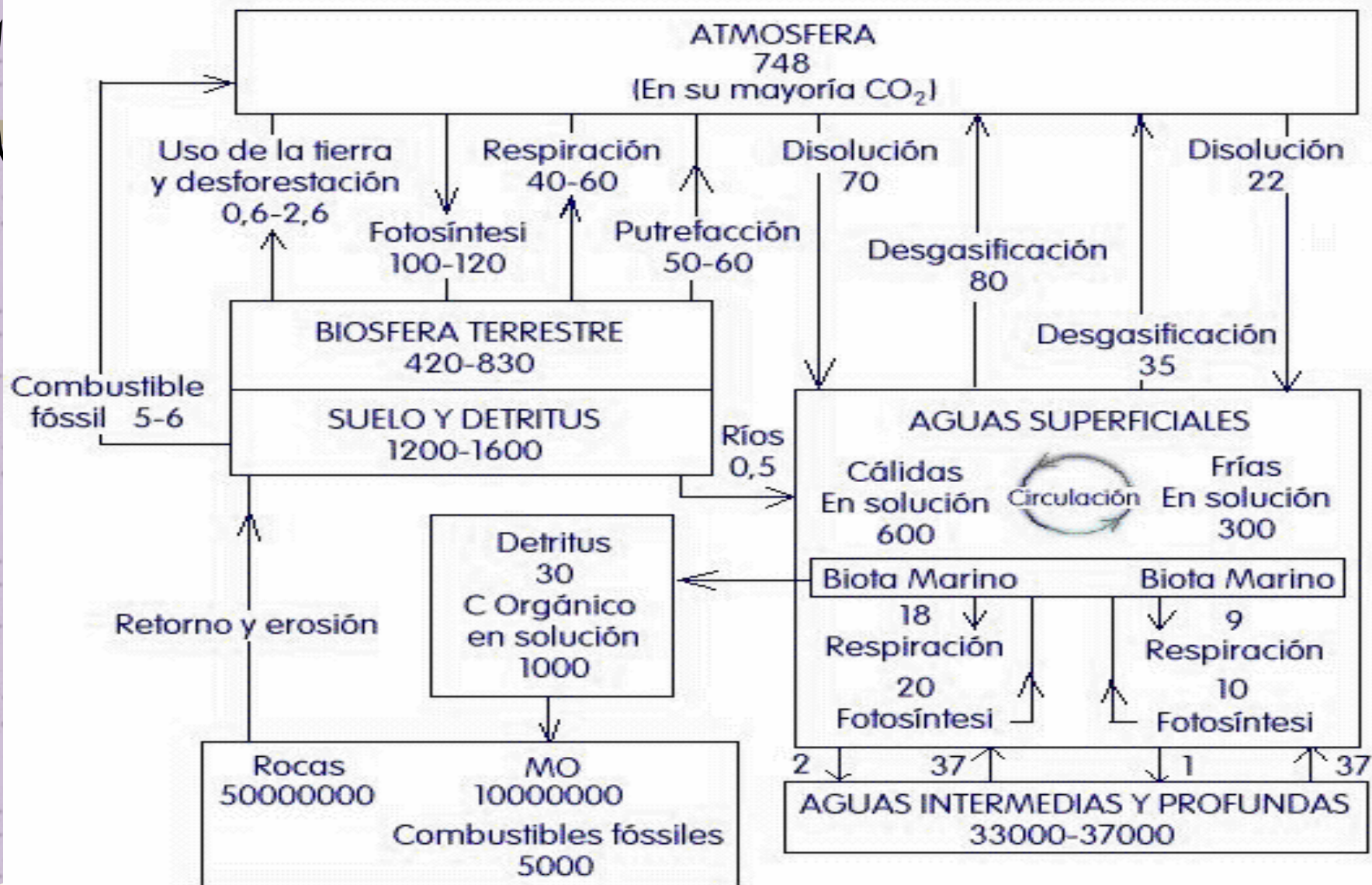
- # *Cualquiera sea este "crédito ambiental" (que dependerá del tipo de oleaginosa, del proceso de fabricación del biodiesel y de la eficiencia de combustión de los motores) siempre será mayor que el de un combustible fósil que, por su propia naturaleza, sólo genera gases de combustión sin que en su proceso de fabricación aparezca una fase agrícola de fijación de carbono*

# Externalidades

## Aspecto esencial (4)

# *De hecho, esta consideración de las externalidades de los distintos tipos de combustible es talvez el fundamento más importante de las políticas energéticas a corto plazo de la Unión Europea*

# Externalidades



# Recursos

- # Un planteo racional de alternativas de sustitución de combustibles requiere **definir y cuantificar las materias primas** utilizables.
- # Como se ha mencionado, el biodiesel puede fabricarse a partir de aceites vegetales o de grasas animales, inclusive de baja calidad

# La vida real

- ✦ Salvo casos especiales (*Escuela de Tres Arroyos, que recibe aceites usados en donación*), en la práctica el único sector industrial que está en condiciones de proveer **materia prima** con los **requisitos técnicos** mínimos (estabilidad, residuo carbonoso de Conrad, etc.) en los **volúmenes** demandados para **uso extendido y continuo** por un mercado masivo como el de combustibles, es la **industria de oleaginosas**



# La vida real: *factibilidad*

## *ESCENARIO: Provisión de la materia prima básica del biodiesel*

- # *Enfoque cuantitativo*
- # *Contexto geográfico específico*
- # *Análisis en dos niveles:*
  - *Cuantificación del recurso primario (producción agrícola de oleaginosas)*
  - *Evaluación de la materia prima específica (aceites vegetales en conjunto y discriminada por fuentes)*

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## DEFINICIONES (1):

En el término "recursos oleaginosos" se incluyen tanto las cosechas anuales (semillas, como por ejemplo el girasol) como las plantas perennes cuyas semillas, frutas, mesocarpio o nueces son valorizadas fundamentalmente por los aceites comestibles o industriales que se extraen de ellas, sin perjuicio que además sean fuente de otras materias primas (como las fibras del algodón de cuyas semillas se extrae el aceite vegetal correspondiente)

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## DEFINICIONES (2):

- # *Datos de producción: productos en base seca tal como se comercializan,*
- # *Área de cosecha (en hectáreas): superficie efectivamente cosechada, excluyendo zonas con plantaciones no recolectadas por distintos factores (climáticos, desastres naturales, etc.)*
- # *Para cultivos que se plantan más de una vez al año en el mismo sitio, el área se reporta multiplicada por el número de cosechas efectivas anuales*

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## DEFINICIONES (3):

- # *Rendimiento: producción total efectivamente cosechada (suma de la comercializada en el mercado y de la autoconsumida por el productor) por unidad de área, que se reporta en hectogramos (100 gramos) por hectárea.*
- # *Los datos referidos a "semillas", en toneladas métricas (ton), reflejan la cantidad del recurso que es reservado para futuras plantaciones*

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## DEFINICIONES (4):

# Debido a la naturaleza diferente de los distintos tipos de recurso oleaginosos, los productos primarios no pueden ser agregados por la suma de sus pesos naturales para definir una producción global de oleaginosas. Por esta razón, es necesario recurrir a un "equivalente en aceite" para determinar la producción agregada

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## RECURSO PRIMARIO (1):

### USOS a escala mundial

- # Solo entre el 5 y el 6% de la producción de oleaginosas se utiliza como semilla y alimento para ganado
- # Alrededor del 8% se emplea en la alimentación humana en forma directa
- # El porcentaje restante se procesa para la fabricación de aceite

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## RECURSO PRIMARIO (2):

### COMPOSICIÓN BÁSICA de la biomasa

- # *Contenido en aceite: varía en un amplio rango, desde 10 al 15% en peso para el coco, hasta más del 50% para las almendras de la palma.*
- # *Carbohidratos (básicamente polisacáridos): 15 al 30% del peso de las semillas oleaginosas*
- # *Proteína: muy alto en el caso de la soja (hasta un 40%, lo que justamente define a este producto como proteico, constituyendo el aceite prácticamente un subproducto de la explotación integral del recurso); pero bastante menor en otras semillas oleaginosas (15 a 25%) y mas bajo aún en los restantes recursos*

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

*MATERIA PRIMA PARA BIODIESEL (1):*

## EXTRACCIÓN

*# Métodos tradicionales: requieren de varias operaciones preliminares (molienda, pelado, decascarado, etc.) luego de las cuales el producto se compacta como una pasta y se hierve en agua agitando hasta que el aceite se separe*



# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## MATERIA PRIMA PARA BIODIESEL (2):

### EXTRACCIÓN

# *Métodos modernos: incluyen tanto la molienda como el prensado a escala industrial, además de la extracción del aceite mediante un solvente adecuado, usualmente hexano, que es la técnica más eficiente. El residuo de extracción se usa habitualmente en raciones animales*

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## *MATERIA PRIMA PARA BIODIESEL (3):*

### PROCESAMIENTO

- # Aceites crudos: degomado o filtrado*
- # Aceites para consumo humano: refinación para eliminar impurezas, toxinas y olores desagradables (lo que implica una pérdida del 4 al 8% respecto de la masa original de aceite crudo)*

# Estudio de caso: recursos oleaginosos

## *MATERIA PRIMA PARA BIODIESEL (4):*

### COMPOSICIÓN

- ✦ *Por contraste con las grasas animales, en los aceites vegetales predominan dos tipos de ácidos grasos insaturados (líquidos de baja densidad a temperatura y presión ambiente)*
  - ✦ *monoinsaturados (ácido oleico, como en el caso del aceite extra virgen de oliva) y*
  - ✦ *poliinsaturados (ácidos linoleico y linolénico, como en los aceites extraídos de semillas oleaginosas)*

# COMPARACIÓN DE ALGUNOS ACEITES VEGETALES

ACEITE	GIRASOL Refinado	SOJA semidesgomado	COLZA refinado	PALMA refinado
Indice de iodo	139	132.6	104.3	53
Densidad a 25°C	0.917	0.920	0.908	0.899
Aspecto	Líquido	Líquido	Líquido	semisólido
Indice de refracción a 25°C.	1.473	1.473	1.472	(40°) 1.454
Indice de saponificación	190	193	175	200
Ácidos Grasos saturados	12.5	15.8	6.8	51
Ácidos Grasos no saturados	87.5	84.2	93.2	49
Ácidos grasos libres %	0.5	0.5	1.3	>5
Materia insaponificable	<1.5%	<1.5%	<1.5	<0.8

# Producción: aspectos técnicos

- # **PROCESO:** *transesterificación catalítica de glicéridos*, en el cual se hace reaccionar aceite vegetal o grasa animal con un alcohol de bajo peso molecular (metanol o etanol), en presencia de un catalizador adecuado, a baja presión y temperatura.
- # **PRODUCTOS:** se genera *biodiesel* con un rendimiento de conversión del 98% y, como subproducto principal, *glicerina*.

# Producción: aspectos técnicos

- # **TECNOLOGÍAS:** A escala industrial existen tres rutas básicas para la elaboración de ésteres metílicos a partir de grasas y aceites:
  - # ✓ Transesterificación catalítica del aceite en **medio básico** con metanol
  - # ✓ Transesterificación catalítica directa del aceite en **medio ácido** con metanol
  - # ✓ Conversión del aceite en ácidos grasos en una primera etapa y luego a ésteres metílicos con catálisis ácida

# Producción: aspectos técnicos

## # TECNOLOGÍA PREFERIDA EN LA ACTUALIDAD:

*reacción catalítica en medio básico, por conveniencia y economía*

- # ✓ Condiciones operativas moderadas de P y T
- # ✓ Altos rendimientos de conversión (hasta 98%) con tiempos de residencia relativamente cortos y muy pocas reacciones secundarias
- # ✓ Conversión directa al producto final en una sola etapa de reacción
- # ✓ Posibilidad de utilizar materiales convencionales (acero al C) en la construcción de equipos, por la baja agresividad química de los reactivos empleados

# Producción: aspectos técnicos

EJEMPLO: Proyecto **IBEROEKA** (en gestión 2006)

## # *Objetivos:*

- # Diseño, construcción y optimización de una **Planta de Demostración para la obtención de Biodiesel**, con una capacidad de producción de unas 6.000 t/año de biodiesel ( $\approx 1.000$  l/h), partiendo de cultivos de girasol y colza
- # **Aprovechamiento de los subproductos** generados a lo largo de todo el proceso productivo (torta de extracción, residuos biomásicos agrarios derivados del cultivo, glicerina y aguas de lavado)



# Producción: aspectos técnicos

EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA (en gestión 2006)

## Objetivos:

- ✦ **Proceso Integrado de Desarrollo Sostenible, interrelacionado con el medio rural agrario**, que cumpla la *Estrategia de la UE sobre Biocarburantes*, facilite arraigo de poblaciones agrarias en las zonas de cultivo y permita uso de recursos autóctonos, para disminuir la dependencia energética del exterior.
- ✦ Planta de demostración con integración de las tecnologías más adecuadas, tomando en cuenta posibles modificaciones de la norma EN14214 (calidad del biodiesel), ampliando tipo de aceites a emplear (además de colza) y uso de bioetanol

# Producción: aspectos técnicos

**EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA** (en gestión 2006)

## *Objetivos:*

- # Construcción de la planta de demostración de biodiesel en la Comunidad Autónoma de Castilla y León (España).
- # Una vez publicada la nueva normativa de calidad sobre el biodiesel, pruebas para adecuar el proceso a las oleaginosas de la Región y usar bioetanol en sustitución del metanol.
- # Proyecto: resultado del interés mutuo entre la cooperativa agraria ASAJA (España), la empresa C.T. BRAVO E HIJOS S.A. (España), la Ingeniería SIT S.R.L. (Argentina), la empresa FIMACO (Argentina), el Instituto Tecnológico INGAR (UTN - Argentina) y la Fundación CARTIF (España), para elaboración conjunta de un proceso integrado de desarrollo sostenible de obtención de biodiesel.

# Producción: aspectos técnicos

EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA (en gestión 2006)

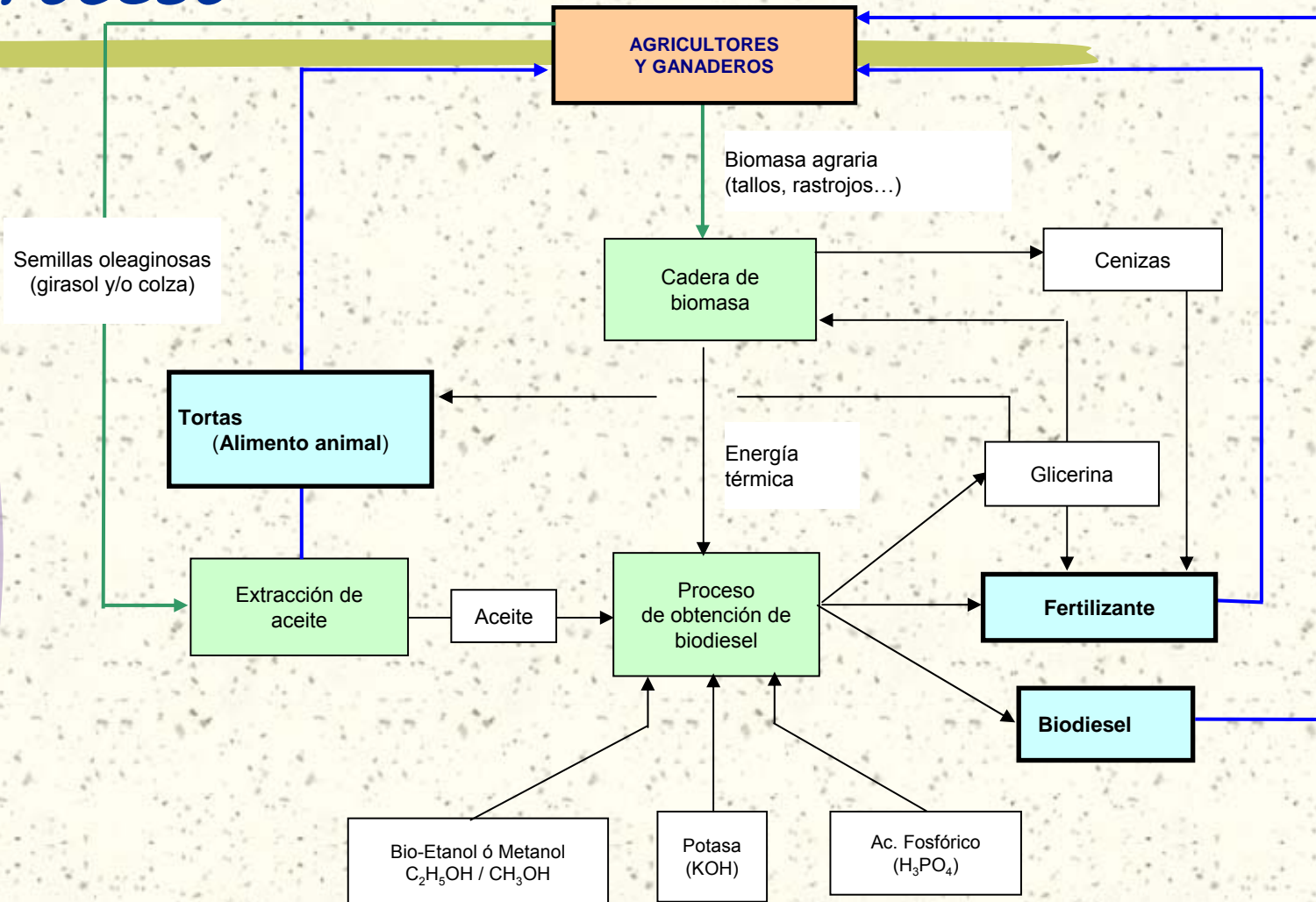
## Operación:

- # La planta podrá operar en continuo o por lotes (discontinuo o *batch*)
- # Módulo completo:
  - planta de extracción de aceite (colza y girasol)
  - sistema de obtención de fertilizante líquido a los efectos de capitalizar los créditos de subproducto.

# Producción: aspectos técnicos

EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA (en gestión 2006)

## Proceso



# Producción: aspectos técnicos

EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA (en gestión 2006)

## *Proceso integrado*

**Los agricultores proporcionarán, por una parte las semillas necesarias para la obtención del aceite vegetal, y por otra se les recogerán los residuos agrícolas biomásicos de sus cultivos, con objeto de producir con ellos la energía térmica necesaria en el proceso y para el pretratamiento de las semillas oleaginosas (secado). A su vez, tendrán como beneficios los siguientes productos y subproductos: biodiesel, fertilizantes y pienso animal.**

# Producción: aspectos técnicos

**EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA** (en gestión 2006)

*Proceso: materia prima*

- # Las semillas se someten a un proceso de secado y extracción mecánica, dando lugar al aceite vegetal y una torta de extracción muy rica en nutrientes, que se puede vender como pienso para alimentación animal o usarse para el ganado de los propios agricultores.
- # Con el aceite (mas las restantes materias primas: alcohol, potasa y ácido fosfórico o sulfúrico) se producirá el biodiesel.

# Producción: aspectos técnicos

**EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA** (en gestión 2006)

*Proceso: alternativas para materia prima*

## **Extracción distribuida:**

- una o más extractoras portátiles que recorra los distintos centros de producción
- pequeñas extractoras en cada lugar de producción de semillas, equipados cada uno con un depósito pulmón de almacenamiento de aceite.
  - El objetivo, en ambos casos, es minimizar el coste logístico derivado del traslado de la semilla, ya que de esta manera se desplazaría exclusivamente el aceite ( $\approx 1/3$  del total de la semilla recolectada)

## **Extracción centralizada:**

- disminución del personal técnico necesario para el empleo de esta maquinaria

# Producción: aspectos técnicos

EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA (en gestión 2006)

# *Proceso: subproductos*

# **Fertilizante**, por mezcla de:

- **Cenizas:** del proceso de combustión de los residuos agrícolas que generan energía en el proceso. Son ricas en P y K.
- **Glicerina:** resultado de la reacción de producción de biodiesel; componente que aporta materia orgánica a las fincas.
- **Fosfato o Sulfato potásico:** resultado de la neutralización del biodiesel



# Producción: aspectos técnicos

**EJEMPLO: Proyecto IBEROEKA** (en gestión 2006)

*Proceso: subproductos*

**Energía, por utilización de:**

- **Caldera de biomasa que utilice como combustible los restos de los cultivos. Se pretende así, dar una solución a la gestión de estos residuos agrícolas, al tiempo que se consigue su aprovechamiento energético.**
- **Glicerina, que se puede emplear también para la co-producción de energía térmica, si se mezcla con la biomasa residual con la que se alimenta la caldera de biomasa, instalada para tal efecto**
- **Glicerina (alternativa): empleo como pienso animal.**

# Producción: aspectos económicos

## DEMANDAS QUE SATISFACE UN MÓDULO DE 1.000 l/día:

**Tractor de 160 CV nominales** operando a potencia máxima consume 38 l/hora de biodiesel. Con este uso se tendría que la producción diaria abastece algo más de un tractor grande por día de trabajo (24 horas) a potencia máxima.

**Tractor de 65 CV nominales** operando a potencia máxima consume 17 l/hora de biodiesel. Con este uso se tendría que la producción diaria abastece más de **dos tractores** pequeños por día de trabajo (24 horas) a potencia máxima.

**Automotor gasolero** en rendimiento promedio: 100 km con 8 l biodiesel. Con este uso se tendría que la producción diaria abastece **125 automóviles gasoleros recorriendo 100 km diarios cada uno.**

# Producción: aspectos económicos

DEMANDAS QUE SATISFACE UN MÓDULO DE 1.000 l/día:

**Transporte de pasajeros:** 100 km con 35 l biodiesel. Con este uso se tendría que la producción diaria abastece poco menos de **3 autobuses** de transporte de pasajeros recorriendo **1.000 km diarios cada uno.**

**Camión para transporte de cargas:** 100 km con 35 l biodiesel. Con este uso se tendría que la producción diaria abastece poco menos de **3 camiones** de transporte de cargas recorriendo **1.000 km diarios cada uno.**

# Producción: aspectos económicos

## **COSTOS OPERATIVOS:**

<b>INSUMO</b>	<b>CONSUMO UNITARIO</b>
<b>Aceite vegetal</b>	<b>910 kg</b>
<b>Metanol</b>	<b>90 kg</b>
<b>Soda cáustica</b>	<b>9,2 kg</b>
<b>Ácido sulfúrico</b>	<b>8,3 kg</b>
<b>Agua de enfriamiento</b>	<b>17,7 m<sup>3</sup></b>
<b>Vapor (4 kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>310 kg</b>
<b>Energía eléctrica</b>	<b>44,25 kWh</b>

# Producción: aspectos económicos

## COSTOS DE CONVERSIÓN:

INSUMO	COSTOS UNITARIOS	COSTO de PRODUCCIÓN (U\$S/m <sup>3</sup> biodiesel)
Aceite vegetal	300 u\$S/ton	273 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Metanol	0,35 u\$S/kg	31,5 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Soda cáustica	0,50 u\$S/kg	4,50 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Ácido sulfúrico	0,30 u\$S/kg	2,50 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Agua de enfriamiento	0,09 u\$S/m <sup>3</sup>	1,60 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Vapor (4 kg/cm <sup>2</sup> )	0,01 u\$S/kg	3,10 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Energía eléctrica	0,04 u\$S/kWh	1,80 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Mano de obra	(1)	30 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
Amortización	(2)	16,70 u\$S/m <sup>3</sup> biodiesel
<b>TOTAL</b>		<b>364,70 u\$S/m<sup>3</sup> biodiesel</b>

# Muchas gracias por su atención

*Por consultas y comentarios respecto del tema,  
quedo a disposición:*

- Gerardo D. LÓPEZ
- email: [gerardo@ceride.gov.ar](mailto:gerardo@ceride.gov.ar)
- Teléfono: 0342 4535568 (interno 110)