



Universidad
Zaragoza

UVa

● BIORREFINERÍAS BASADAS EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES



Instituto Universitario de Investigación
en Ciencias Ambientales
de Aragón
Universidad Zaragoza

Documento elaborado por Pablo Martín-Ramos y Jesús Martín-Gil bajo licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - CompartirIgual 4.0 International License





Autores

UICA, Universidad de Zaragoza

Pablo Martín Ramos

Dpto. CC. Agrarias y del Medio Natural, EPS,
Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte
s/n, 22071, Huesca. pmr@unizar.es

ETSIIAA, Universidad de Valladolid

Jesús Martín Gil

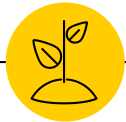
Dpto. Ing^a Agroforestal, ETSIIAA, Universidad de
Valladolid, Avda. Madrid 44, 34004, Palencia.
jesusmartingil@gmail.com

MÓDULO 2:

Procesos de conversión de la biomasa.

Conversión termoquímica. Procesos de combustión, licuefacción y HTA. Conversiones pirolítica, bioquímica y química

Análisis FODA de los procesos realizados en las biorrefinerías



1

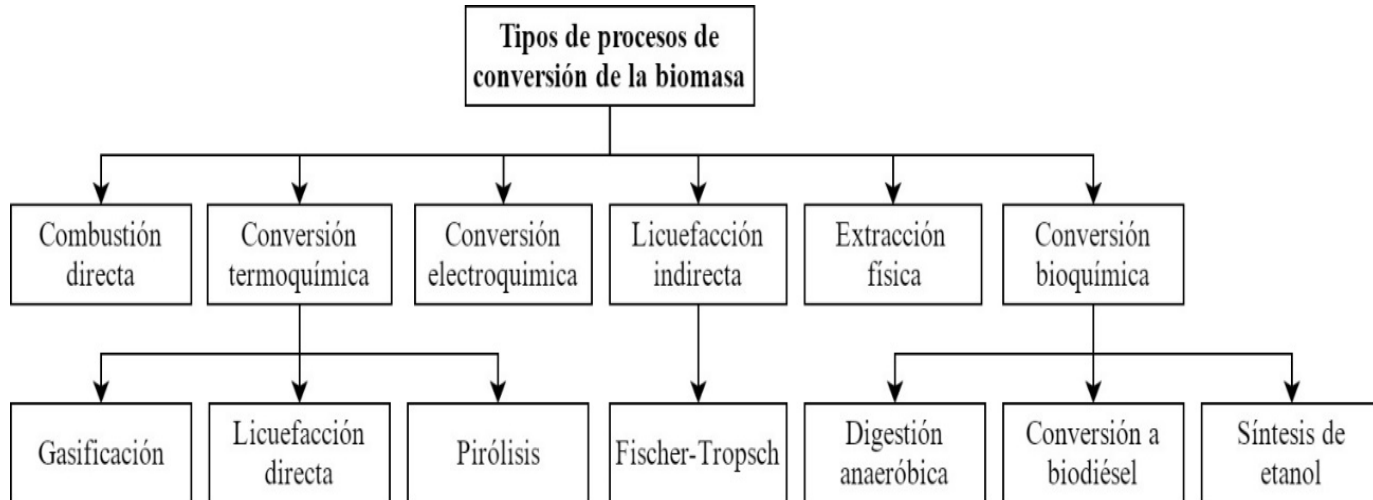
Procesos de conversión de la biomasa

Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías



Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías

- La biomasa puede convertirse en biocombustibles y bioquímicos útiles utilizando tecnologías de biorrefinería. Los procesos de conversión de la biomasa incluyen la gasificación, la licuefacción directa, la pirólisis, la síntesis de Fischer-Tropsch y la digestión anaeróbica, entre otros





Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías (cont.)

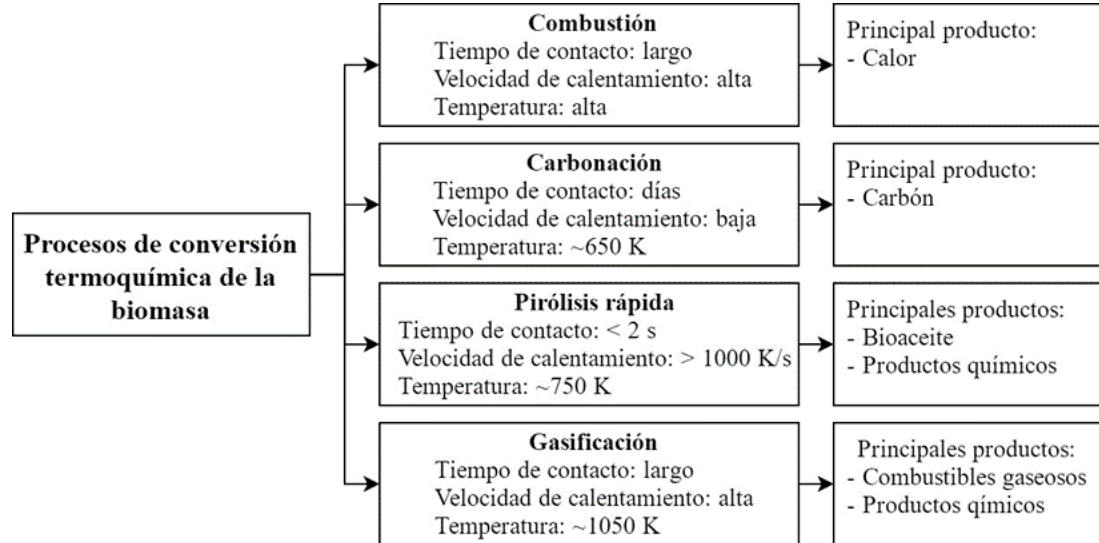
- Tecnologías de conversión aplicables a la biomasa

Procesos mecánicos	Procesos bioquímicos	Procesos químicos	Procesos termoquímicos
<ul style="list-style-type: none">- Prensado- Molienda (procesos de reducción de tamaño)- Peletización- Destilación- Extracción	<ul style="list-style-type: none">- Digestión anaeróbica- Fermentación aeróbica y anaeróbica- Conversión enzimática	<ul style="list-style-type: none">- Hidrólisis (ácida o básica)- Transesterificación y esterificación- Hidrogenación- Oxidación- Metanización- Reformado con vapor- Desplazamiento agua-gas- Catálisis heterogénea y homogénea- Electrolisis del agua- Pulpado	<ul style="list-style-type: none">- Pirólisis- Gasificación- Combustión- Explosión por vapor- Conversión hidrotérmica- Supercríticos



Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías: *Conversión termoquímica*

- Procesos de conversión termoquímica de la biomasa:





Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías. Pirólisis y gasificación (cont.)

- Condiciones, productos y aplicaciones de los procesos de pirólisis y gasificación

Proceso	Temperatura	Condiciones	Productos	Aplicaciones
Pirólisis	300-600 °C	Sin oxígeno	Bioaceite, carbón activo y gases de peso molecular bajo	Combustible para transporte y productos químicos
Gasificación	700 °C	Bajo contenido en oxígeno	<i>Syngas</i> (mezcla de H ₂ , CO, CO ₂ y CH ₄)	Combustible o intermediario químico hasta etanol o dimetil éter o isobuteno



Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías. Pirólisis y gasificación (cont.)

- La **pirólisis** es la segunda vía termoquímica de conversión de biomasa, en la cual se trabaja a temperaturas intermedias (300-600 °C) y sin oxígeno, obteniéndose una serie de compuestos gaseosos similares al gas de síntesis (*syngas*), compuestos líquidos (bioaceite, bio-oil) y compuestos sólidos (carbón vegetal, *char*), en función de la temperatura y tiempo de calentamiento y otras condiciones de operación.
- La **gasificación** puede verse como aquel proceso de oxidación parcial de la biomasa a alta temperatura (700-1.500 °C) que da lugar a un producto gaseoso, el gas de síntesis (*syngas*), formado por una mezcla de H₂, CO, CO₂ y CH₄, el cual puede ser utilizado directamente como combustible para producir calor y electricidad o bien puede transformarse en hidrocarburos líquidos mediante síntesis química (biocombustibles sintéticos o BTL "biomass to liquids") por el proceso de **Fischer-Tropsch**: gasolina, queroseno, gasoil, lubricantes, dimetil-éter, biometanol u otros alcoholes, ácidos orgánicos, amoniaco, metanol, etc.



Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías: Pirólisis y gasificación (cont.)

- Comparación de los procesos de pirólisis y gasificación

Proceso	Condiciones	Productos (% en peso)		
		Líquidos	Char	Gas
Pirólisis rápida	Temperatura moderada (700-800 K) Tiempos de residencia del vapor caliente cortos (<2 s)	70-77	10-14	11-15
Pirólisis lenta	Temperatura moderada-baja (600-725 K) Tiempos de residencia largos	27-33	33-38	33-38
Pirólisis a vacío	Temperatura moderada (675-775 K) Bajas presiones (<0.15 atm)	74-80	8-12	9-14
Gasificación	Altas temperaturas (>1075 K) Tiempos de residencia largos	4-6	8-12	82-88

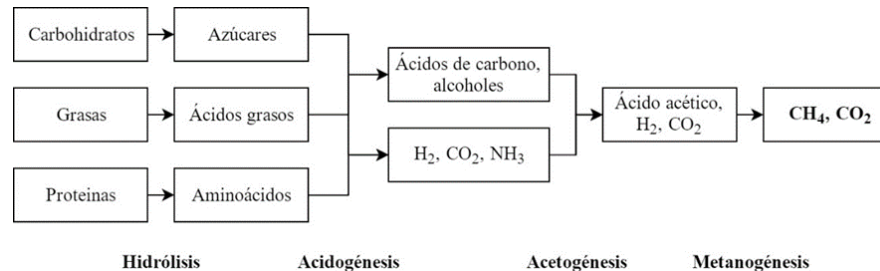


Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías: Procesos *bioquímicos*

- Procesos bioquímicos de transformación de la biomasa

Proceso bioquímico	Temperatura	Oxígeno	Productos resultantes	Aplicaciones
Digestión anaeróbica	30-65 °C	Ausencia de oxígeno	Biogás (CO ₂ , CH ₄)	Producción de gas natural (>97% CH ₄)
Fermentación	5-30 °C	Presencia de oxígeno	Alcohol (p.ej. etanol), ácidos orgánicos (p.ej. ácido succínico)	Combustibles para transporte (p.ej. etanol)

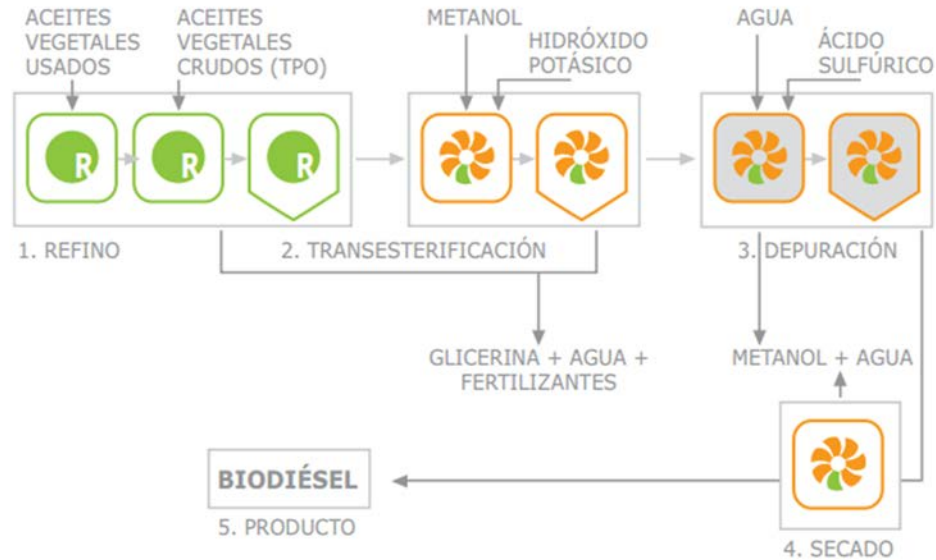
- Esquema de los procesos bioquímicos que tienen lugar en un digestor anaeróbico





Generalidades sobre los procesos que tienen lugar en las biorrefinerías: *Transesterificación*

- Principales etapas de producción de biodiésel mediante transesterificación química



2

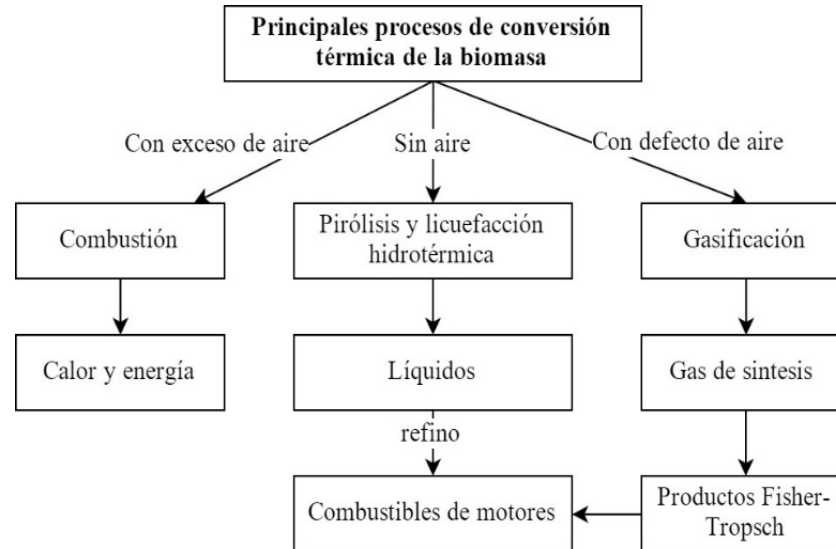
Descriptiva de la conversión termoquímica

Procesos de conversión térmica de la biomasa



Procesos de conversión térmica de la biomasa

- Combustión, pirólisis, liquefacción hidrotérmica y gasificación como principales procesos de conversión térmica de la biomasa: **influencia del efecto del aire**



3

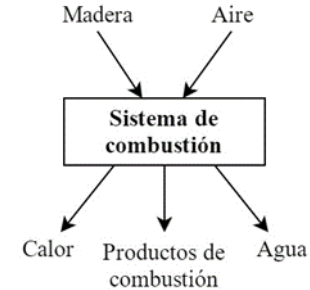
Procesos de combustión

Combustión de la madera



Combustión de la madera

- La madera, en su combustión, da lugar a productos de combustión, agua y calor
- Análisis de los componentes típicos de algunas muestras de biomazas de plantas



Muestra de biomasa	Celulosa (%)	Hemicelulosas (%)	Lignina (%)
Hueso de albaricoque	22,4	20,8	51,4
Madera de haya	44,2	33,5	21,8
Madera de coco	25,0	25,7	15,7
Cáscara de avellana	25,2	28,2	42,1
Paja de leguminosas	28,1	34,1	34,0
Serrín de pino	43,8	25,2	26,4
Cascarilla de arroz	34,0	27,2	14,2
Madera de abeto	43,0	29,4	27,6
Residuos de té	31,2	22,8	40,3

4

Procesos de licuefacción

Procesos de licuefacción directa

Procesos de licuefacción indirecta

Procesos de licuefacción supercrítica



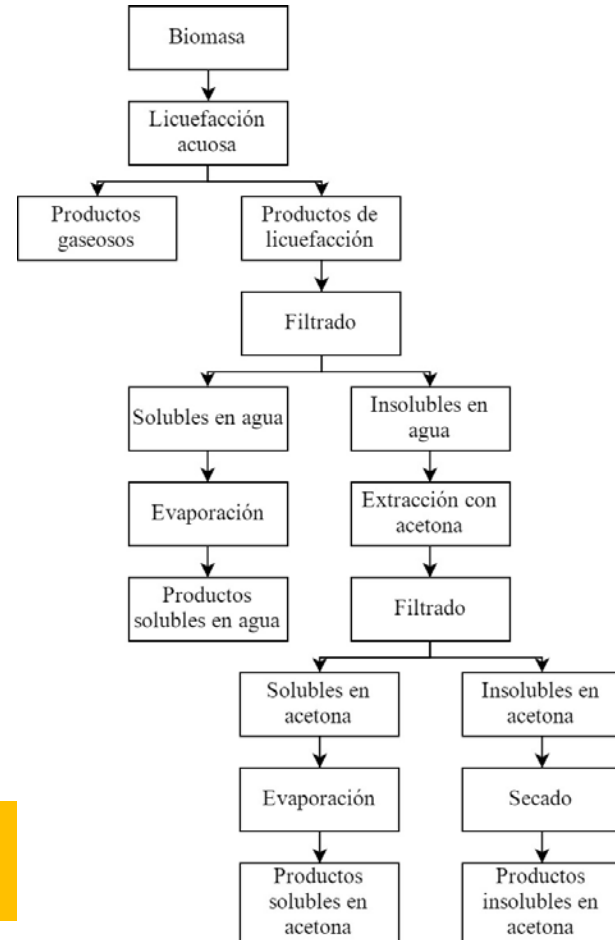
Introducción: comparación entre licuefacción y pirólisis

- **La licuefacción es la forma más lenta de pirólisis**, que se realiza generalmente en un reactor discontinuo presurizado. El producto, bioaceite de licuefacción, tiende a ser más viscoso y tiene menor contenido de oxígeno que el producto de la pirólisis rápida
- **La pirólisis y la licuefacción directa** son procedimientos susceptibles de confusión, pues ambos son procesos termoquímicos en los que los compuestos orgánicos de alimentación se convierten en productos líquidos. Con la pirólisis no es necesario un catalizador.
- **Comparación entre licuefacción y pirólisis**

Proceso	Temperatura (K)	Presión (MPa)	Secado
Licuefacción	525-600	5-20	Innecesario
Pirólisis	650-800	0.1-0.5	Necesario



Licuefacción directa



Procedimientos para separación de productos de la licuefacción acuosa



Reanudamos ...



Licuefacción directa

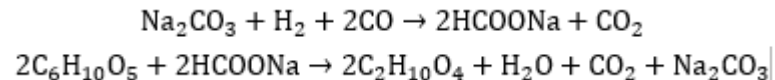
Procedimientos para separación de productos de la licuefacción acuosa





Licuefacción indirecta

- ◉ El procedimiento alcalino de licuefacción indirecta implica la reacción de monóxido de carbono con los residuos lignocelulósicos, en presencia de una solución de carbonato sódico como catalizador, hasta una temperatura de 645 K y con presiones de hasta 28 Mpa.
- ◉ El CO reacciona con el Na_2CO_3 en presencia de agua para formar formiato de sodio, que, a su vez, reacciona con la celulosa de los residuos de madera para formar aceite y regenerar el Na_2CO_3 :



- ◉ El problema radica en que el contenido de oxígeno de la mezcla líquida compleja resultante es todavía elevado (6 a 10% en peso) y se precisa de una desoxigenación eficaz para optimizar el producto (Demirbas, 1992).



Licuefacción indirecta (cont.)

- ◉ El proceso indirecto más utilizado en el mundo consta de dos etapas: el carbón es gasificado (el gas obtenido se llama *syngas*), y después este gas es transformado en líquido en un reactor Fischer Tropsch.
- ◉ Para la **gasificación del carbón** existen varios tipos de generadores de gas (cada empresa desarrolla su propia tecnología), pero la idea general es mezclar el carbón con aire u oxígeno puro, y vapor de agua a alta temperatura y alta presión (combustión incompleta). El gas obtenido es una mezcla de CO y de H₂, que se llama *syngas*. Contiene también CO₂ y óxidos de azufre que hay que retirar para optimizar la etapa siguiente (**licuefacción Fischer Tropsch**).



Licuefacción indirecta (cont.): licuefacción Fisher-Tropsch

- Las reacciones principales de **Fischer-Tropsch** son en realidad reacciones de polimerización, consistentes en cinco pasos básicos:
 - Adsorción de CO sobre la superficie del catalizador.
 - Iniciación de la polimerización mediante formación de radical metilo (por disociación del CO e hidrogenación).
 - Polimerización por condensación (adición de CO y H₂ y liberación de agua).
 - Terminación.
 - Desorción del producto
- El producto resultante consiste en una mezcla de hidrocarburos con una distribución muy amplia de pesos moleculares, desde gases hasta ceras pasando por gasolina, keroseno y gasóleo. La naturaleza y proporción de los productos depende del tipo de reactor y de catalizador. En general, los procesos que operan a alta temperatura producen **gasolinas olefínicas**, mientras que los de baja temperatura dan sobre todo **gasóleos parafínicos**.



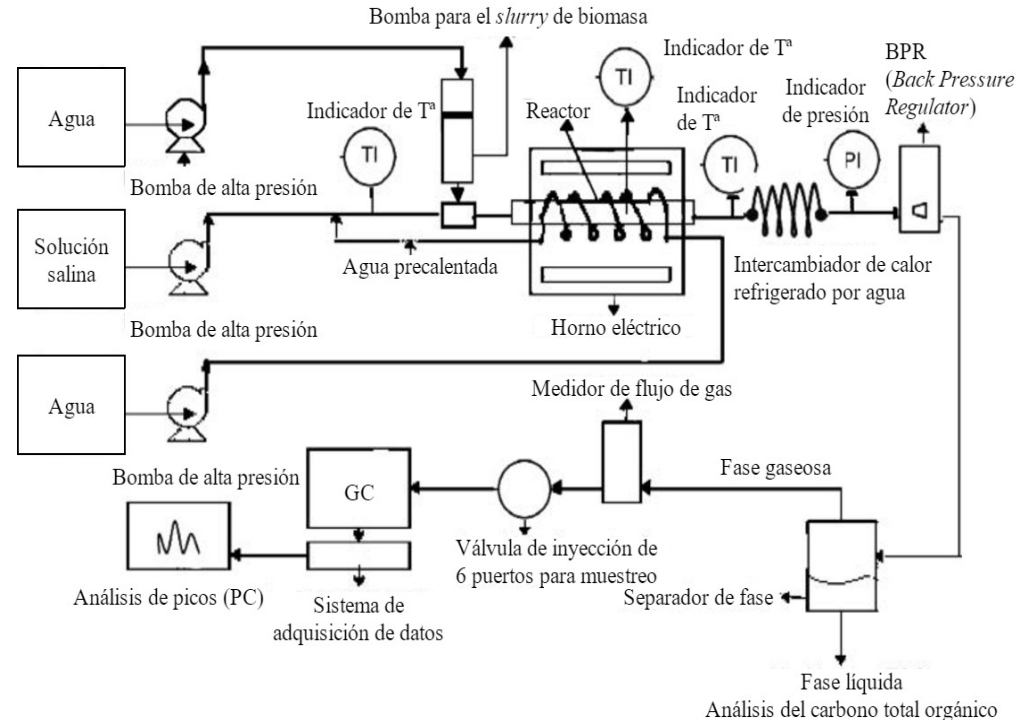
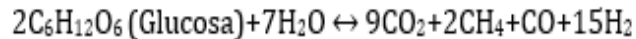
Licuefacción indirecta (cont.): licuefacción Fisher-Tropsch

- A lo largo de la historia se han utilizado cuatro tipos principales de reactores industriales para desarrollar las reacciones FT:
 - Reactor tubular en lecho fijo. La compañía sudafricana Sasol denomina *Arge* a su reactor de este tipo y lo opera a 220–260 °C y 20–30 bar.
 - Reactor de lecho circulante (llamado *Synthol* por Sasol), operado a 350 °C y 25 bar. Produce sobre todo gasolina olefínica.
 - Reactor de lecho fluidizado (*Sasol Advanced Synthol*), similar en operación al *Synthol* pero de menor tamaño para misma capacidad de producción.
 - Reactor "*slurry*", en el que el catalizador se encuentra en suspensión en un líquido (a menudo ceras producidas por la propia reacción) en el cual se burbujea el gas de síntesis. Normalmente estos reactores trabajan a baja temperatura para producir un máximo de productos de alto peso molecular.



Licuefacción supercrítica

Con temperaturas >875 K y una presión superior al punto crítico del agua, esta puede ser transferida a los átomos de carbono de la biomasa, con lo que el C se oxida preferentemente a CO_2 (también se forman bajas concentraciones de CO) y los átomos de H del agua y de la biomasa se liberan y forman H_2 . El producto gaseoso consiste en H_2 , CO_2 , CH_4 y CO :



5


Descriptiva de la conversión hidrotérmica

Procesos HTU

LEE ENTERPRISES CONSULTING, INC.

About Us - Investor Services/Finance - Litigation Support - Biodiesel - Ethanol - Emerging Technologies - Biomass Power

What is HTU?



- Feedstocks: forestry, agricultural waste, wood and paper/pulp waste, algae
- Conditions: Temperature: 300 - 350 °C; Pressure: 120 - 180 bar; Time: 5 - 20 minutes
- Solvent: liquid water present, Catalyst, Thermal Efficiency: 70-90%
- Chemistry: Removing "Oxygen" from biomass as "Carbon-dioxide" and "Water"
- Products:
 - 45% biocrude (by wt on feedstock)
 - 25% gas (+90% CO₂ remainder CO, lower alkanes e.g., methane, ethane etc.)
 - 20% H₂O
 - 10% dissolved organics (e.g., acetic acid, ethanol, low-molecular weight aliphatics, oxidised monomers, aromatic diacids, aromatic polyols, quinones, aromatics, O-heterocyclic compounds, and phenolics)

[Blog and Articles](#) | [Aliphatics](#), [Aromatics](#), [HTU](#), [Hydrothermal Upgrading](#), [Ignis](#), [Phenolics](#), [Quinones](#), [Sperical](#)



Procesos HTU

Las tecnologías hidrotérmicas se definen como transformaciones químicas y físicas en aguas líquidas o supercríticas de alta T (475-875 K) y alta p (5-40 MPa). Cuando se utiliza agua supercrítica podemos hablar de licuefacción supercrítica y cuando se emplea agua líquida, de sistemas HTU (*hydrothermal upgrading*).

- El objetivo de la conversión HTU es **eliminar el O** para alcanzar densificación energética y obtener un producto líquido. Para producir hidrocarburos con una relación H/C suficientemente alta es esencial que la desoxigenación se produzca **vía descarboxilación** y no vía deshidratación
- El proceso HTU más común utiliza el agua como medio para calentar la biomasa en el intervalo 300-500°C y su presurización hasta 15 MPa en un reactor discontinuo durante 5-20 min. El agua es condensada para recuperar el calor y los gases son quemados para proporcionar calor para el proceso. El producto primario es un líquido llamado **biocrudo** con valor de calentamiento de 30-35 MJ/kg.

Producto	Componente	Fracción en peso (%)
Biocrudo	Policarbonatos	47.5
	Metil-n-propil eter	2.5
Gas	Dióxido de carbono	25.0
Compuestos orgánicos	Metanol	5.0
	Etanol	3.5
Agua	Agua	16.5



Procesos HTU (cont.)

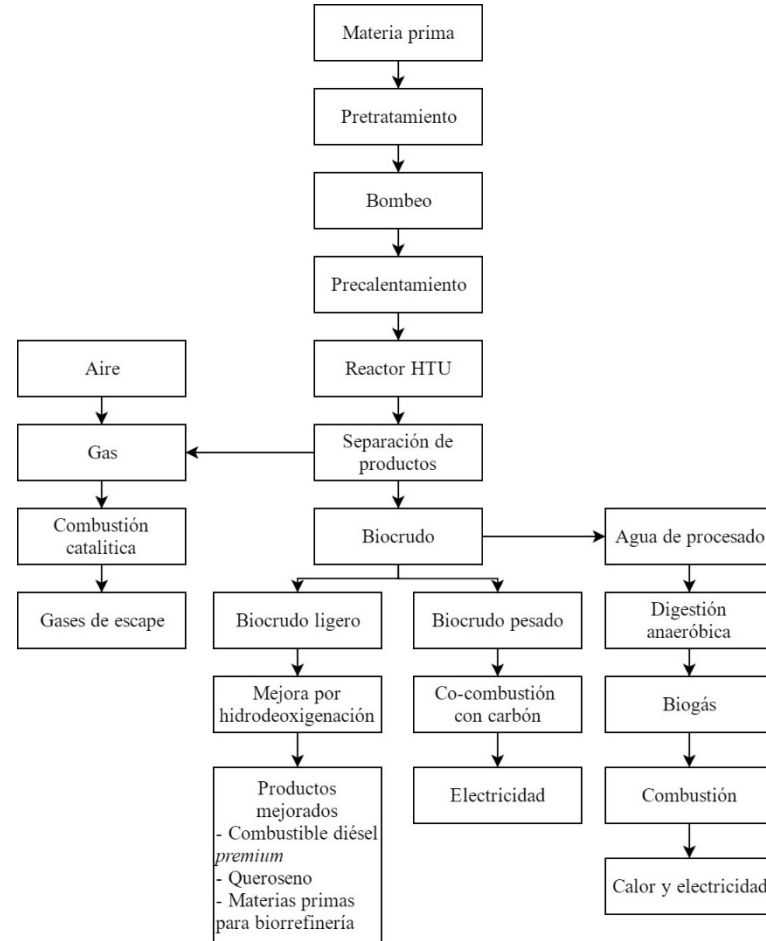


Diagrama de bloques de una planta HTU comercial



Procesos HTU (cont.)

Materias primas, condiciones de reacción y productos para los procesos HTU

Materias primas de la biomasa	Residuos madereros y forestales Residuos agrícolas y domésticos Residuos sólidos municipales Residuos industriales orgánicos Lodos de depuradora
Condiciones de reacción	Temperatura: 300-500 °C Presión: 12-18 MPa Tiempo de residencia: 5-20 min Medio: agua líquida
Principales reacciones químicas	Despolimerización Descarboxilación Deshidratación Eliminación de oxígeno como CO ₂ y H ₂ O Hidrodeshidrogenación Hidrogenación
Productos (% en peso respecto a materia prima)	Biocrudo: 45 Productos orgánicos solubles en agua: 10 Gas (>90% CO ₂): 25 Agua del proceso: 20
Eficiencia térmica	70-90%

6

Procesos de conversión pirolítica

Descriptiva de la conversión pirolítica

Instalaciones de pirolisis

Sobre los aceites de pirolisis

Pirólisis asistida por microondas



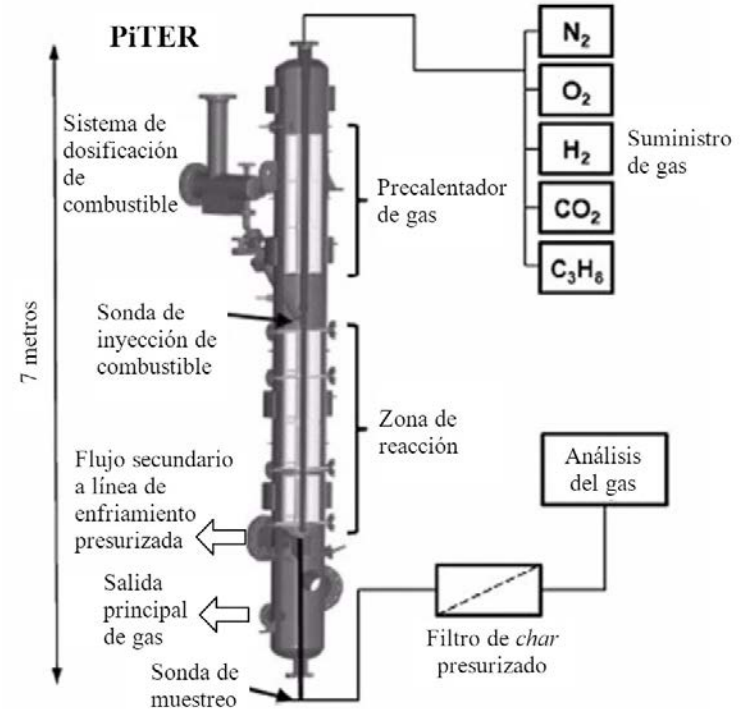
Descriptiva de la conversión pirolítica

- ◉ En ausencia de oxígeno, el calentamiento de la biomasa conduce a: una mezcla gaseosa rica en hidrocarburos, un líquido similar al aceite y un residuo sólido rico en carbono
- ◉ A bajas temperaturas predomina la deshidratación y formación de carbón.
- ◉ Entre 550 y 675 K, además de productos volátiles, se forman alquitrán (levoglucosano) y carbón vegetal.
- ◉ Los productos volátiles son CO₂, CO, H₂O, acetales, furfural, aldehídos y cetonas.
- ◉ La holocelulosa conduce a la formación de furanos y carbohidratos.
- ◉ La lignina genera fenólicos. En la degradación primaria de la lignina se forman siringoles y guayacoles, entre 750 a 800 K. Las degradaciones secundarias aumentan continuamente la producción de fenoles con el aumento de la temperatura.
- ◉ La pirólisis de la lignina es endotérmica entre 375 y 450 K y la tasa máxima de conversión se produce entre 625 y 725 K. Se forman carbón, líquido (que incluye metanol, compuestos metoxi, ácido acético, compuestos fenólicos y acetona), y gas (que incluye CO, metano, CO₂ y etano).



Instalaciones de pirólisis

- En la actualidad, la tecnología preferida es la pirólisis rápida a altas temperaturas con tiempos de residencia muy cortos utilizando un reactor continuo capaz de convertir el 70% de la biomasa en bio-aceite. Las fracciones gaseosas y carbonizadas, compuestas por un 15% de la biomasa original, se utilizan generalmente para proporcionar calor para el reactor.





Sobre los aceites de pirólisis



- Los aceites de la pirólisis de la madera (bioaceites) son típicamente líquidos de color rojo marrón oscuro, casi negro
- Su densidad (1200 kg/m^3) es más alta que la del fuel oil ligero (850 kg/m^3)
- Su HHV es inferior a 27 MJ/kg (bajo en comparación con $43\text{--}46 \text{ MJ/kg}$ para los combustibles convencionales)
- Químicamente, es una mezcla compleja de agua, guayacoles, catecols, siringoles, vainillinas, furancarboxaldehídos, isoeugenol, pironas, ácido acético, ácido fórmico y otros ácidos carboxílicos. También contiene otros grupos importantes de compuestos, incluyendo hidroxialdehídos, hidroxicetonas, azúcares, ácidos carboxílicos y fenólicos
- envejecimiento del líquido de pirólisis: La viscosidad aumenta, la volatilidad disminuye, se produce separación de fase y deposición de gomas/resinas con el tiempo.



Pirólisis asistida por microondas

- En comparación con la pirólisis convencional, la pirólisis asistida por microondas es propicia para obtener volátiles orgánicos, químicos y biogás a temperaturas relativamente bajas con menor consumo de energía
- La formación de compuestos fenólicos está generalmente influenciada por la temperatura pirolítica.
 - A temperaturas bajas (475 °C) se forman alcoxifenoles principalmente mediante la descomposición primaria de la lignina a través de la escisión C-C o C-O-C
 - A temperaturas más altas se producen fenoles desalcoxilados, tales como fenoles y alquil-fenoles, debido a la desalquilación y desmetoxilación de los productos pirolíticos primarios

7

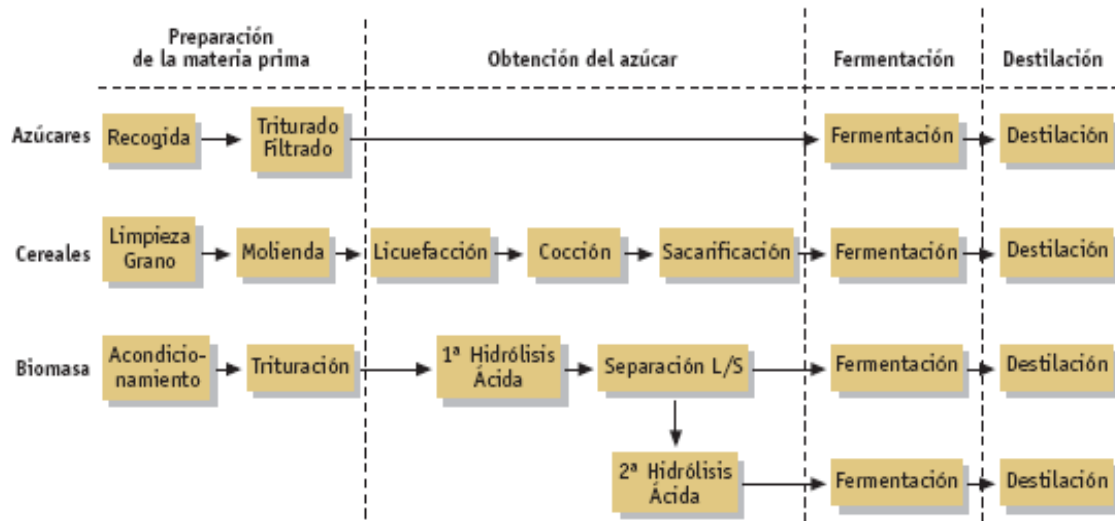
Procesos de conversión bioquímica

Descriptiva de la conversión bioquímica

Etapas del proceso de conversión bioquímica de la biomasa a bioetanol



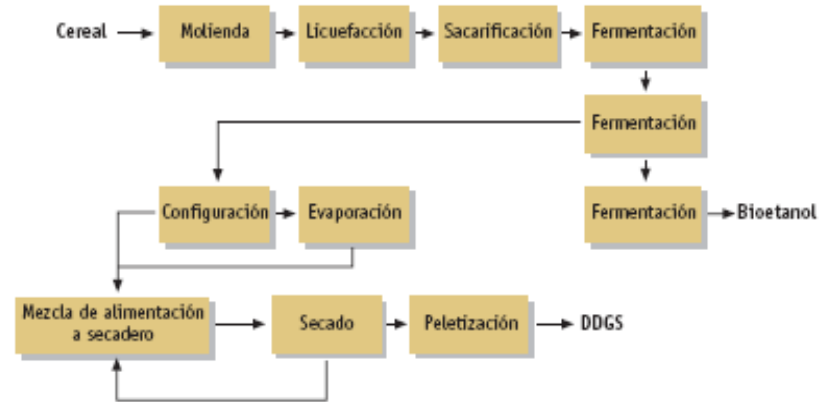
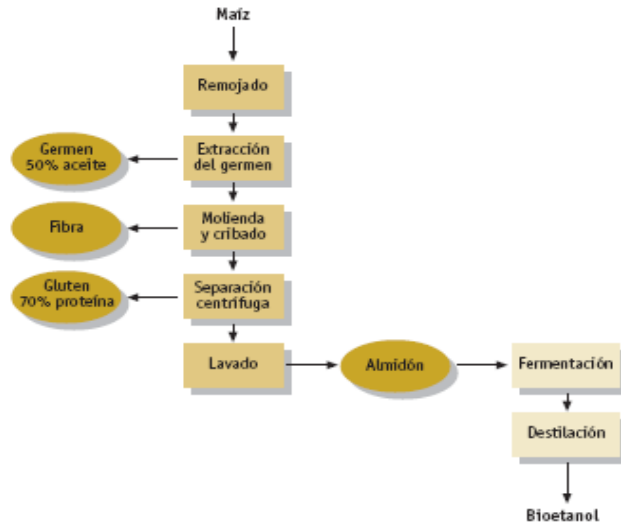
Descriptiva de la conversión bioquímica





Etapas del proceso de conversión bioquímica de la biomasa a etanol

1. Molido (variantes: húmedo y seco)





Etapas del proceso de conversión bioquímica de la biomasa a etanol

2. Hidrólisis

- *Con ácidos concentrados*
- *Con ácidos diluidos*
- *Hidrólisis enzimática*

3. Fermentación del azúcar

- *Invertasa:*
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$$

Glucosa Etanol Dióxido de carbono
- *Zimasa:*
$$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Sacarosa Agua Fructosa Glucosa

4. Destilación



Reanudamos ...



Etapas del proceso de conversión bioquímica de la biomasa a etanol

2. Hidrólisis

- Con ácidos concentrados
- Con ácidos diluidos
- Hidrólisis enzimática

3. Fermentación del azúcar

- Invertasa:
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$$

Glucosa Etanol Dióxido de carbono
- Zimasa:
$$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Sacarosa Agua Fructosa Glucosa

4. Destilación



8

Procesos de conversión química

Hidrólisis de los polisacáridos de la biomasa.

Hidrólisis de la lignina

Los métodos Organosolv

Transesterificación de aceites vegetales

PROCESOS	ESTADO DE LA TECNOLOGÍA
	Industrial
Hidrólisis poliazúcares (ácidos o bases)	Demostración Industrial: I+D sobre procesos.
Hidrólisis lignina	Industrial (vainillina). I+D sobre nuevos procesos y aplicaciones
Fabricación de pasta de papel	Industrial. I+D sobre nuevos procesos más limpios.
Esterificación de aceites vegetales.	Preindustrial.



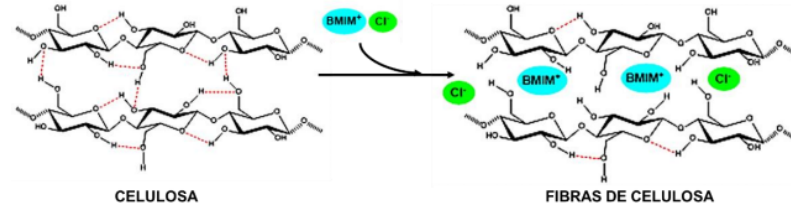
Hidrólisis ácida y alcalina de los polisacáridos de la biomasa

- ◉ **Hidrólisis ácida.**- Ácidos tales como H_3PO_4 , H_2SO_4 y HCl se han utilizado para el tratamiento de materiales lignocelulósicos en condiciones de concentración y T variables. De este proceso se obtiene una fracción líquida, rica en azúcares fermentables y una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina. El tratamiento ácido, es eficiente en la disolución de la hemicelulosa, en especial del xilano. Sin embargo, este método, no resulta efectivo para la eliminación de la lignina.
- ◉ **Hidrólisis alcalina.**- Es capaz de solvatar la hemicelulosa y alterar la estructura de la lignina sin tener grandes efectos sobre los demás componentes (la celulosa pierde cristalinidad). Los reactivos más utilizados son $NaOH$, $NH_3(aq)$, CaO y $Ca(OH)_2$, y a diferencia de los tratamientos ácidos, no necesitan T tan altas, aunque si tiempos más prolongados de reacción.

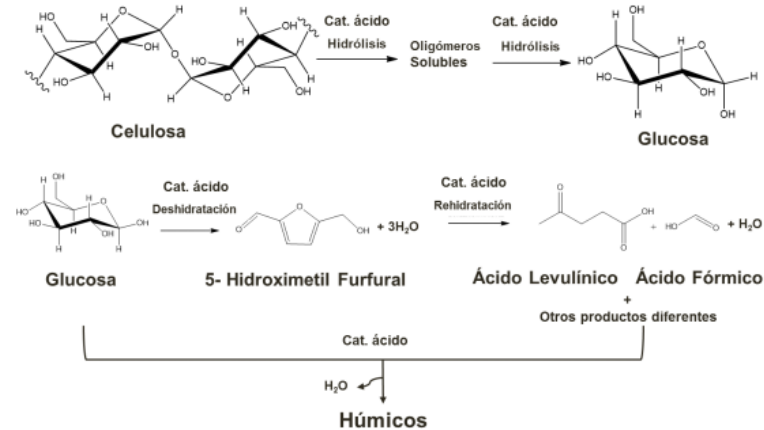


Hidrólisis ácida en líquidos iónicos

- Disolución de la celulosa de la biomasa en líquidos iónicos



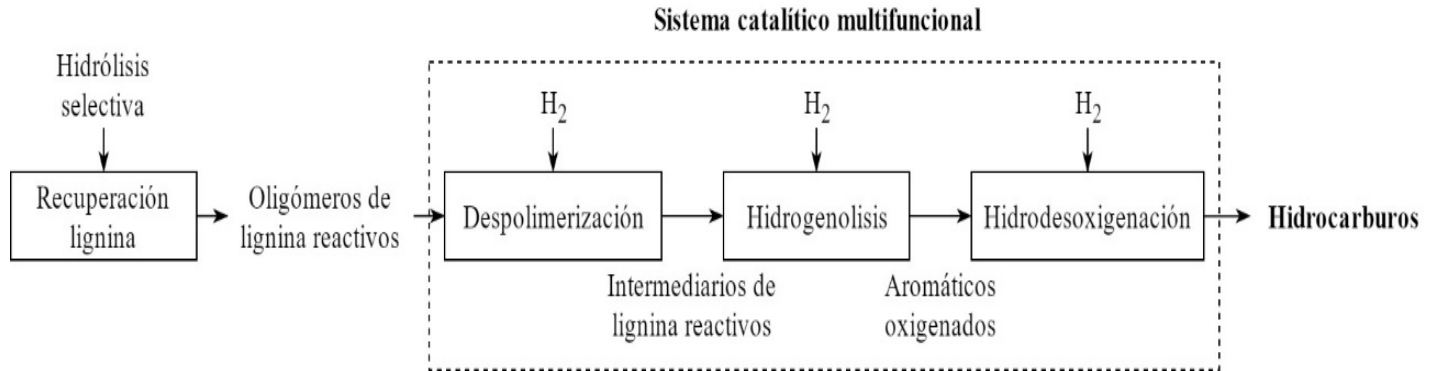
- Despolimerización de la celulosa en líquidos iónicos





Hidrólisis de la lignina

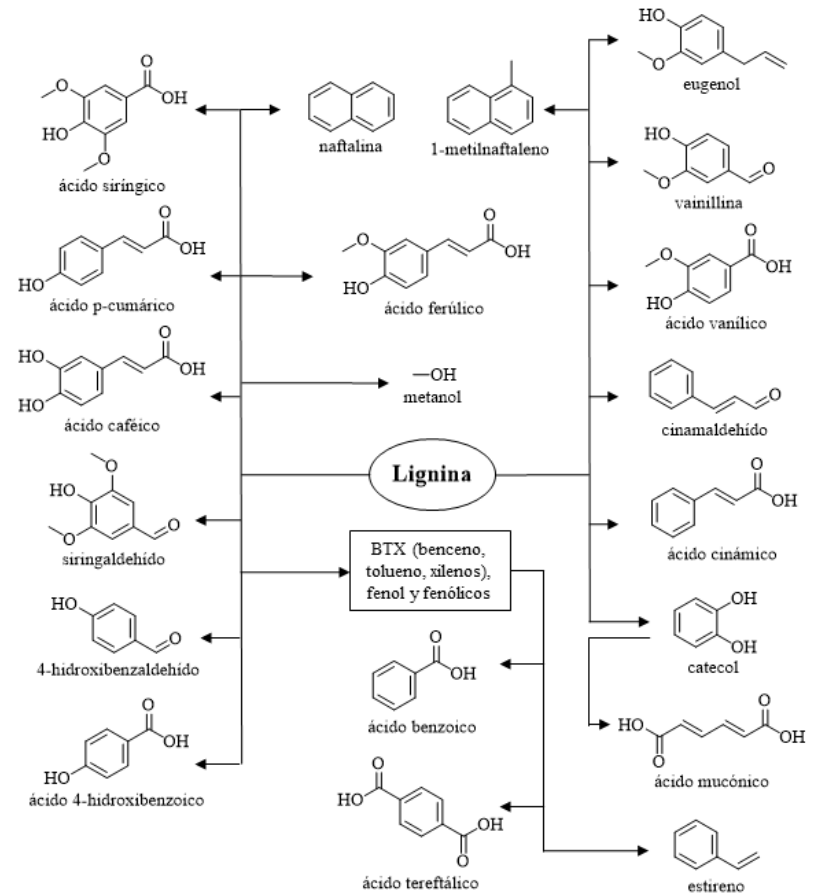
- La hidrólisis selectiva de la lignina y la utilización de sistemas catalíticos multifuncionales para el procesamiento de sus oligómeros conduce a hidrocarburos alifáticos cíclicos y aromáticos de interés económico.





Hidrólisis de la lignina (cont.)

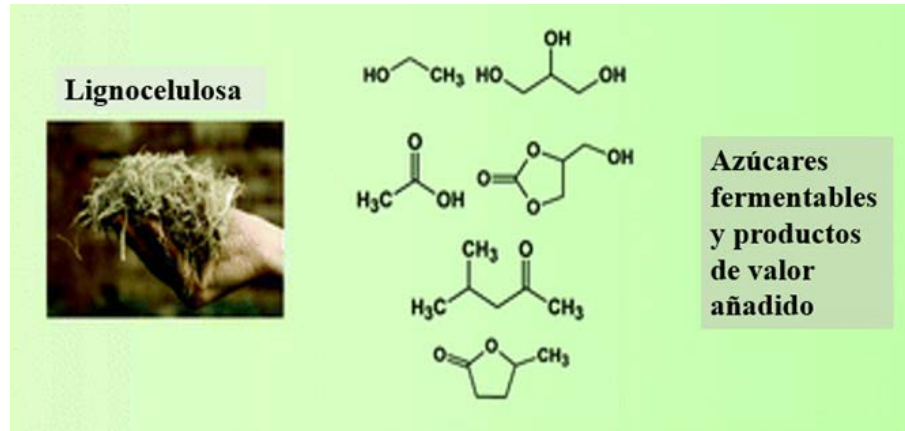
Potenciales productos de la hidrólisis de la lignina





Fabricación de pasta de papel: el método *Organosolv*

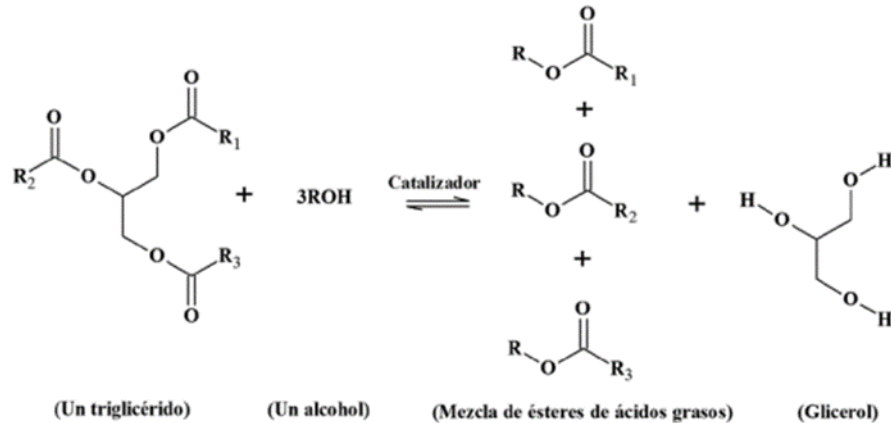
- En los procesos *Organosolv* se utiliza una mezcla de disolvente con catalizadores ácidos (HCl o H₂SO₄) para romper la lignina interna y los enlaces de la hemicelulosa. Los disolventes usados comúnmente son: etanol (proceso *Alcell*), ácido acético (proceso *Acetosolv*), ácido fórmico (proceso *Formacell*) y metanol (proceso *Organocell*), a altas T y p (195°C, 28 atm en el proceso *Alcell*). Otros disolventes: acetona, etilenglicol, trietilenglicol y alcohol tetrahidrofurfurilo. Otros ácidos: oxálico y acetilsalicílico.





Transesterificación de aceites vegetales

- La transesterificación consiste en la reacción de un triéster de glicerilo (triglicérido) con un alcohol para formar alquil ésteres y glicerol.



Reacción de transesterificación de un triacilglicérido.



Transesterificación de aceites vegetales (cont.)

○ Procesos de transesterificación posibles

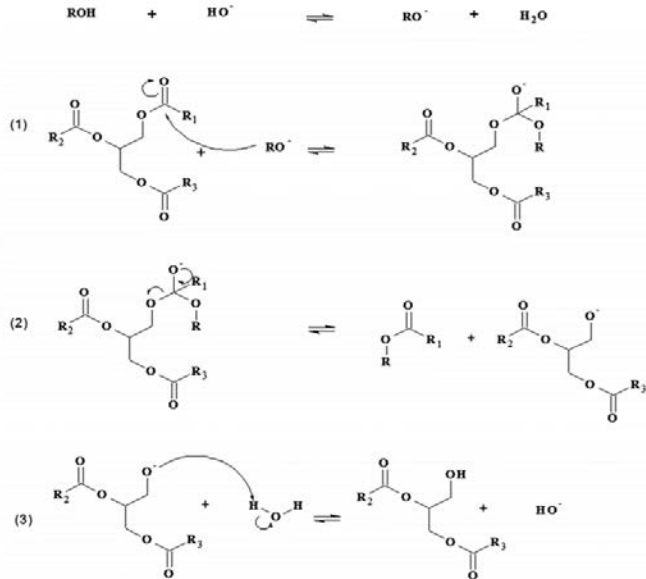
Proceso de transesterificación	Ventajas	Inconvenientes	Nivel de desarrollo
Catálisis alcalina	<ul style="list-style-type: none">- Condiciones moderadas de presión y temperatura.- Tiempos de reacción de aproximadamente 60 minutos.	<ul style="list-style-type: none">- El aceite y el alcohol deben ser anhidros para evitar formación de jabones.	<ul style="list-style-type: none">- Tecnología más empleada comercialmente.
Catálisis ácida	<ul style="list-style-type: none">- Hace factible la utilización de materias primas con alto contenido en ácidos grasos libres (AGL).	<ul style="list-style-type: none">- Tiempos de reacción prolongados en comparación con la catálisis alcalina.- Necesidad de equipos resistentes a la corrosión.	<ul style="list-style-type: none">- Se emplea como proceso de pre-esterificación para la adecuación del aceite, antes de aplicar la catálisis alcalina.
Catálisis heterogénea	<ul style="list-style-type: none">- Facilitan la separación de los productos finales.- Permite realizar el proceso en continuo.	<ul style="list-style-type: none">- Desgaste y alto coste de los catalizadores.- Condiciones de operación de altas temperaturas y presiones.- Susceptibilidad a impurezas.- Bajas conversiones.	<ul style="list-style-type: none">- Tecnología en desarrollo.

Proceso de transesterificación	Ventajas	Inconvenientes	Nivel de desarrollo
Alcoholes supercríticos	<ul style="list-style-type: none">- Permite la utilización de materias primas con alto contenido en agua y AGL.- Bajos tiempos de reacción.- No necesita catalizador.	<ul style="list-style-type: none">- Alto coste debido a las condiciones de operación.	<ul style="list-style-type: none">- Algunas plantas de producción en Europa.
Catálisis enzimática mediante lipasas	<ul style="list-style-type: none">- La reacción no está afectada por la presencia de agua ni por AGL contenidos en la materia prima.- Productos de elevada pureza por lo que disminuyen los costes asociados a las etapas de purificación posteriores.	<ul style="list-style-type: none">- Los tiempos de reacción son elevados, no aptos para un proceso de producción continuo.- Inactivación del enzima, que se reduce mediante el empleo de solventes orgánicos y mediante la adición de metanol por pulsos.	<ul style="list-style-type: none">- Investigación.
Microbiológica	<ul style="list-style-type: none">- Emplea materias primas renovables para la obtención de etanol, que posteriormente es empleado en la transesterificación.- Obtención de otras sustancias lipídicas.	<ul style="list-style-type: none">- Baja tasa de conversión.	<ul style="list-style-type: none">- Investigación.

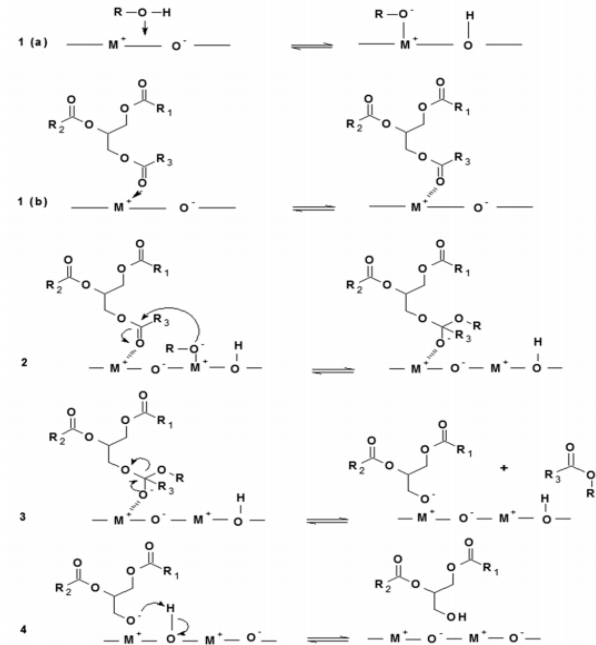


Transesterificación de aceites vegetales (cont.): mecanismos

Homogénea básica



Heterogénea (LH)



9

Análisis FODA (SWOT) de los procesos realizados en las biorrefinerías

Análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas



Análisis de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none">- Añade valor al uso sostenible de la biomasa.- Maximiza la eficiencia de conversión de la biomasa, minimizando los requisitos de materias primas.- Produce una amplia variedad de bioproductos (comida, piensos, materiales y productos químicos) y bioenergía (combustibles, energía y/o calor)- Profundo conocimiento de las infraestructuras disponibles para abordar problemas técnicos y no técnicos que potencialmente pudieran dificultar la trayectoria de despliegue.- No es nuevo, y en algunos sectores de mercado (comida, papel, etc.) es una práctica común.	<ul style="list-style-type: none">- Área muy amplia, poco definida y clasificada.- Necesita que se involucren partes interesadas de distintos sectores de mercado (agricultura, energía, química, etc.) en toda la cadena de valor de la biomasa.- No están claro los procesos/conceptos de biorrefinería más prometedores.- No están claras las cadenas de valor de la biomasa más prometedoras, incluyendo volúmenes/precios de mercado presentes/futuros.- Todavía en una etapa de estudio y desarrollo de conceptos en vez de verdadera implementación comercial.- Variabilidad de la calidad y densidad de energía de la biomasa.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none">- Puede hacer una contribución muy importante al desarrollo sostenible.- Retos a nivel nacional, europeo e internacional por las políticas enfocadas al uso de la biomasa para la producción de bioenergía.- La disponibilidad de biomasa es limitada, por lo que la materia prima debe ser utilizada de forma tan eficiente como sea posible (por ejemplo, desarrollo de biorrefinerías multipropósito).- Desarrollo a nivel internacional de un portafolio de conceptos de biorrefinerías, incluyendo el diseño de procesos técnicos.- Fortalecimiento de la posición económica de varios sectores de mercado (agricultura, forestal, químico y energético).	<ul style="list-style-type: none">- Las biorrefinerías se ven como una 'moda' que todavía tiene que probar sus beneficios en el mercado.- El cambio económico y la baja de los precios de los combustibles fósiles.- La rápida implementación de otras tecnologías de energías renovables que ocupan la demanda del mercado.- Los bioproductos y bioenergía se evalúan conforme a estándares más exigentes, no en igualdad de condiciones.- La disponibilidad de materias primas a nivel global, nacional y regional (cambio climático, políticas, logística, etc.).- La elevada inversión de capital para las plantas piloto e iniciativas de demostración es difícil de obtener, y la infraestructura industrial existente aún no está depreciada.- Las políticas gubernamentales fluctúan (a largo plazo).- Dudas sobre la sostenibilidad de la producción de biomasa y su competencia por el uso de la tierra.- Los objetivos de los usuarios finales normalmente centrados en un solo producto.

10

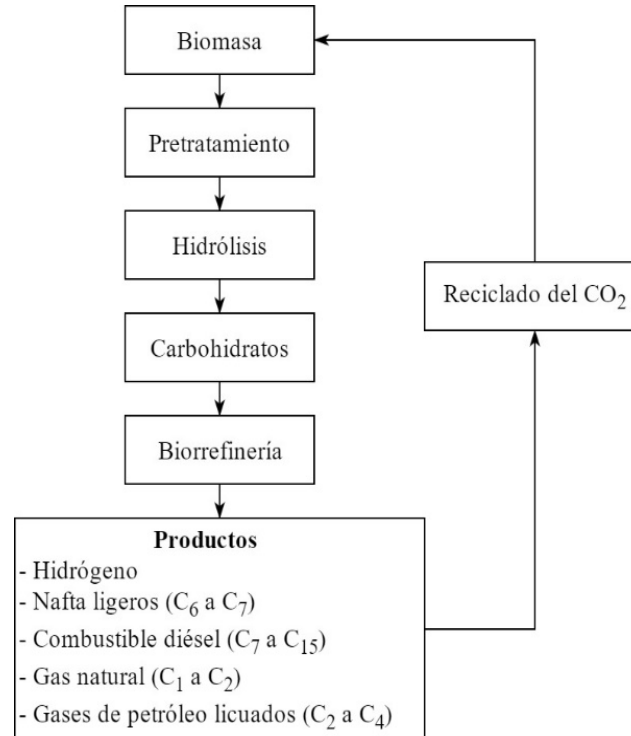
Anexos

Degradación y refinado de productos de conversión bioquímica



Recuperación de productos de conversión bioquímica

- Conversión de carbohidratos en combustibles (H_2 y alcanos) por procesado en fase acuosa





Recuperación de productos de conversión bioquímica :

Producción de alcanos a partir de sorbitol

- Ruta para la producción de alcanos a partir de sorbitol en soluciones acuosas con un catalizador Pt/SiO₂/Al₂O₃



- ***En el análisis FODA realizado por de Jong et al. (2009) sobre las biorrefinerías se destacan como fortalezas:***
 - *que añaden valor al uso sostenible de la biomasa,*
 - *que maximizan la eficiencia de la conversión de la biomasa minimizando los requerimientos de las materias primas,*
 - *que producen un amplio espectro de bioproductos y biocombustibles, que están respaldados por un elevado grado de conocimiento infraestructural y*
 - *que constituyen práctica común en varios sectores de mercado*



**Gracias por su
atención**

*¿Alguna **pregunta** ?*

