



JORNADAS  
CELULOSICO  
PAPELERAS  
2013

15 y 16 de OCTUBRE

Sede: Parque Norte - Golden Center  
Av. Cantilo y Av. Guiraldes  
(Ciudad de Buenos Aires).



Programa de Celulosa y Papel  
Instituto de Materiales de Misiones (IMAM)

Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales  
Universidad Nacional de Misiones

Félix de Azara 1552, (3300) Posadas, Misiones, Argentina  
TE/FAX: 54-376-4422198 - [procyp@fceqyn.unam.edu.ar](mailto:procyp@fceqyn.unam.edu.ar)

<http://procyp.unam.edu.ar/>



I M A M

# La biorrefinería forestal: una opción combinada de energía, commodities y productos de valor agregado

Dra. María Cristina Area

# BIORREFINERÍA FORESTAL

# CADENA DE VALOR CLÁSICA

Capacitación de Recursos Humanos

Investigación y desarrollo

Vivero

Plantación

Madera

Productos  
intermedios

Productos  
finales

Logística y transporte

Servicios

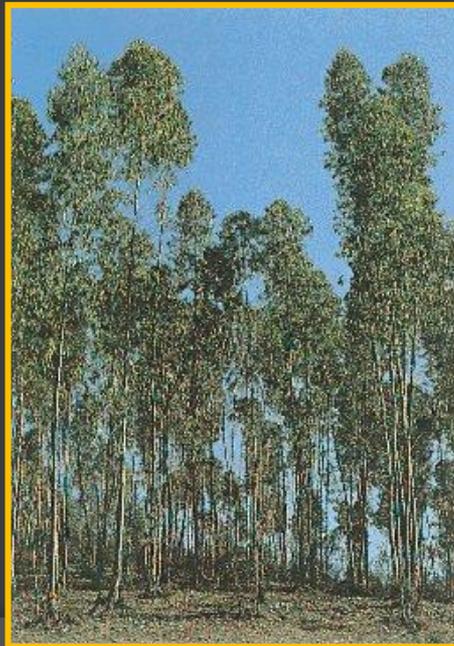
Estrategias de marketing

Comercialización

# CADENA DE VALOR CLÁSICA DE LA INDUSTRIA FORESTAL

VIVERO

PLANTACIÓN



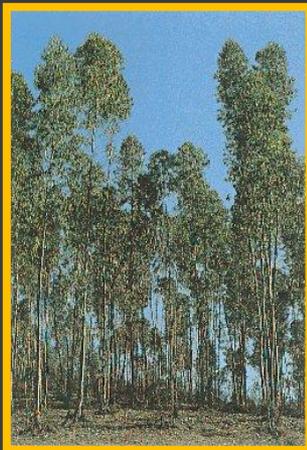
# NUEVOS ESLABONES EN LA CADENA DE VALOR



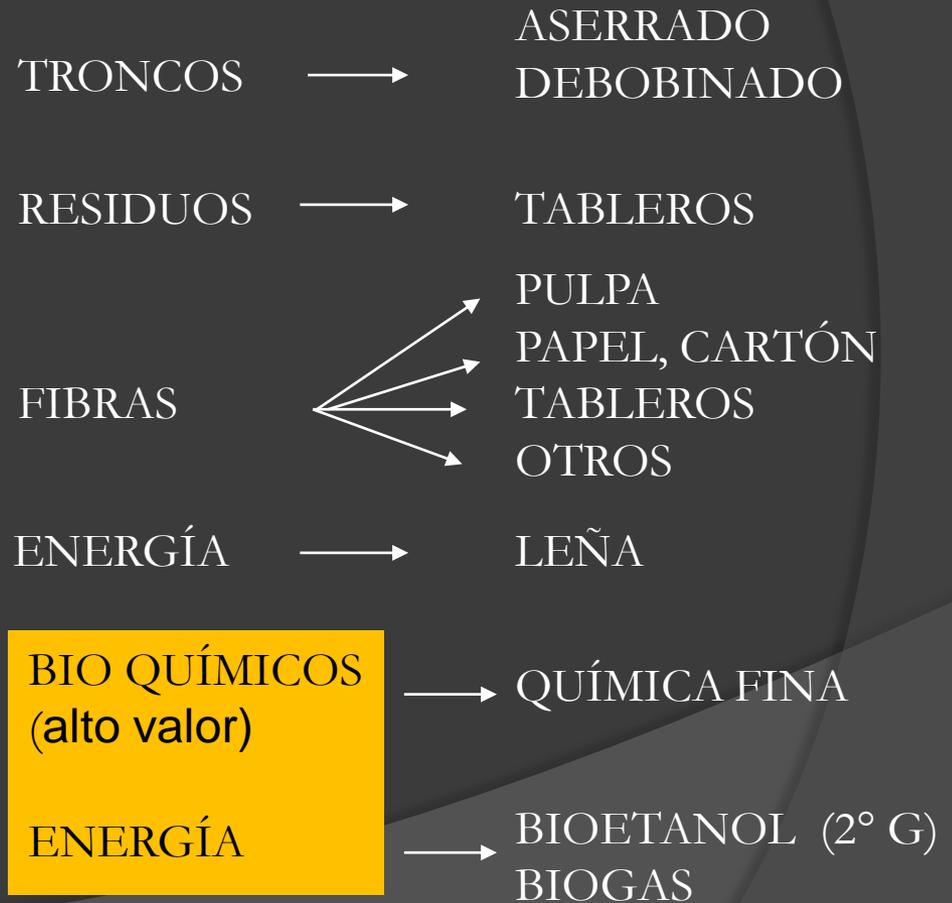
BIOFÁBRICA



VIVERO



PLANTACIÓN



# BIORREFINERÍA FORESTAL

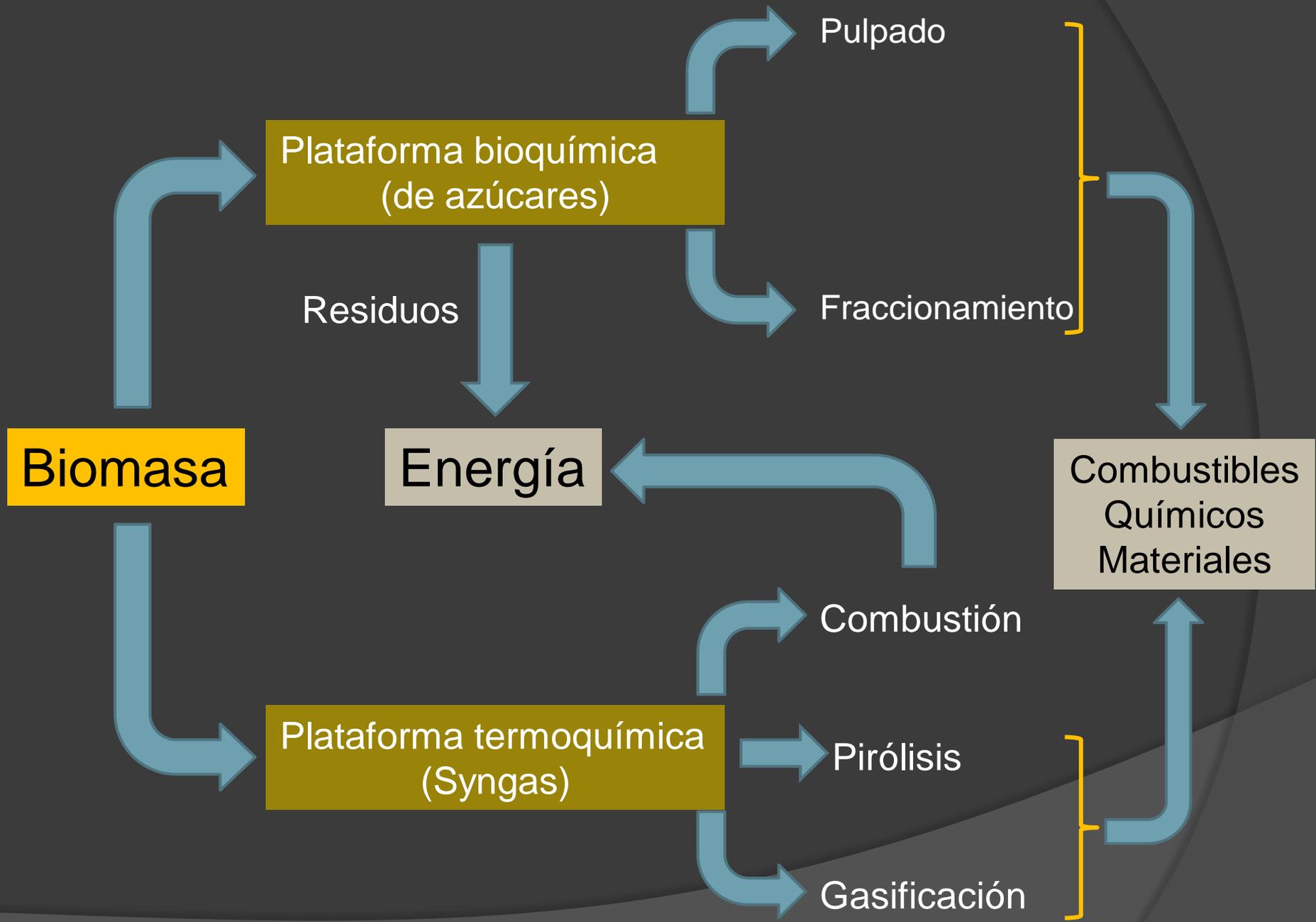
- Estructura que **integra procesos de producción de combustibles y productos químicos a partir de biomasa** (polímeros, plásticos, otros, etanol, biogás, otros combustibles, etc.)
- Concepto análogo al de refinerías de petróleo
  - Pero usando recursos renovables



# BIORREFINERÍA FORESTAL

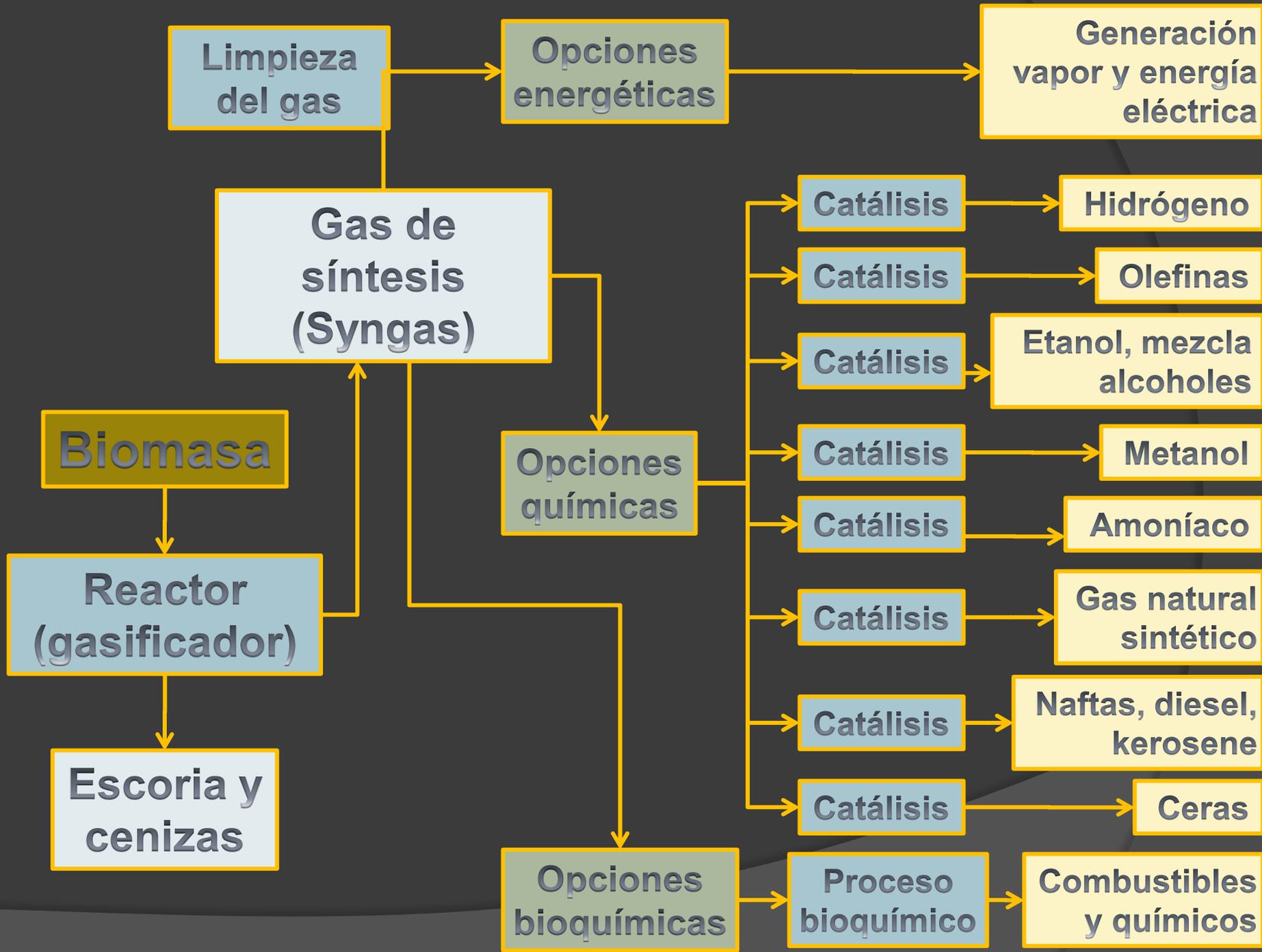
- ⦿ Parte de una **producción forestal sustentable**
- ⦿ Aprovecha todo el árbol (**inclusive residuos**)
- ⦿ Genera:
  - **productos tradicionales**
  - **+**
  - **gama de productos químicos de alto valor agregado**
- ⦿ Valoriza la materia prima forestal





# PLATAFORMA TERMOQUÍMICA

- ⦿ **Basada en la conversión termoquímica de la biomasa**
  - **Gasificación:**
    - Reacción a temperatura elevada ( $>700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sin combustión, con cantidades controladas de  $\text{O}_2$  o vapor
  - **Pirólisis**
    - Descomposición química por calentamiento en ausencia de  $\text{O}_2$
- ⦿ **Transforma la biomasa o una de sus fracciones en gas de síntesis ( $\text{H}_2+\text{CO}$ ) + otros compuestos**
  - Syngas (biogas)
  - Subproductos de procesos de conversión



Limpieza del gas

Opciones energéticas

Generación vapor y energía eléctrica

Gas de síntesis (Syngas)

Catálisis

Hidrógeno

Catálisis

Olefinas

Catálisis

Etanol, mezcla alcoholes

Catálisis

Metanol

Catálisis

Amoníaco

Catálisis

Gas natural sintético

Catálisis

Naftas, diesel, kerosene

Catálisis

Ceras

Biomasa

Reactor (gasificador)

Escoria y cenizas

Opciones químicas

Opciones bioquímicas

Proceso bioquímico

Combustibles y químicos

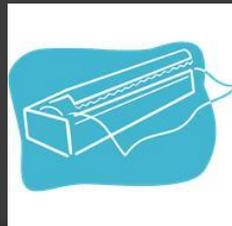
# PLATAFORMA QUÍMICA

## Basada en procesos de conversión química y bioquímica

- Bioetanol por fermentación de los azúcares de la biomasa



- Múltiples productos de alto valor mediante procesos químicos o bioquímicos



# PRODUCCIÓN DE BIOETANOL CELULÓSICO (2da generación)

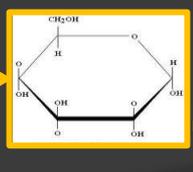
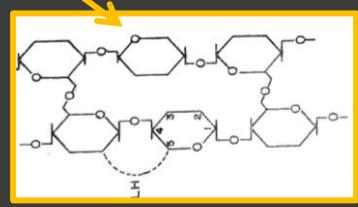
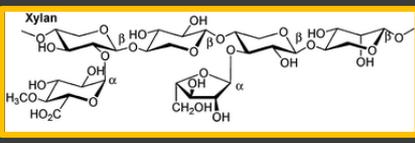
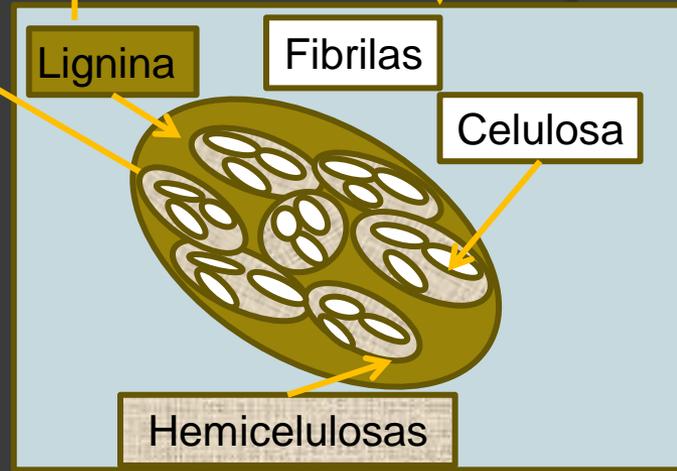
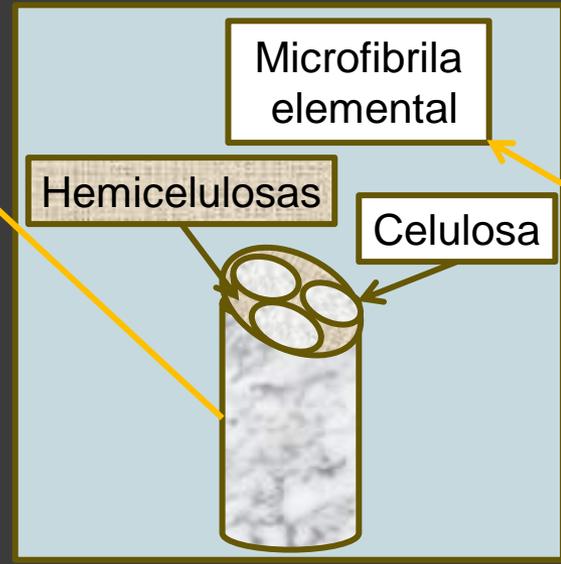
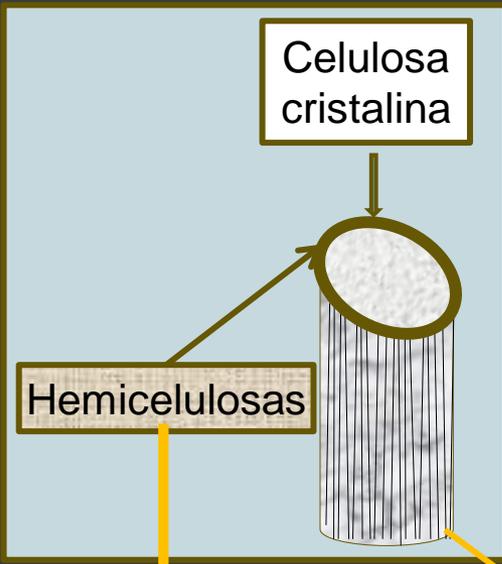
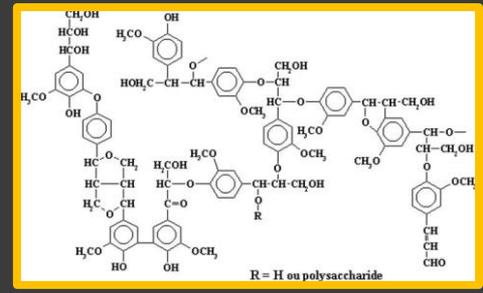
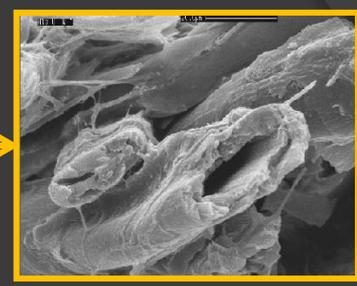
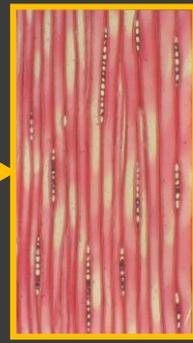
- ⊙ **Preparación del material**
  - Recolección, manipulación, almacenamiento
- ⊙ **Pretratamiento quimi-termo-mecánico**
  - Depolimerización parcial de la lignina y ruptura de la estructura de la celulosa
- ⊙ **Digestión química o enzimática**
  - Liberación de la glucosa fermentable (sacarificación)
- ⊙ **Fermentación**
  - Conversión de glucosa en etanol (proceso clásico usando levaduras)
- ⊙ **Destilación del alcohol**
  - Obtención del biocombustible

# PRODUCCIÓN DE BIOETANOL CELULÓSICO

## ● Ventajas

- Es carbono neutral
- Gran disponibilidad y bajo costo de la materia prima
- No compite con alimentos





Cadenas de Celulosa

Sacarificación

Fermentación

Destilación

Bioetanol

# PRODUCCIÓN DE BIOETANOL CELULÓSICO

## ⦿ Inconvenientes

- Necesidad de **desestructurar** el material lignocelulósico para liberar la celulosa
- Elevada **demanda energética** global del proceso
- Generación de **inhibidores** de la fermentación
- **Efluentes líquidos** con altos sólidos suspendidos, DBO y DQO

# PRODUCCIÓN DE BIOETANOL CELULÓSICO

- ⦿ Para lograr su factibilidad económica:
  - Reducción del **consumo de energía**
  - Reducción de los **costos de inversión**
  - Reducción de los **costos de operación:**
  - Diversificación de la producción
    - **Los productos industriales basados en la biomasa pueden competir con los petroquímicos si las materias primas son óptimamente aprovechadas**

# MATERIAS PRIMAS PARA LA BIORREFINERÍA

- ◎ **Cualquier biomasa lignocelulósica.**
  - Cultivos energéticos
    - Ricos en fibras, cultivados para la obtención de energía
  - Residuos de actividades agrícolas y forestales
    - Primarias e industriales
  - Combinación de ambos

# UNA REFINERÍA PARA CADA MATERIA PRIMA

## Residuos agroforestales de la región NEA

Componentes	Residuo forestoindustrial (aserrín)				Residuo agroindustrial	
	Pino ellioti	Pino taeda	Eucalipto	Algarrobo negro	Bagazo	Cáscara de arroz
Celulosa	43,2	40,6	41,8	34,1	43,1	34,1
Hemicelulosas	24,7	20,2	12,1	15,2	27,2	15,8
Lignina	27,7	29,2	31,3	33,2	21,3	19,0
Extractivos	4,7	2,2	7,9	14,6	4,6	8,2
Cenizas	0,3	0,5	0,7	0,5	1,5	15,0

%, g/100 de materia prima en base seca

# Composición química de las hemicelulosas de residuos agroforestales de la región NEA

	Residuo forestoindustrial (aserrín)				Residuo agroindustrial	
	Pino ellioti	Pino taeda	Eucalipto	Algarrobo negro	Bagazo	Cáscara de arroz
Glucanos	2,4	1,9	-	-	-	-
Xilanos	7,5	7,2	10,7	12,6	23,8	13,1
Arabinanos	1,1	1,2	n.d.	0,7	1,7	1,5
Mananos	10,1	7,7	-	-	-	-
Galactanos	2,5	2,3	-	-	-	-
Acetilos	1,1	1,8	1,4	1,9	1,7	1,2

%, g/100 de materia prima en base seca - n.d.: no detectado

# PRODUCTOS DE LA BIORREFINERÍA

# Biomasa

Inorgánicos

Extractivos

Hemicelulosas

Lignina

Celulosa

Combustibles  
Farmacéutica  
Química  
Otras

Combustibles  
Farmacéutica  
Química  
Otras

Combustibles  
Química  
Otras

Combustibles  
Papelería  
Textil  
Farmacéutica  
Química  
Otras

# Productos no tradicionales que pueden obtenerse a partir de la celulosa

<b>Recurso</b>	<b>Producto</b>
Fibras celulósicas	Biofibras Nanofibras / Nanocristales de celulosa
Celulosa de alto peso molecular	Celulosa microcristalina Carboximetilcelulosa
Oligómeros y glucosa	Etanol Ácido láctico Sorbitol Glutamato monosódico / Ácido glutámico
Productos de degradación de la glucosa	HMF Ácido levulínico

# Productos que pueden obtenerse a partir de las hemicelulosas

<b>Recurso</b>	<b>Producto</b>
Hemicelulosas de alto peso molecular	Filmes poliméricos
Oligómeros y xilosa	Etanol Xilitol Butanol 2,3-Butanodiol
Productos de degradación de la xilosa	Furfural Ácido levulínico

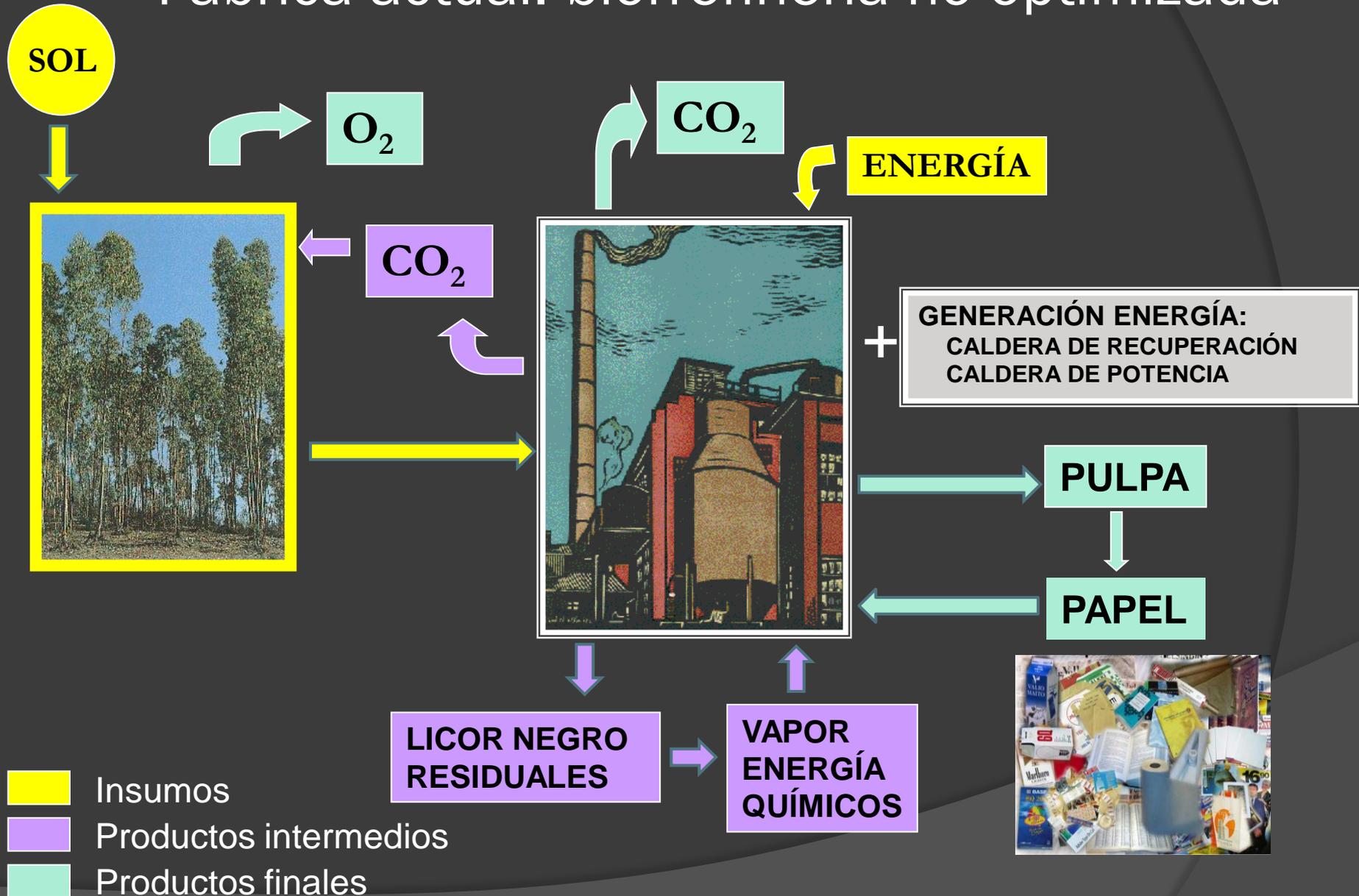
# Productos que pueden obtenerse a partir de la lignina

<b>Recurso</b>	<b>Producto</b>
Licor residual de la industria papelera	Combustible
Lignina como polímeros	Dispersantes Emulsificantes Secuestrantes Aditivos Adhesivos Co-reactivo de polímeros y resinas
Monómeros de lignina	Vainillina
Productos de degradación de la lignina	Dimetilsulfuro (DMS) Dimetilsulfóxido (DMSO) Gas, aceite y carbón

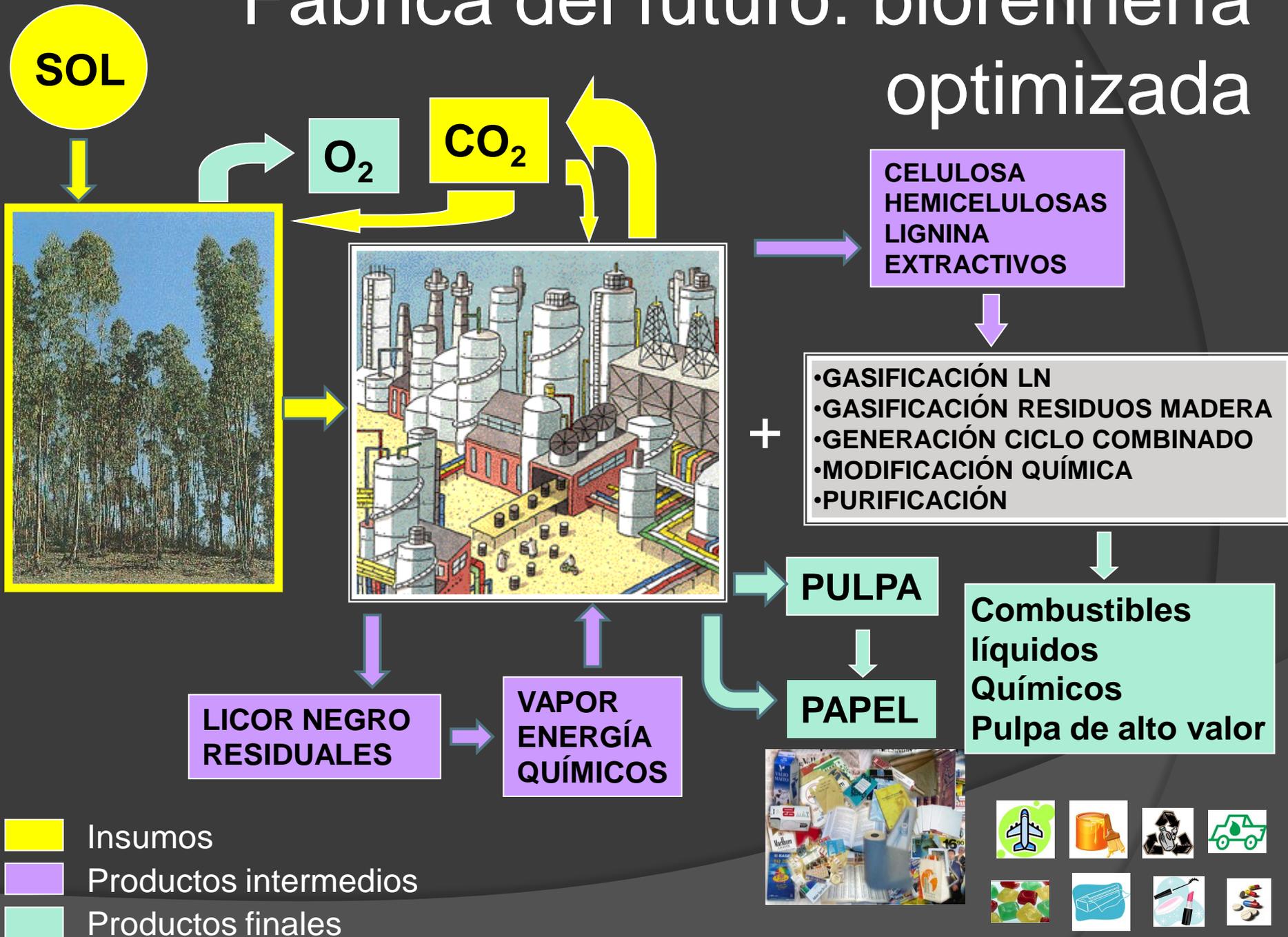
Caso 1

**BIORREFINERÍA DE PLATAFORMA  
QUÍMICA APLICADA A LA  
FABRICACIÓN DEL PULPAS  
PAPELERAS**

# Fábrica actual: biorrefinería no optimizada



# Fábrica del futuro: biorefinería optimizada



# EJEMPLO 1

- Fibria (Brasil) invirtió U\$S 20 millones en acciones de la empresa americana ENSYN (6% del capital)
- Exclusividad de uso de tecnología de pirólisis RTP (rapid thermal processing) en Brasil
- Tecnología aplicable a residuos agroforestales
  - Las materias primas se ponen en contacto con arena caliente (500°C) por pocos segundos.
  - Esto resulta en el craqueo térmico de la materia prima generando gases y vapores.
  - Los vapores se enfrían rápidamente y se recuperan como un líquido claro (RFO: Renewable Fuel Oil).
  - El gas se usa para energía.

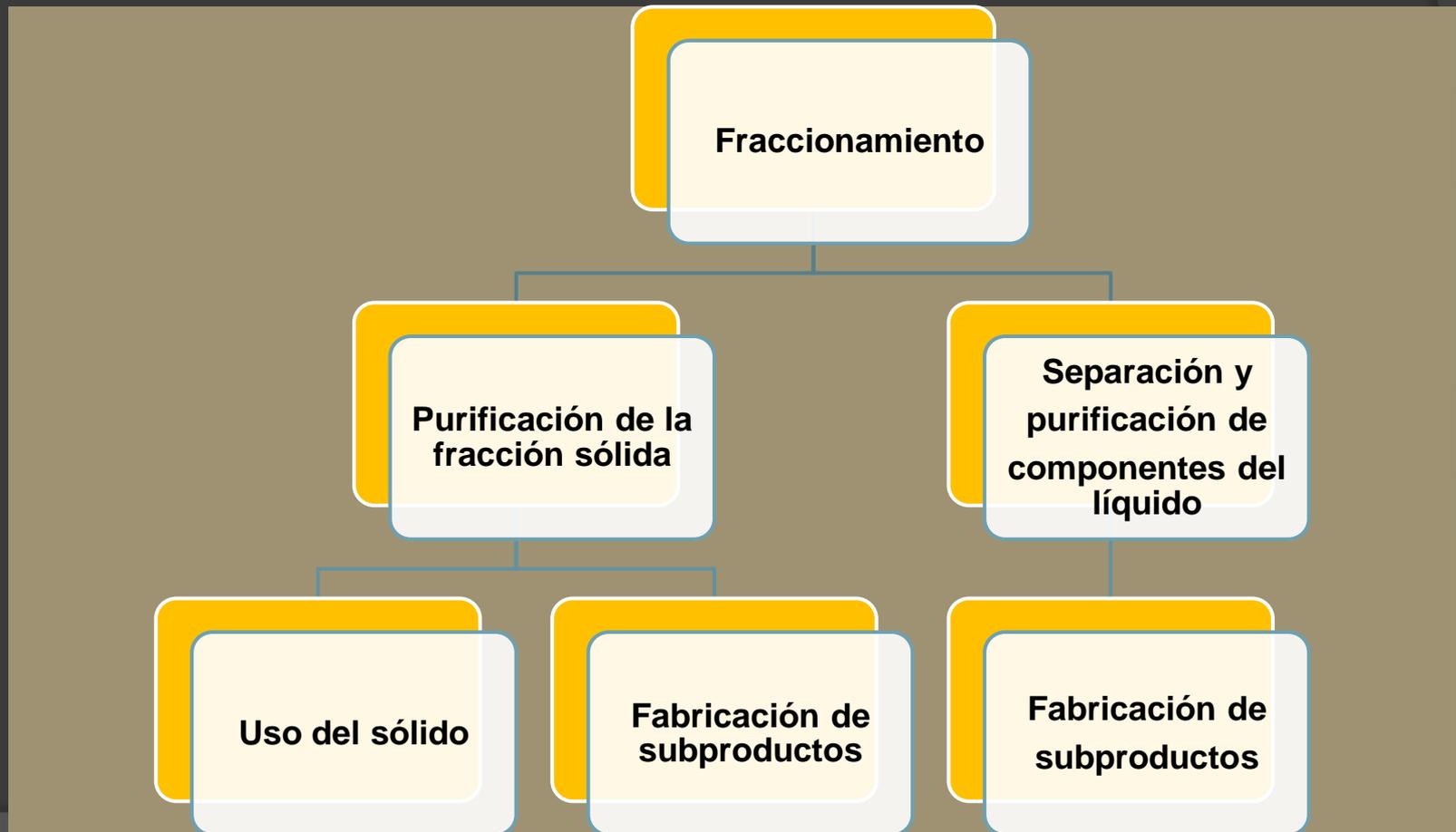
# EJEMPLO 2

- Domtar ha iniciado con éxito una planta comercial de separación de lignina con sistema LignoBoost en Plymouth, North Carolina (USA).
- Esta lignina kraft pura tiene uso directo como combustible.
- Se están probando además otras aplicaciones, tales como antioxidantes, aglutinantes y dispersantes.
  - LignoBoost de Metso es un sistema completo que extrae lignina del licor negro Kraft.
  - Es una solución cuando la caldera de recuperación es el factor limitante del aumento de capacidad de fabricación de pulpa
  - Si se elimina 25% de la lignina del licor negro, el aumento de capacidad de la caldera permite 20-25% más de producción de pulpa.

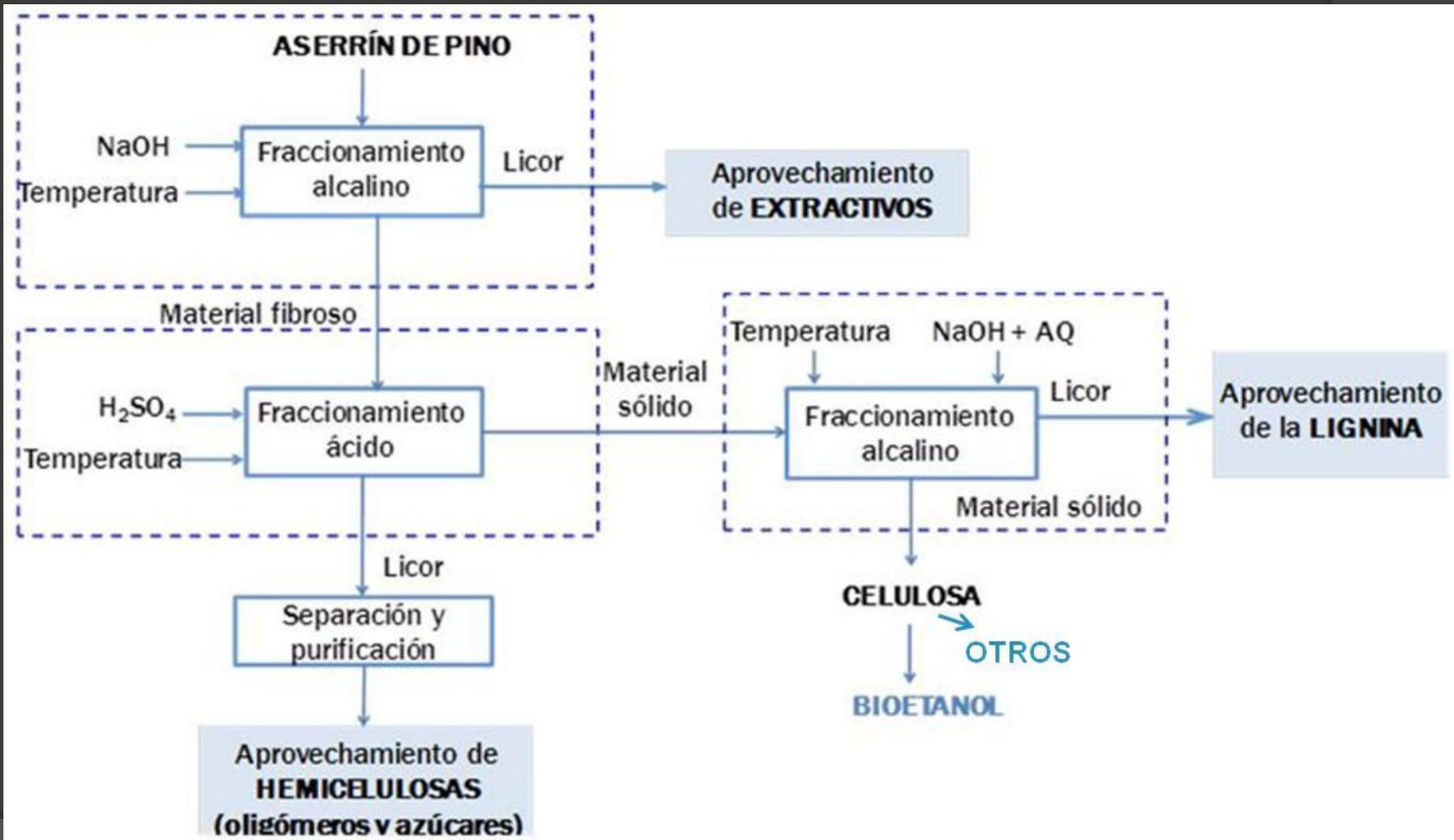
Caso 2

**BIORREFINERÍA DE  
PLATAFORMA QUÍMICA  
APLICADA A RESIDUOS DE  
BIOMASA**

# BIORREFINERÍA DE PLATAFORMA QUÍMICA A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA



# Esquema tecnológico para el aprovechamiento integral del aserrín de pino



# Obtención de ácidos orgánicos a partir del licor (hemicelulosas y azúcares)

**ASERRÍN DE PINO PRETRATADO**  
(Tratamiento alcalino:  
desresinación y desacetilación)

$H_2SO_4$

Temperatura

Fraccionamiento  
ácido

Material sólido

Licor (Hemicelulosas:  
oligómeros y azúcares)

Catalizador

Conversión de azúcares  
a ácidos orgánicos

Extracción

Mezclas de  
**ÁCIDOS  
ORGÁNICOS**

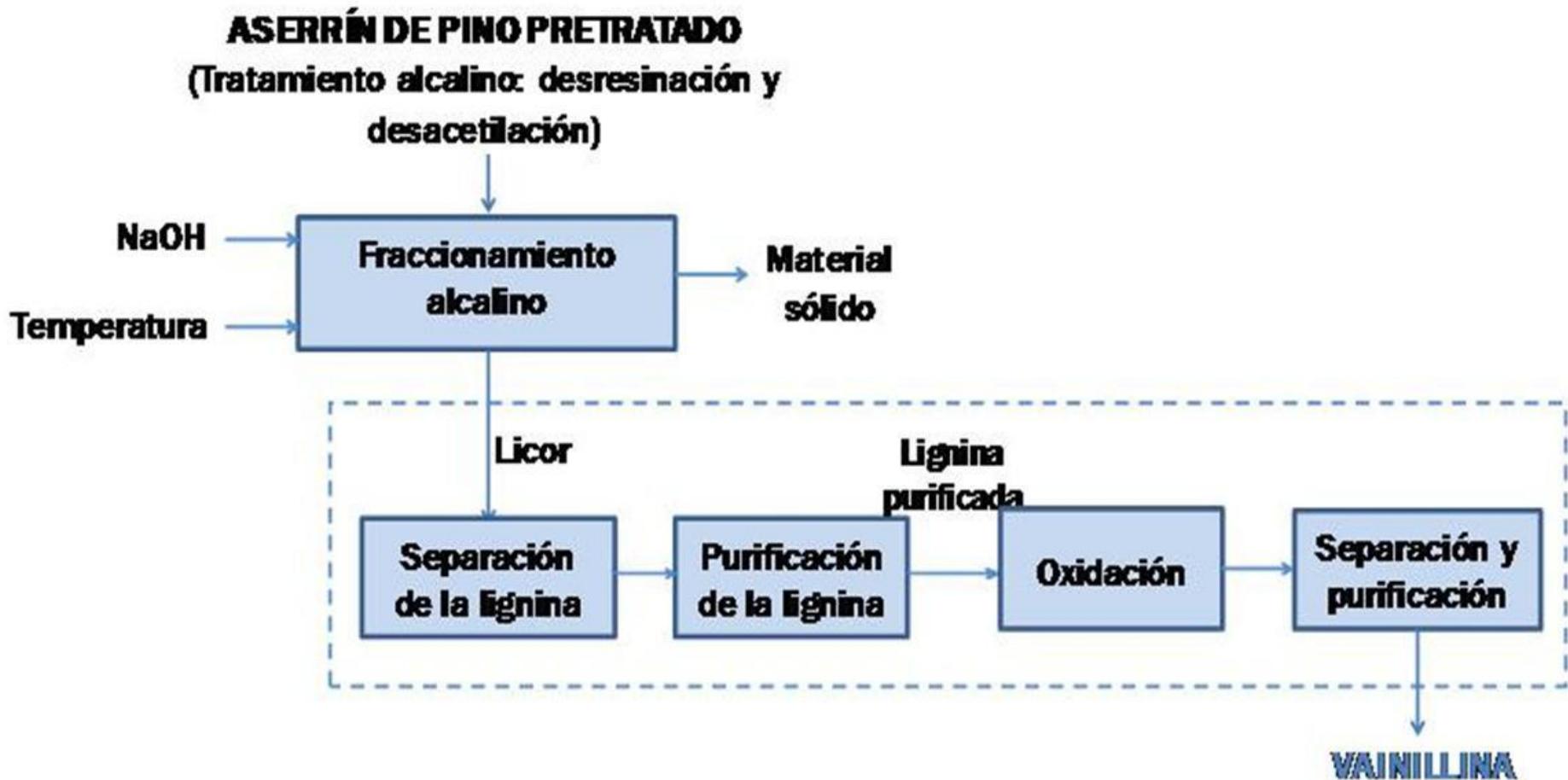
Separación y  
recuperación

→ ACIDO 1

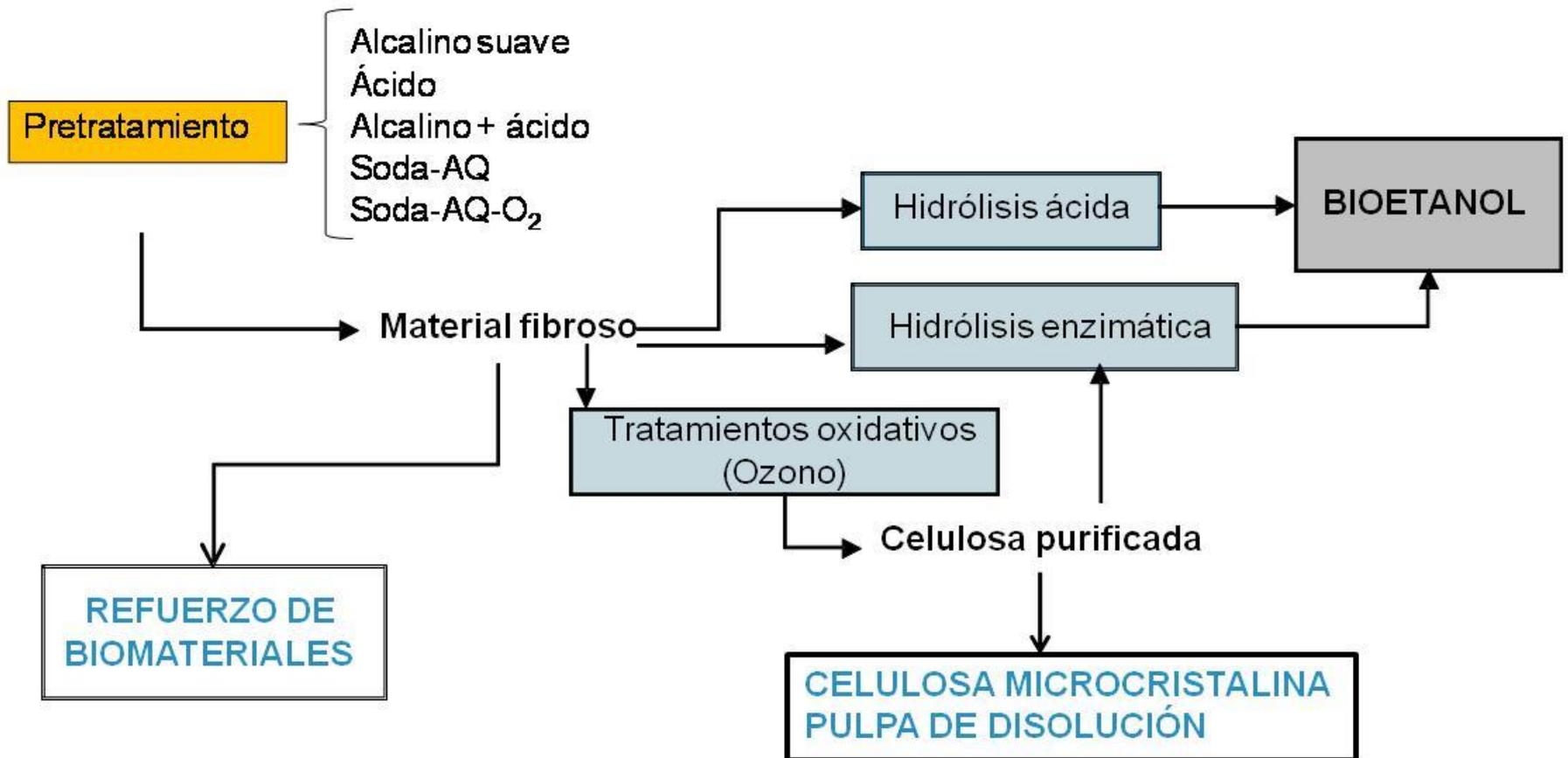
→ ACIDO 2

→ ACIDO 3

# Obtención de vainillina a partir del licor residual del fraccionamiento alcalino



# Obtención de productos de alto valor a partir del material celulósico



# CONCLUSIONES

## ⦿ La biorrefinería permite:

- Mejorar la rentabilidad del sector forestal
- Convertir una industria tradicional en moderna
- Desarrollar polos industriales a partir de biomasa
- Disminuir la contaminación ambiental

# BIBLIOGRAFIA

## ⦿ Libro:

- “Biorrefinería a partir de residuos lignocelulósicos. Conversión de residuos a productos de alto valor”

- Area, M.C., Vallejos, M.E. (Editoras)
- Editorial Académica Española. AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Heinrich-Böcking-Straße 6-8, 66121 Saarbrücken, Alemania. 191 pag. 2012. ISBN 978-3-659-05295-8.

## ⦿ Proyecto: “Biorrefinería a partir de residuos de industrialización primaria de la madera”

PIP CONICET / PICTO-UNaM

# PROCYP (PROGRAMA DE CELULOSA Y PAPEL)



Químico



Instrumental



Microscopía

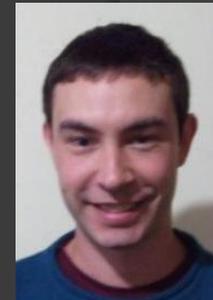


Ensayos físicos



Planta piloto

# Miembros



20 miembros, incluyendo investigadores, técnicos, tesistas y becarios

cristinaarea@gmail.com

**Muchas gracias por su  
atención**