

LA ENERGIA DE LA BIOMASA



BIO-TEP / colección ERA SOLAR

LA ENERGIA DE LA BIOMASA

FRANCISCO JARRABO FRIEDRICH

ERA SOLAR

TEMARIO:

Tema 1: Biomasa y energía.

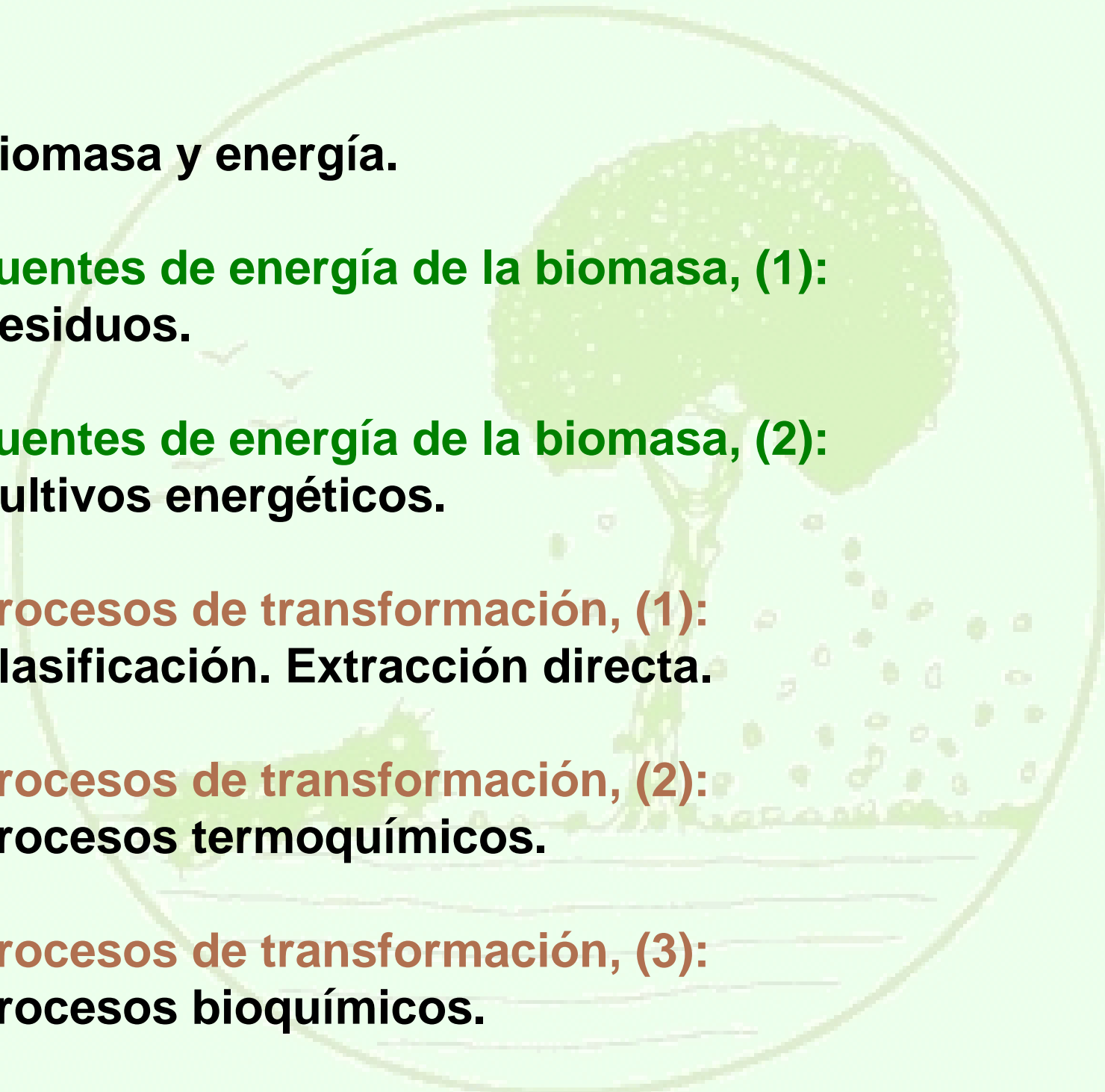
Tema 2: Fuentes de energía de la biomasa, (1): Residuos.

Tema 3: Fuentes de energía de la biomasa, (2): Cultivos energéticos.

Tema 4: Procesos de transformación, (1): Clasificación. Extracción directa.

Tema 5: Procesos de transformación, (2): Procesos termoquímicos.

Tema 6: Procesos de transformación, (3): Procesos bioquímicos.



BIBLIOGRAFÍA:

Jarabo, F. y otros; *Energías renovables*, 2ª ed., S.A.P.T Publicaciones Técnicas, Madrid (2000).

Jarabo, F. y otros; *La energía de la biomasa*, 2ª ed., S.A.P.T Publicaciones Técnicas, Madrid (1999).

Jarabo, F. y Fernández, J.; *Energías alternativas renovables. ¿Un futuro para Canarias?*, Secretariado de Publicaciones, Universidad de La Laguna, La Laguna (1983).

FORMACIÓN DE LA BIOMASA

Definición de biomasa:

Conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien evolucionados en la cadena biológica.

Fotosíntesis:

Sistema de fijación de la energía solar (captación + acumulación) de la naturaleza mediante las plantas verdes.

Materia orgánica = energía química almacenada = energía solar
(energía de la biomasa)

Proceso fotosintético:

Materias primas inorgánicas
(*carbono, hidrógeno, oxígeno,
nitrógeno, potasio, fósforo*)

+

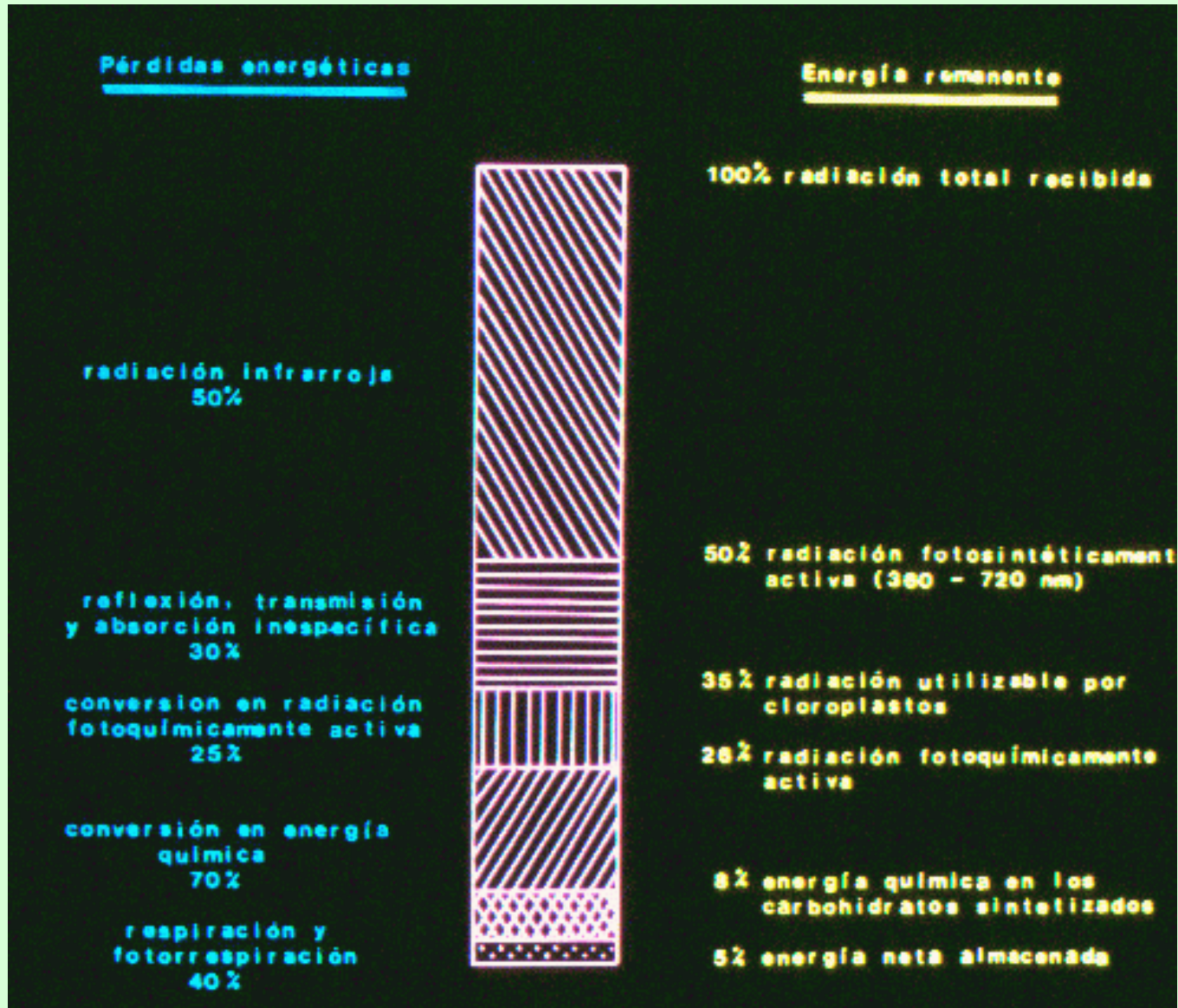
energía (fotones)

=

Productos orgánicos
(*macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas, grasas*)

Tema 1: Biomasa y energía

Pérdidas de energía:



Tema 1: Biomasa y energía

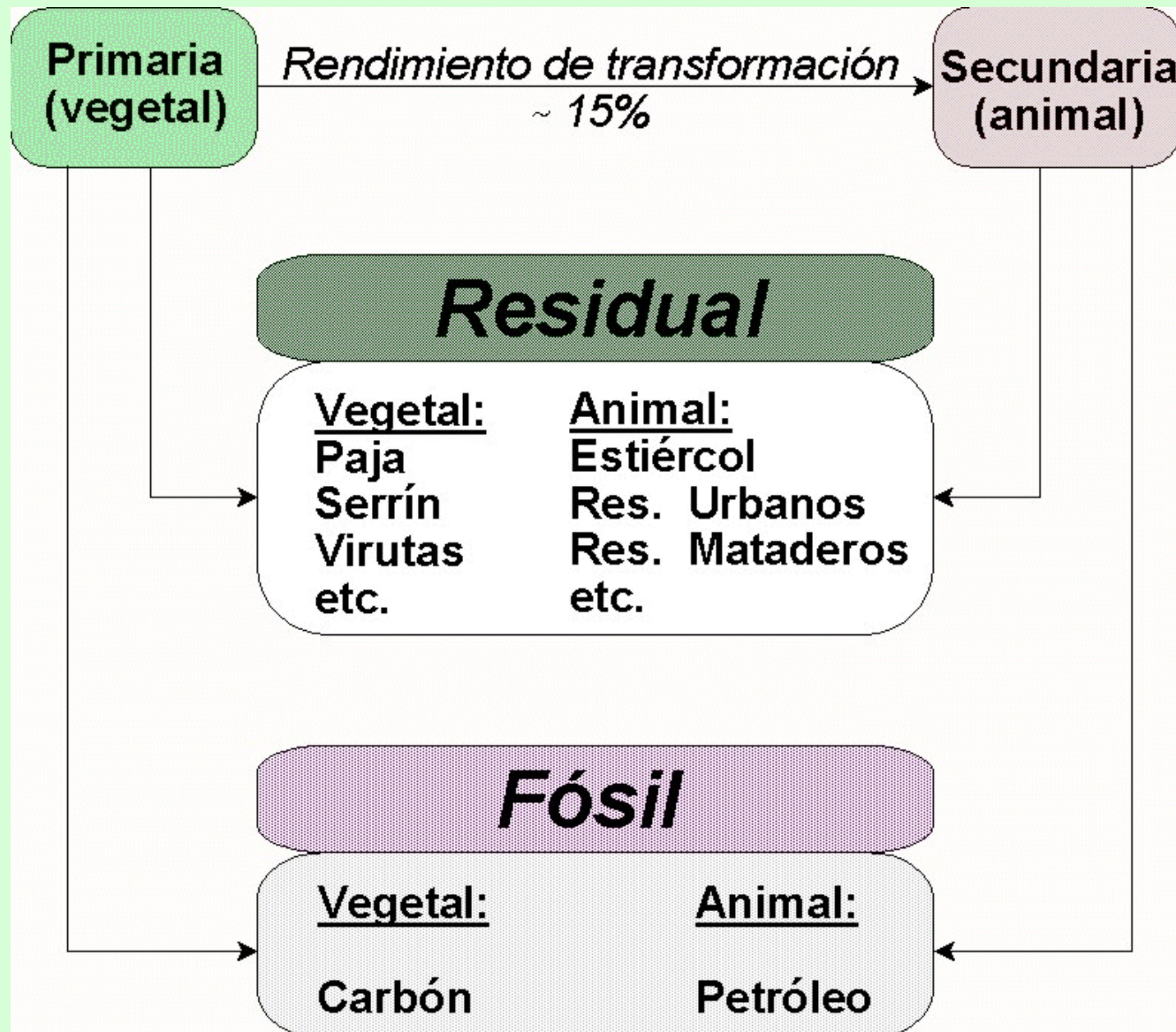
Rendimientos	
Máximo teórico	8%
Máximo real (respiración)	3%
Medio	1%
Bajo rendimiento pero gran superficie: 10 veces el consumo energético humano	

Limitaciones en la utilización de la biomasa:

- Difícil recolección (el 40% es acuática)
- Costes de recolección y transporte (la terrestre está dispersa)
- Estado de la tecnología

Tema 1: Biomasa y energía

Tipos de biomasa:



Utilización de la biomasa:

- Directamente como combustible
- Indirectamente, para producir combustibles
- Indirectamente, para ahorrar combustibles

Concepto de biomasa (resumen):

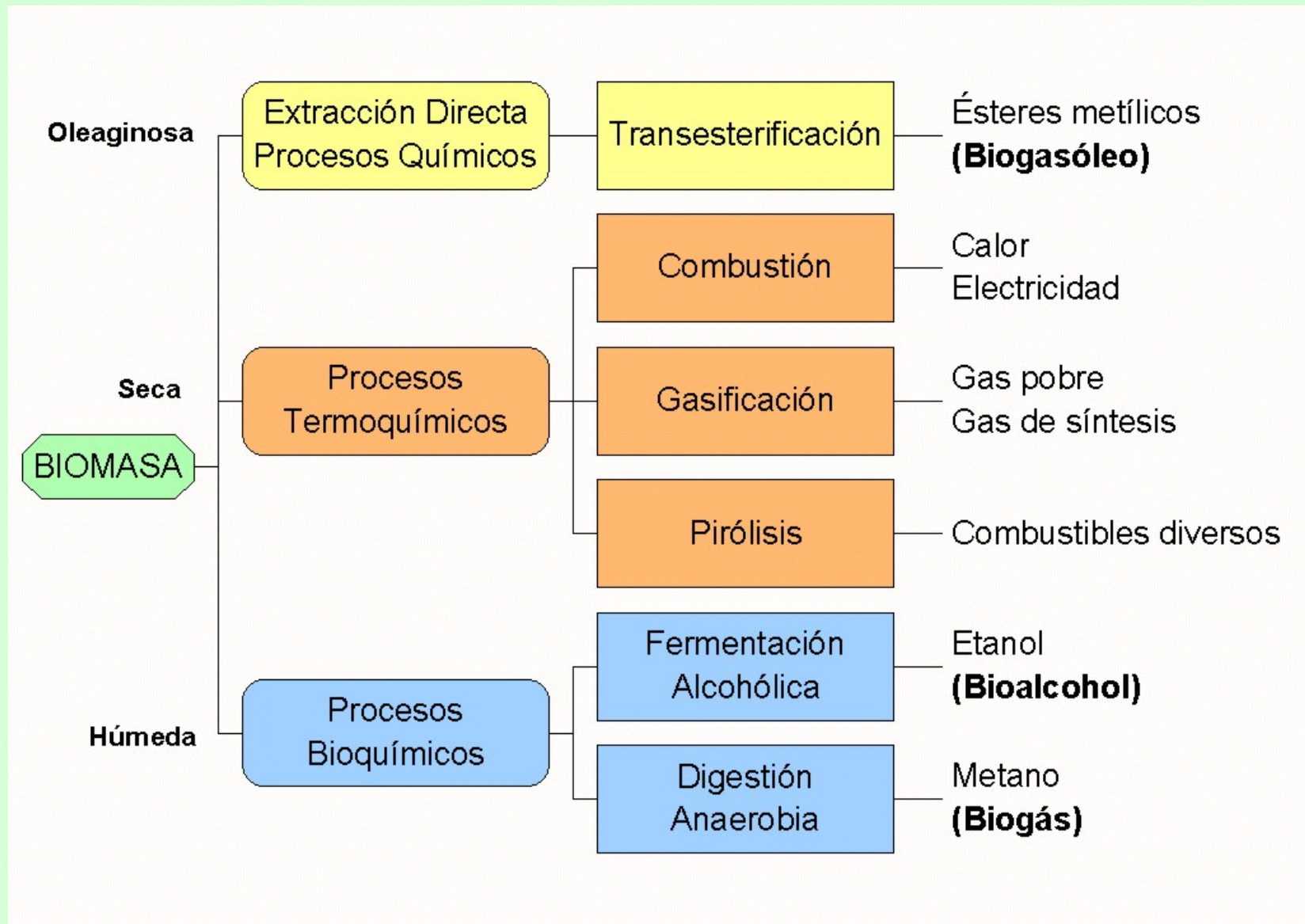
Conjunto de plantas terrestres y acuáticas; sus residuos o subproductos; los residuos o subproductos derivados de la transformación de dichas plantas, bien por los animales que se alimentan de ellas o por los procesos tecnológicos de las industrias alimentarias.

Tema 1: Biomasa y energía

Fuentes de Biomasa	
Residuos (corto plazo)	Cultivos energéticos (largo plazo)
Agrarios	Tradicionales
Industriales	Poco frecuentes
Urbanos	Acuáticos
	Plantas productoras de combustibles líquidos

Tema 1: Biomasa y energía

Procesos de transformación:



LOS RESIDUOS

Definición:

“materiales generados en las actividades de producción, transformación y consumo, que no han alcanzado ningún valor económico en el contexto en que han sido generados”

Características:

- ✗ Problema actual de acumulación
- ✗ Gran cantidad de materia orgánica (**biomasa residual**)
- ✗ “Materia prima” inagotable: 2 Tm/hab·año (= 9.000 kW·h/hab·año)
- ✗ Tratamiento costoso: rentabilizar produciendo energía

Ventajas de su tratamiento:

- X** Productos existentes
- X** Concentración (ahorro en costes de transporte)
- X** Mejora del medio ambiente
- X** Generación de productos valiosos
- X** Posible actividad de interés económico y social

TIPOS DE RESIDUOS

Clasificación según **composición**:

- X Orgánicos
- X Plásticos
- X Metálicos

Clasificación según **origen**:

- X Agrarios
- X Industriales
- X Urbanos

Tema 2: Fuentes, (1): Residuos

Tipos de residuos (biomasa residual)		
SECTOR	ACTIVIDAD	RESIDUOS
Primario	Agraria	Agrícolas Forestales Ganaderos
Secundario	Transformación	Industriales (industrias agrarias)
Consumo	Urbana	Residuos sólidos urbanos (fracción orgánica) Aguas residuales (lodos de depuradora)

Residuo agrícola:

Planta o porción de ella cultivada que es preciso separar para obtener el fruto o para facilitar el cultivo propio o posterior.

Residuos agrícolas no utilizables:

- * Raíces, hojas o frutas que quedan en el suelo y se incorporan a él.
- * Partes aéreas que se separan y sirven de alimento al ganado.

Tema 2: Fuentes, (1): Residuos

Residuos agrícolas de aprovechamiento energético		
CEREALES GRANO (pajas)	FRUTALES (ramas)	INDUSTRIALES (tallos)
Trigo	Cítricos	Girasol
Cebada	Frutos de pepita	Algodón
Avena	Frutos de hueso	Caña azúcar
Centeno	Frutos secos	
Maíz	Olivar	
Arroz	Viñedo	
Sorgo		

Residuo forestal:

Conjunto de ramas, cortezas, virutas, serrín, hojas, tocones y raíces.

Según los valores medios para varias especies, las diferentes partes de árbol se distribuyen en:

- Tronco: 67%
- Ramas: 16%
- Hojas: 3%
- Tocones: 14%

Residuos forestales de aprovechamiento energético	
CORTE Y ELABORACIÓN DE LA MADERA:	TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS
Residuos de ramas Corteza, serrín y virutas de ramas Corteza, serrín y virutas de madera Hojas, tocones, raíces	Residuos de madera de sierra Residuos de madera de industria Leña para astillas

Residuo ganadero:

Conjunto de deyecciones animales, estabulados o no

Ventajas de su aprovechamiento energético por vía bioquímica:

- Se trata de residuos localizados.
- Los residuos tienen gran cantidad de agua.
- Aportan un alto contenido en nutrientes para el crecimiento bacteriano.
- El efluente del proceso mejora notablemente la concentración de nutrientes (nitrógeno y fósforo) respecto al residuo original; gran ventaja para su utilización posterior en la agricultura.

Tema 2: Fuentes, (1): Residuos

Residuos ganaderos de aprovechamiento energético
TIPO DE GANADO
Bovino
Ovino
Caprino
Porcino
Equino
Aves
Conejos

Residuos industriales (orgánicos)

Residuos industriales de aprovechamiento energético
INDUSTRIA
Conservas vegetales
Producción de aceites
Producción de vinos
Frutos secos

Residuos sólidos urbanos:

Materiales resultantes de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, cuando su poseedor o productor los destina al abandono.

Residuos sólidos urbanos: composición media	
Materia orgánica	55%
Papel y cartón	18%
Plásticos	4%
Vidrio	3%
Metales	4%
Otros	16%

Producción de residuos sólidos urbanos:

Cantidades variables según el tamaño del núcleo de producción (alrededor de 1 kg/hab·día)

Fuente de biomasa más directamente aprovechable:

- ✗ Dos fases: recogida/transporte y aprovechamiento/eliminación
- ✗ Recogida ya organizada y eliminación imprescindible
- ✗ Permite el reciclado de otros productos
- ✗ Crecimiento del 5% anual

Aguas residuales urbanas:

Líquidos procedentes de la actividad humana con las siguientes características:

- ✗ Gran parte es agua
- ✗ Fracción sólida (fangos) casi completamente orgánica
- ✗ Depuración de agua actualmente imprescindible
- ✗ Fangos de alta carga contaminante

Tratamiento de fangos (lodos) para su aprovechamiento energético por vía bioquímica.

LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

Definición:

Cultivo de cosechas atendiendo al valor que poseen como combustible, es decir, con la directriz de su potencial energético. Nueva faceta agrícola conocida como ***Agroenergética***.

- * Carencia de datos experimentales
- * Sólo explotada mínimamente
- * Desconocimiento de rentabilidad
- * Desconocimiento de impacto ambiental

Balance energético en cultivos:

- Trabajo humano, considerando al agricultor como una máquina que consume biomasa del propio proceso.
- Trabajo de animales de labor, que se utilizan sólo en ciertas épocas, pero hay que mantenerlos todo el año.
- Abonos y productos químicos: energía interna, la energía consumida en su fabricación, transporte, y aplicación.
- Semillas; en la producción normal, el equivalente a su energía interna para semillas híbridas o seleccionadas, la energía gastada en su producción.
- Maquinaria agrícola (aperos de labranza, tractores, motores), su consumo de combustible, y los gastos energéticos de su fabricación, conservación y mantenimiento.
- Materiales de construcción.
- Materiales de riego (considerando embalses y canales).

Impacto ambiental de cultivos energéticos:

- ✱ Se implantarían en zonas marginales, en las que los cultivos protegerían el suelo contra la erosión y aumentarían su contenido en materia orgánica.
- ✱ Por ser cultivos poco exigentes en cuanto a tratamientos químicos serían menos contaminantes como los cultivos tradicionales.
- ✱ Se podría aumentar la variabilidad de las especies, con lo que aumentaría la estabilidad del ecosistema agroenergético.
- ✱ La reutilización de los residuos como fertilizante de las plantaciones aumentaría el contenido en materia orgánica del suelo.

CULTIVOS TRADICIONALES

Diferencias entre cultivos agroalimentarios/agroindustriales y agroenergéticos:

- En los agroalimentarios, el objetivo es obtener alimentos de calidad mientras que en los agroenergéticos se trata de la obtención de la mayor cantidad posible de biomasa transformable en energía.
- Las pueden ser distintas, pudiendo darse casos de plantaciones poliespecíficas en una misma superficie de cultivo.
- En los agroalimentarios se utiliza sólo una parte de la biomasa; en los agroenergéticos interesa toda la biomasa producida económicamente recolectable.
- Tanto el marco de plantación como la época de recolección pueden variar para una misma especie, según el enfoque sea agroalimentario o agroenergético.

Especies tradicionales:

- ◆ Cereales
- ◆ Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)
- ◆ Sorgo dulce (*Sorghum bicolor*)
- ◆ Maíz de tallo azucarado (*Zea mays*)
- ◆ Remolacha (*Beta vulgaris*)
- ◆ Mandioca o yuca (*Manihot esculenta*)

- ◆ Girasol (*Heliantus annuus*)
- ◆ Cítricos
- ◆ Plantaciones forestales (eucalipto, álamo, sauce, acacia)

CULTIVOS POCO FRECUENTES

- ❖ Cardos: *Onopordum nervosum* (toba), *O. illyricum* y *O. acanthum*
- ❖ Pataca o tupinambo (*Heliantus tuberosus*)
- ❖ Chumberas o tuneras (*Opuntia ficus-índica*)
- ❖ Ágaves, pitas o piteras (*Agave americana*)
- ❖ Caña de Provenza o caña común gigante (*Arundo donax*)
- ❖ Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*)
- ❖ Helechos (*Pteridium aquilinum*)

Tema 3: Fuentes, (2): Cultivos energéticos



Cardos

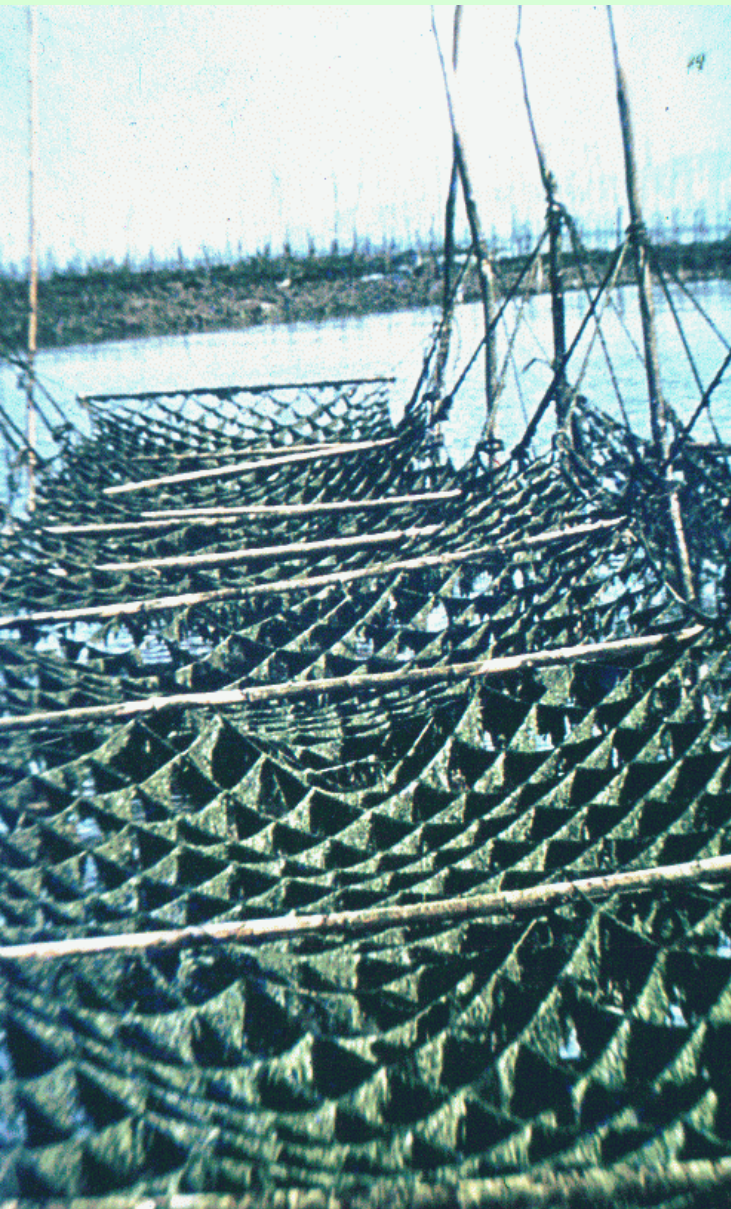


Chumberas

CULTIVOS ACUÁTICOS

- ✕ Algas: *Macrocystis pyrifera*
- ✕ Algas unicelulares: *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*
- ✕ Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*)

Tema 3: Fuentes, (2): Cultivos energéticos



Algas



Jacintos de agua

CULTIVOS DE PLANTAS PRODUCTORAS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

- ✓ Palma africana (*Elaeis guineensis*)
- ✓ Palma babasu (*Orbignya martiana*)
- ✓ Palma de coco (*Cocos nucifera*)
- ✓ Tabaiba o planta de la tusa (*Euphorbia lathyris*)
- ✓ Jojoba o azufaifo (*Simmondsia chinensis*)
- ✓ Alga elástica (*Botryococcus braurii*)
- ✓ Membrillo negro (*Croton sonderianus*)
- ✓ Tártago o ricino (*Ricinus communis*)
- ✓ Copaiba, especies de la *Copaífera*: *C. langsdorfii*, *C. multijuga*
- ✓ Árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*)
- ✓ Guayule (*Parthenium argentatum*)
- ✓ Toruyo o calabacilla amarga (*Cucurbita foetidissima*)

Tema 3: Fuentes, (2): Cultivos energéticos



Taboiba



Tártago

Valoración de los cultivos energéticos: Ventajas

- ✓ Pueden aligerar a un país de su dependencia energética exterior.
- ✓ No necesita de nuevas tecnologías; basta aplicar los conocimientos actuales con criterios adecuados a las nuevas circunstancias.
- ✓ Permite utilizar las tierras abandonadas, fomentando un desarrollo más equilibrado de la ordenación del territorio.
- ✓ Mejora la calidad del medio ambiente, por el uso de combustibles más limpios.
- ✓ Los cultivos y la industria correspondiente requieren mano de obra rural, lo que permitiría generar empleo.

Valoración de los cultivos energéticos: Inconvenientes

- ✗ La principal condición para cultivar biomasa con fines energéticos es la de disponer de superficie suficiente de terrenos marginales.
- ✗ Aunque se utilicen especies de pocas necesidades hídricas, el agua podría ser un factor limitante en la implantación de un cultivo energético.
- ✗ La Agroenergética, como faceta moderna e innovadora de la agricultura, requeriría el apoyo de las instituciones públicas.

Tema 3: Fuentes, (2): Cultivos energéticos

Aprovechamiento del suelo	
Tradicional	Agroenergético
<i>Tierras de Cultivo</i>	
Cultivos herbáceos	Barbecho y otras
Cultivos leñosos	
<i>Prados y Pastos</i>	
Prados naturales	Pastizales
<i>Terreno Forestal</i>	
Monte maderable	Monte abierto
	Monte leñoso

Tema 3: Fuentes, (2): Cultivos energéticos

Aprovechamiento del suelo	
Tradicional	Agroenergético
<i>Otras Superficies</i>	
Terrenos improductivos	Erial a pastos
Superficies no agrícolas	Espartizal
Ríos y lagos	

LA TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

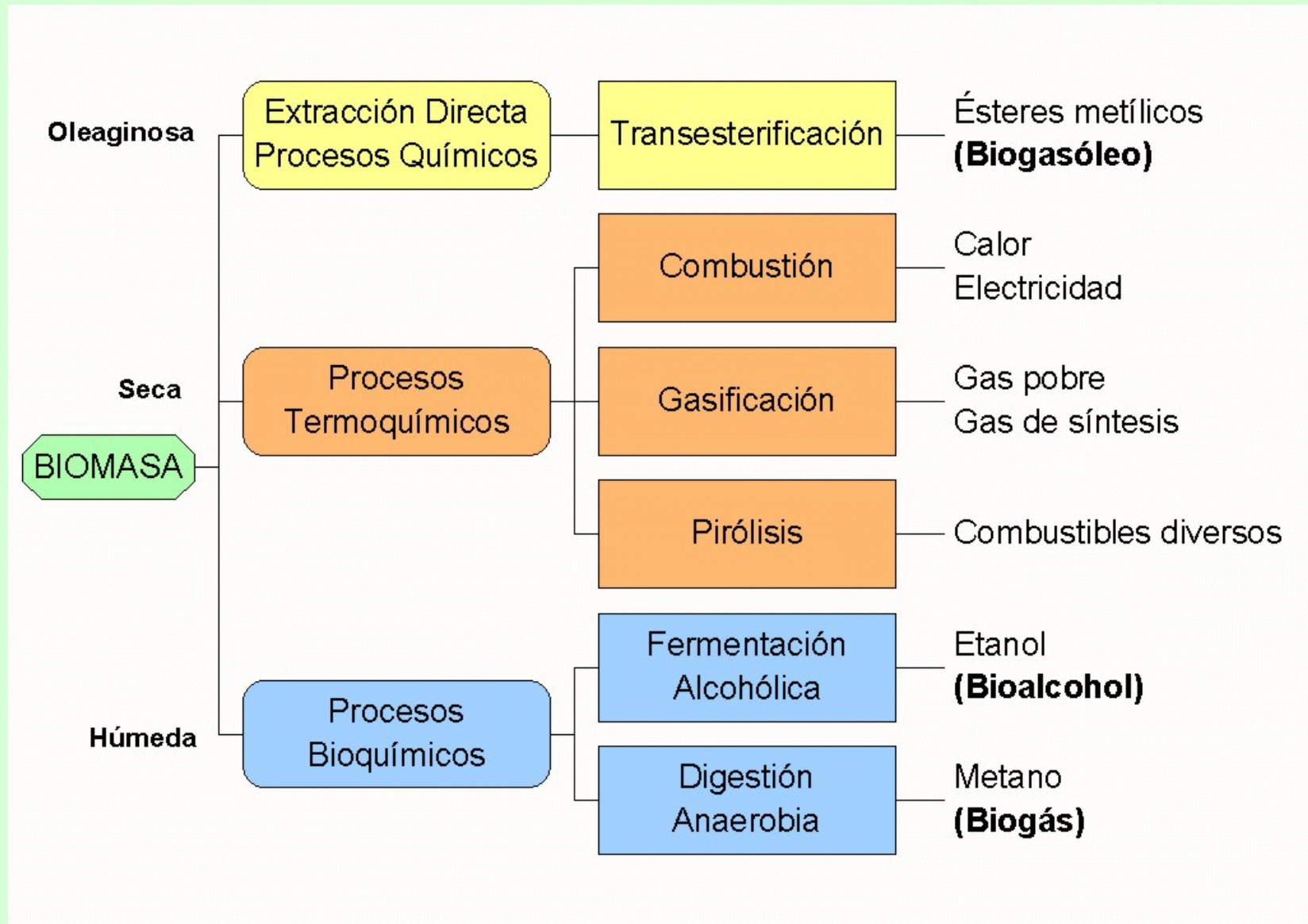
Características de la biomasa:

- X Baja densidad física
- X Baja densidad energética
- X Alto contenido en humedad

Ventajas de los combustibles generados:

- X Escaso contenido en azufre
- X No forman escorias en su combustión
- X Bajo contenido en cenizas
- X Mejora del medio ambiente

TIPOS DE PROCESOS



Tema 4: Procesos, (1): Clasificación. Extracción directa

Madurez tecnológica y comercial de la Energía de la Biomasa

Proceso	I+D+i	Demostración	Diseminación	Aplicación comercial
Cultivos energéticos	X	X		
Transformación residuos forestales		X	X	
Transformación residuos industriales				X
Combustión industrial				X
Combustión doméstica			X	X
Combustión (electricidad)			X	X
Incineración R.S.U. (electricidad)			X	X

Tema 4: Procesos, (1): Clasificación. Extracción directa

Madurez tecnológica y comercial de la Energía de la Biomasa

Proceso	I+D+i	Demostración	Diseminación	Aplicación comercial
Gasificación		X	X	
Pirólisis (carbón vegetal)		X	X	
Pirólisis (combustibles líquidos)	X	X		
Biocombustibles (biodiesel)	X	X	X	
Biocombustibles (bioetanol)	X	X	X	
Biogás (efluentes líquidos)		X	X	
Biogás (vertederos)			X	X

PROCESOS DE EXTRACCIÓN

Materias primas:

✗ Plantas productoras de combustibles líquidos

Productos obtenidos:

✗ Diversos, según la materia prima y el proceso seguido

Economía:

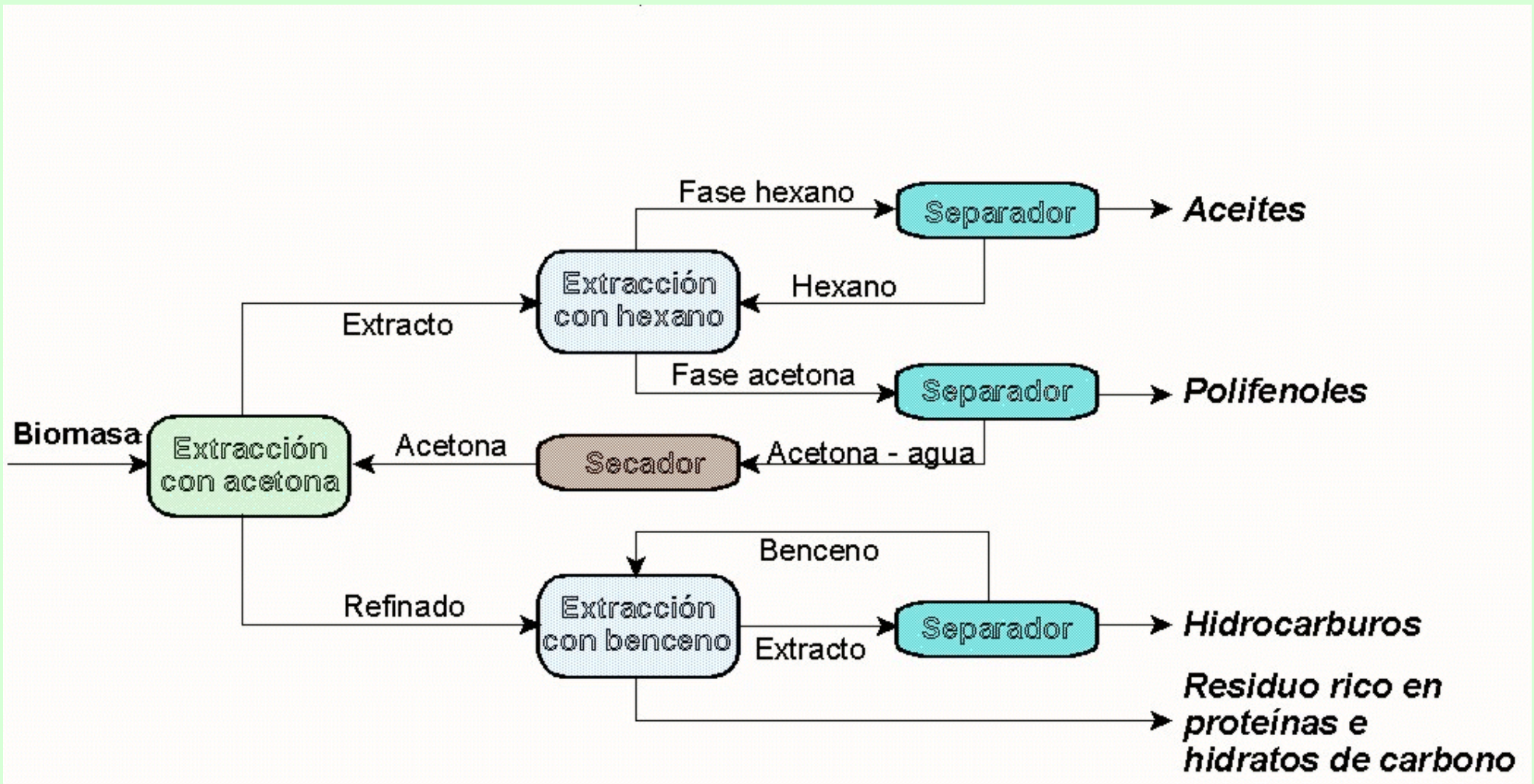
✗ Depende de los disolventes, que hay que reciclar

Esquema de operación:

✗ No completamente definido; depende de la materia prima

Tema 4: Procesos, (1): Clasificación. Extracción directa

Diagrama de operación:

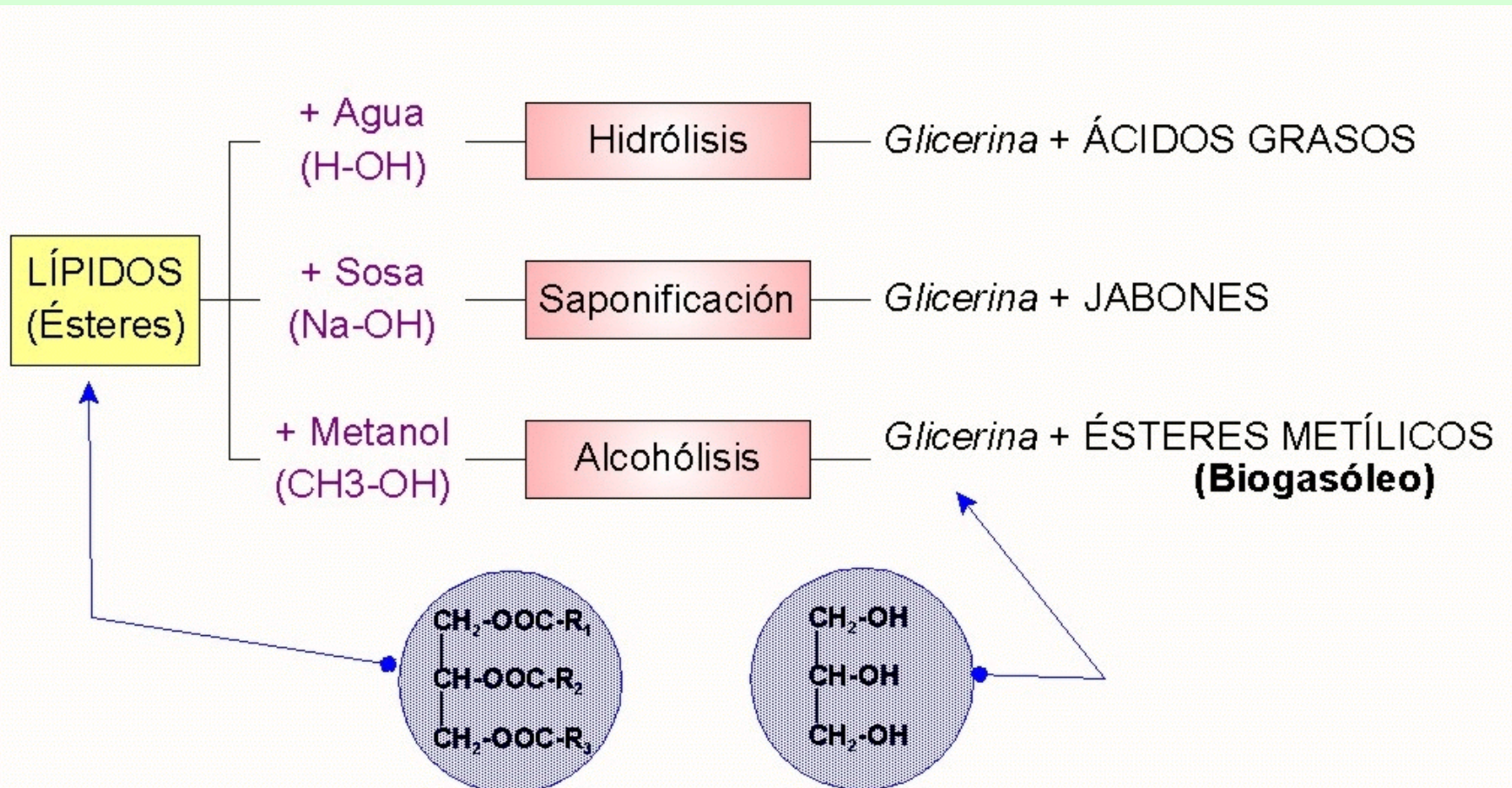


EXTRACCIÓN DIRECTA Y PROCESOS QUÍMICOS

Semillas de plantas oleaginosas:

Aceites (lípidos o triglicéridos)

Reacciones de los lípidos:



Obtención de biogasóleo

Transesterificación:



Características del biogasóleo:

Muy similares al gasóleo (sustituible en motores diesel)

Principales especificaciones:

- Éster de pureza superior al 96,5%.
- Contenido nulo de partículas sólidas.
- Sin restos de catalizador, jabones o ácidos grasos libres.

Tema 4: Procesos, (1): Clasificación. Extracción directa

Comportamiento de los combustibles			
Propiedad	Aceites vegetales	Ésteres metílicos	Gasóleo
Densidad a 20°C (kg/l)	0,91 - 0,93	0,86 - 0,88	0,84
Viscosidad a 40°C (cSt)	25 - 35	3,5 - 4,5	3,0 - 4,5
Índice de cetano	30 - 40	49 - 55	48 - 51
Poder calorífico inferior (MJ/l)	32 - 35	32 - 34	36

PROCESOS TERMOQUÍMICOS

Calentamiento con **exceso** de aire: **COMBUSTIÓN**

Calentamiento con **defecto** de aire: **GASIFICACIÓN**

Calentamiento en **ausencia** de aire: **PIRÓLISIS**

COMBUSTIÓN

Definición:

Oxidación completa (exceso de O_2) para producir:

- ✗ Dióxido de carbono
- ✗ Vapor de agua
- ✗ Cenizas
- ✗ **CALOR** (componente útil)

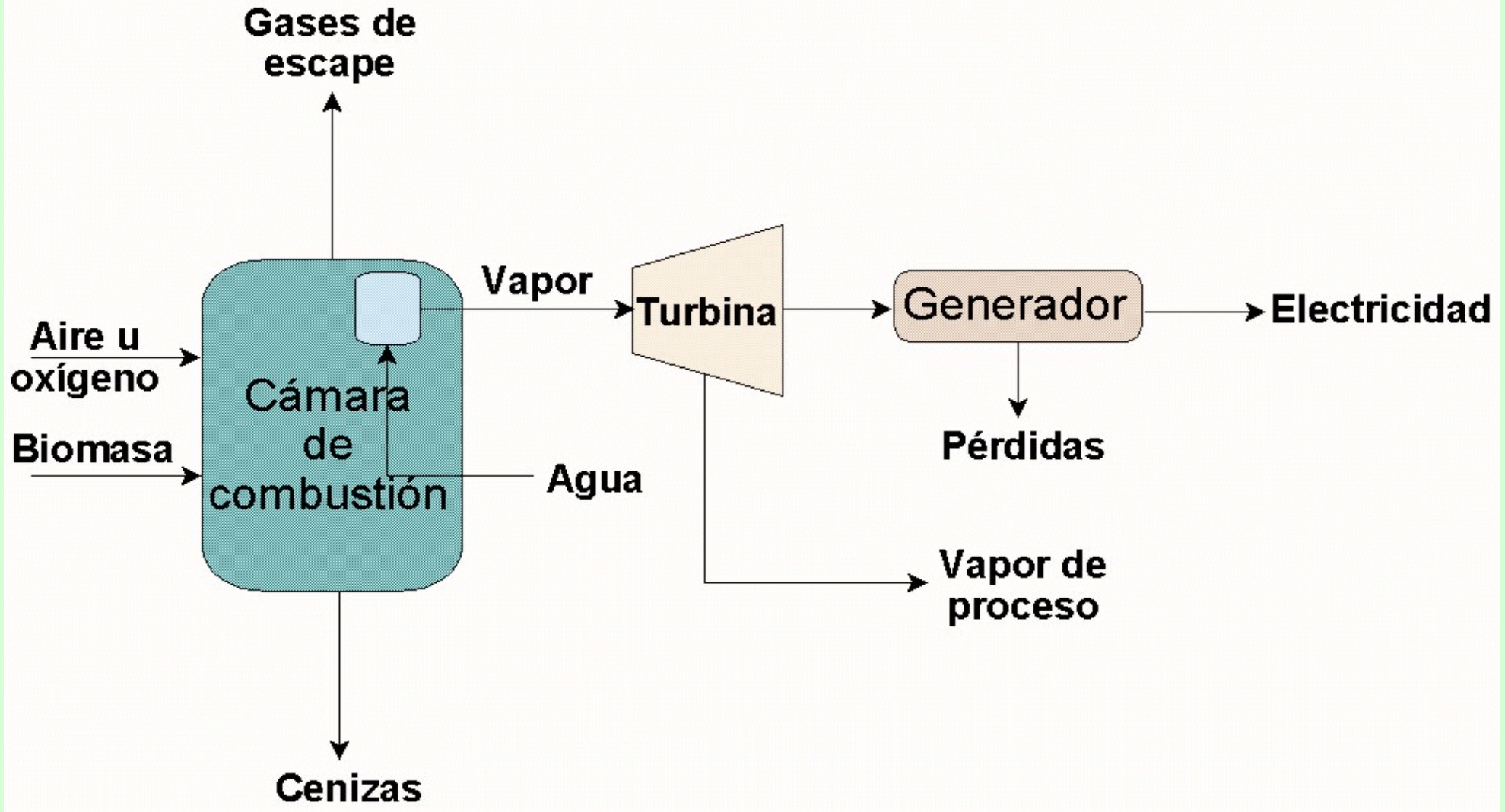
Variables del proceso:

- ✧ Proporción de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico
- ✧ Temperatura: 600 - 1.300 °C
- ✧ Características del combustible (materia prima):
 - ✓ Físicas: densidad, tamaño y humedad (la menor posible)
 - ✓ Químicas: bajo contenido en azufre
 - ✓ Térmicas: dependen de las físicas y las químicas

Componentes del sistema:

- ✧ Horno
- ✧ Equipo de recuperación de calor (caldera)
- ✧ Sistema de uso de la energía (conducción de vapor, turbogenerador)

Diagrama de operación:



Rendimientos (para humedad inferior al 20%):

X Térmico: 85%

X Total: 30%

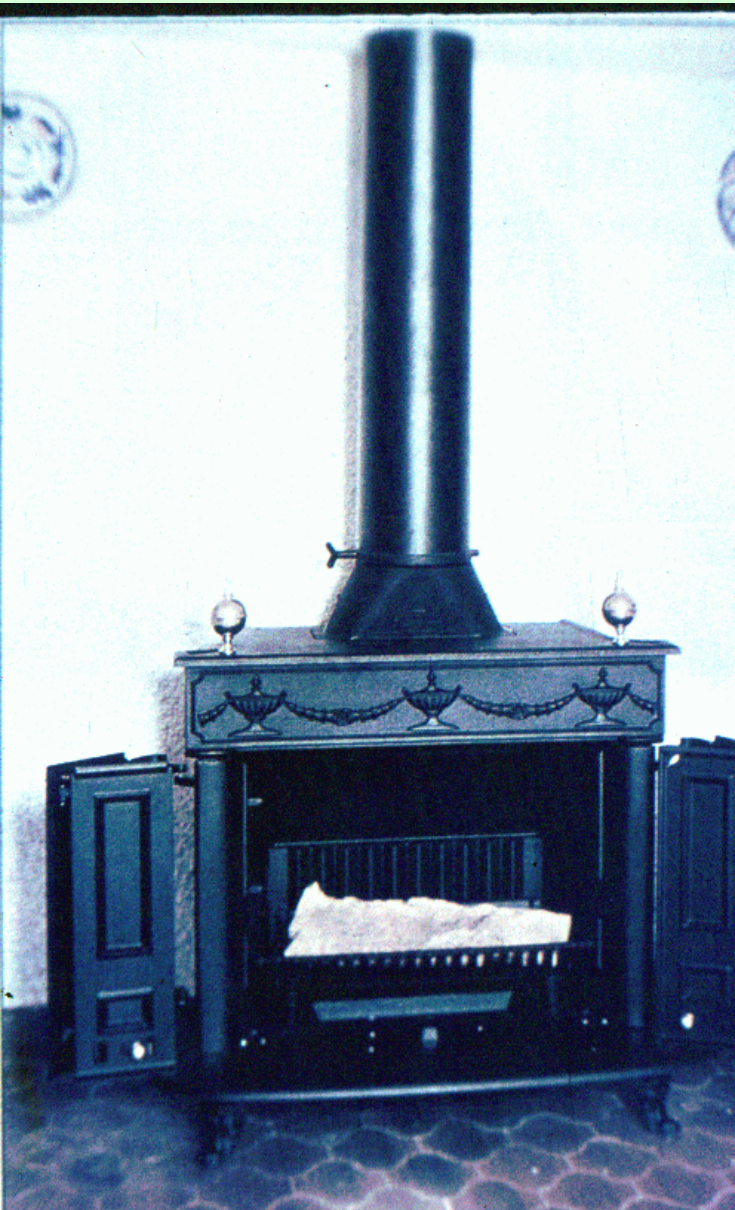
Aplicaciones:

X Industrias agrarias y forestales (azucareras, papeleras, madereras)

X R.S.U.

X Calefacción doméstica (modernas estufas con 75% de rendimiento)

Tema 5: Procesos, (2): Termoquímicos



Estufa doméstica



Briquetas combustibles

GASIFICACIÓN

Definición:

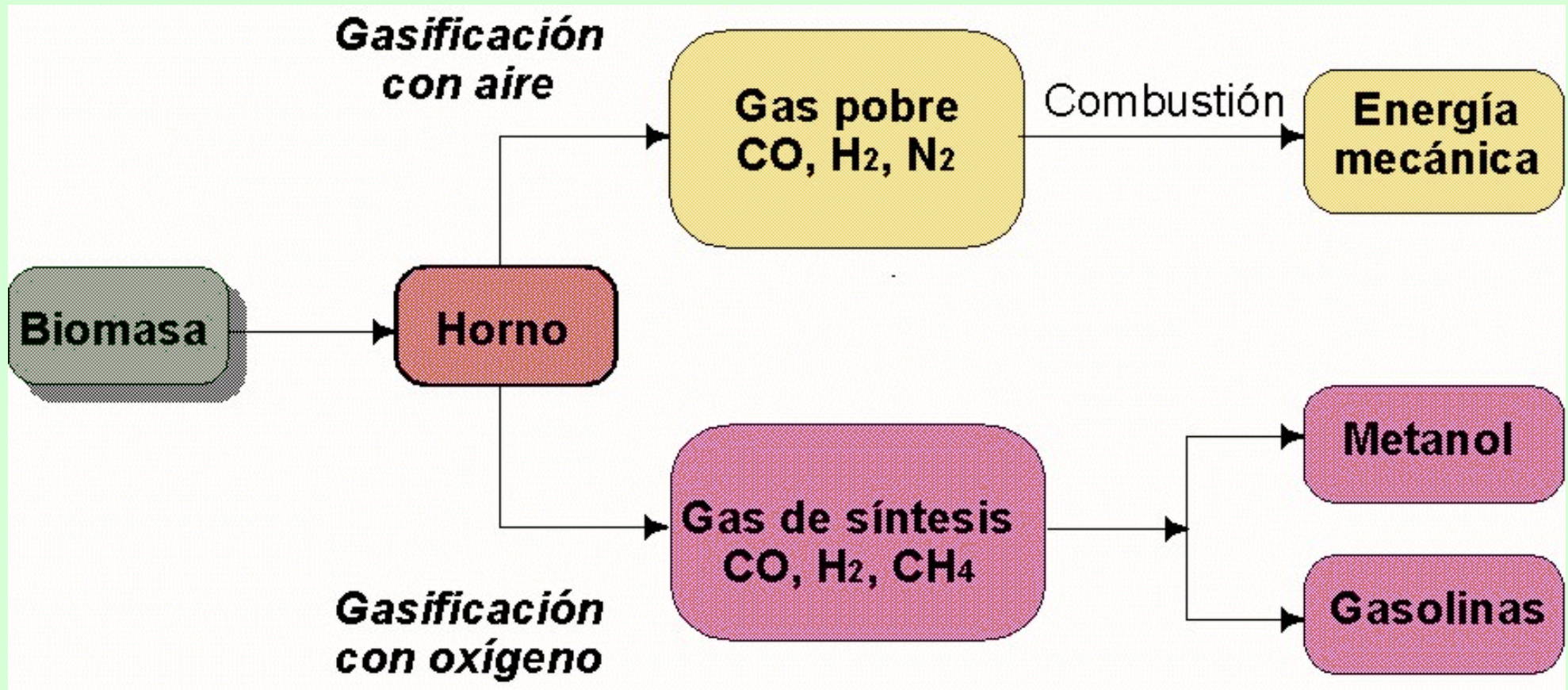
Oxidación incompleta (defecto de O_2) para producir:

- ✗ Monóxido de carbono
- ✗ Dióxido de carbono
- ✗ Hidrógeno
- ✗ Metano

Variables del proceso:

- ✧ Proporción de oxígeno: 10 - 50% del teórico
- ✧ Temperatura: 700 - 800 °C (máximo 1.500 °C)

Tipos de gasificación:



Productos obtenidos:

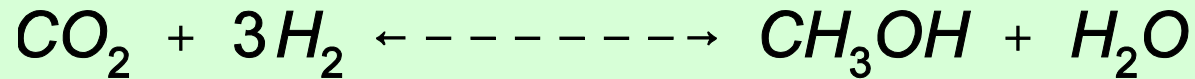
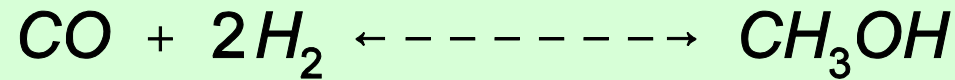
- ✗ Gasificación con aire: **Gas de gasógeno (gas pobre)**
 - ✓ Bajo poder calorífico (contiene nitrógeno)
 - ✓ Utilizable sólo para quemar
 - ✓ Aplicaciones históricas (gasógenos)

- ✗ Gasificación con oxígeno: **Gas de síntesis**
 - ✓ Alto poder calorífico (menor que gas natural o butano)
 - ✓ Utilizable como materia prima:
 - Obtención de metanol (combustible)
 - Obtención de gasolinas (combustible)

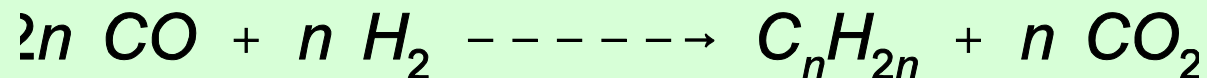
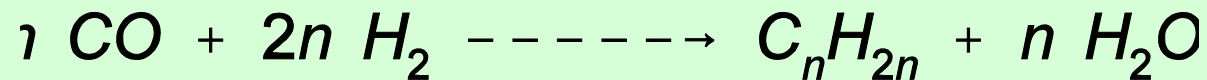
Tema 5: Procesos, (2): Termoquímicos

CONTENIDO	Gas pobre	Gas de síntesis
	Composición (% volumen seco)	
Monóxido de carbono	11 - 30	40 - 50
Dióxido de carbono	6 - 16	10 - 20
Hidrógeno	10 - 20	25 - 30
Metano de hidrocarburos	1 - 15	4 - 8
Nitrógeno	50	-
Poder calorífico (kcal/m ³)	1.000	2.500

Obtención de metanol:



Obtención de gasolinas (síntesis de *Fischer-Tropsch*):



PIRÓLISIS

Definición:

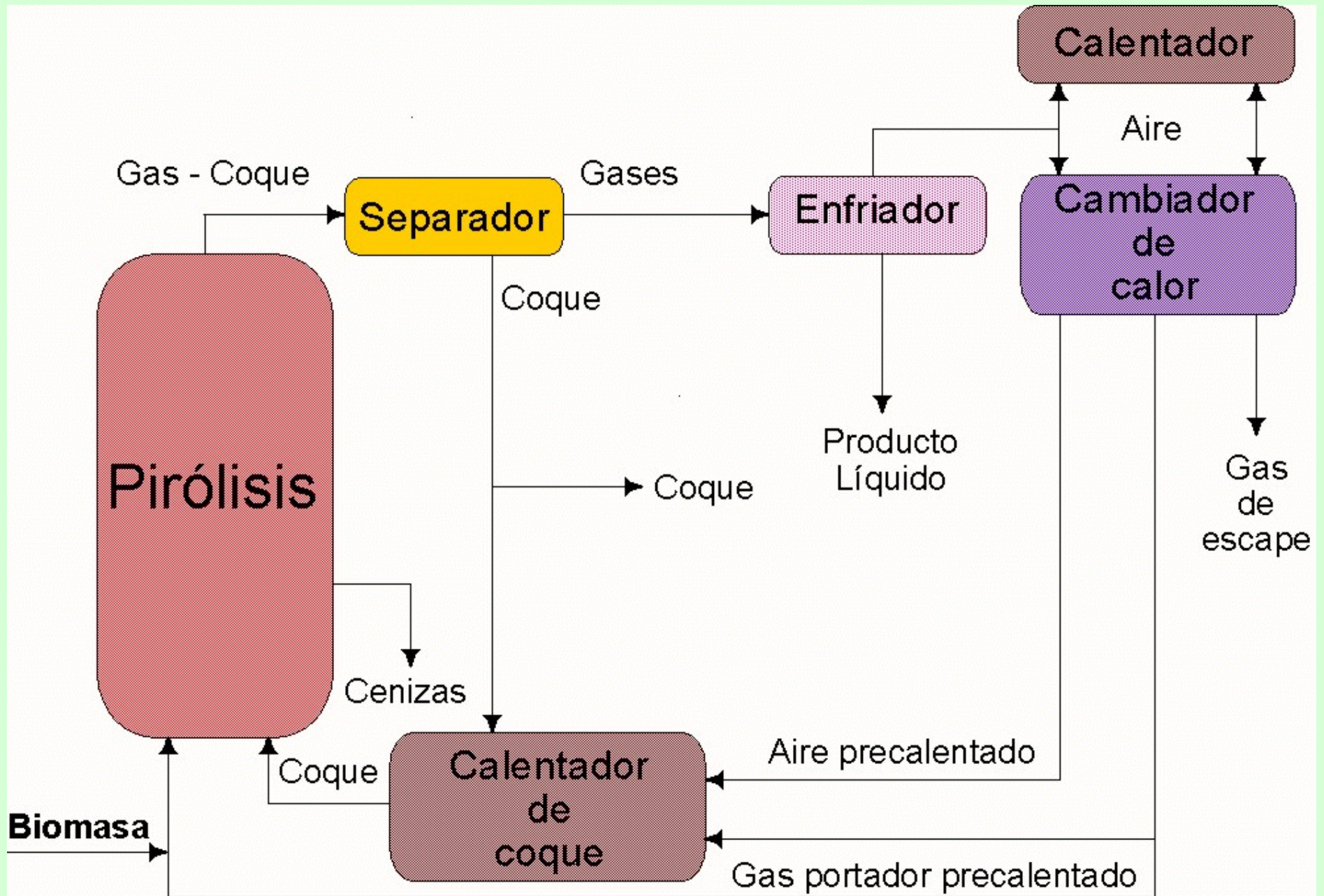
Descomposición térmica (ausencia de O_2) para dar:

- ✗ Gases: Hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos
- ✗ Líquidos: Hidrocarburos oxigenados complejos
- ✗ Sólidos: Carbones, alquitranes y cenizas

Variables del proceso:

- ✧ Materias primas: residuos agrícolas, forestales y urbanos (baja humedad)
- ✧ Temperatura: 275 - 450 °C

Diagrama de operación:



Variantes del proceso:

Licuefacción (mayor rendimiento en productos líquidos)

- ✗ Gas reductor: monóxido de carbono, metano o gas de síntesis
- ✗ Catalizadores
- ✗ Presión: 100 - 300 atm
- ✗ Rendimiento energético: 55%

Gasificación por plasma

- ✗ Arco de plasma generado por descarga eléctrica
- ✗ Temperaturas hasta 4.000 °C
- ✗ Producción directa de gas de síntesis y escoria inerte

PROCESOS BIOQUÍMICOS

Fermentación por **levaduras**: FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Fermentación por **bacterias**: DIGESTIÓN ANAEROBIA

FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Energía almacenada en los vegetales como **hidratos de carbono**:

- X Azúcares
- X Almidón
- X Celulosa

Tema 6: Procesos, (3): Bioquímicos

Biomasa fermentable a etanol	
Tipo	Ejemplos
Azucarada	Mostos y jugos de diversas frutas Remolacha y caña de azúcar Sorgo azucarado Algarroba Mandioca

Tema 6: Procesos, (3): Bioquímicos

Biomasa fermentable a etanol		
Tipo	Ejemplos	
Amilácea	Cereales	Maíz Cebada Malta Trigo Avena Centeno Arroz
	Tubérculos	Patata Boniato Pataca
		Raíz de girasol

Tema 6: Procesos, (3): Bioquímicos

Biomasa fermentable a etanol	
Tipo	Ejemplos
Celulósica	Madera Bagazo de caña de azúcar Residuos de paja de trigo Despojos de maíz Líquidos residuales del papel Pulpa de remolacha

Proceso de fermentación a **etanol**:

- ✗ Pretratamiento de la biomasa
- ✗ Hidrólisis (HC complejos)
- ✗ Fermentación alcohólica
- ✗ Separación y purificación del etanol

Pretratamiento de la biomasa:

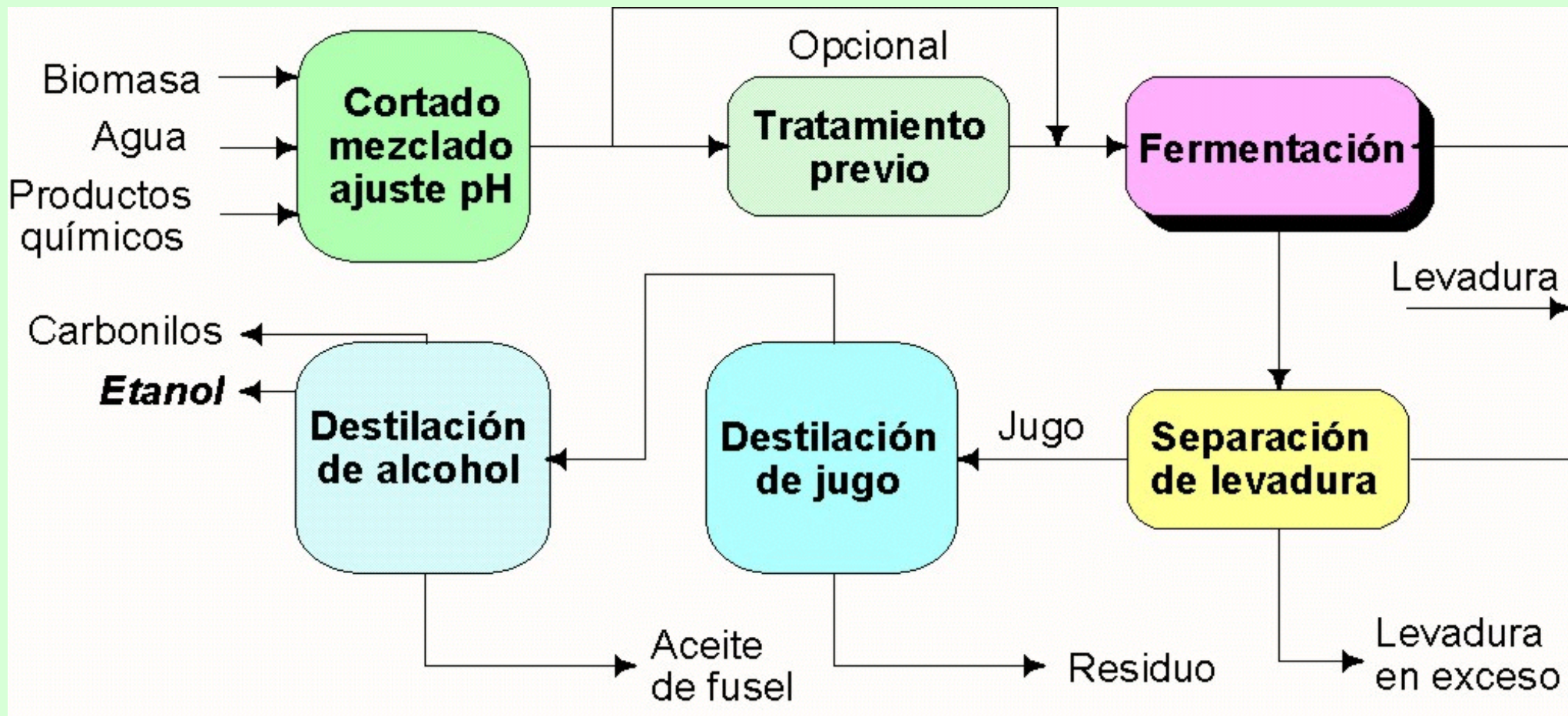
✗ Trituración, molienda o pulverización

Hidrólisis:

- ✗ Transformación de las moléculas complejas en azúcares sencillos:
 - ✧ Hidrólisis **enzimática**: enzimas
 - ✧ Hidrólisis **química**: reactivos químicos (ácidos)

Tema 6: Procesos, (3): Bioquímicos

Diagrama de operación:



Fermentación alcohólica:

✗ Conversión de los azúcares en etanol por la acción de microorganismos (levaduras) durante 2 a 3 días bajo condiciones controladas:

- ✧ Temperatura: 27 - 32 °C
- ✧ Acidez: pH entre 4 y 5
- ✧ Concentración de azúcares: inferior al 22%
- ✧ Concentración final de etanol: inferior al 14%
- ✧ Rendimiento teórico: 51%
- ✧ Rendimiento real: 45%

Separación y purificación del etanol:

✗ Destilación de la masa fermentada para obtener:

- ✧ Etanol comercial (96%)
- ✧ Etanol absoluto (99,5%): destilación con un disolvente (benceno)

El etanol como combustible

Propiedad	Gasolina	Etanol
Fórmula	$C_5 - C_{12}$	C_2H_5O
Densidad (kg/l)	0,70 - 0,78	0,79
Solubilidad en agua a 20 °C (ppm)	240	infinita
Punto de ebullición (°C)	88	78,3
Relación estequiométrica aire/combustible	25 - 225	9
Índice de octano	95	106
Máxima compresión admisible	15:1	9:1
Poder calorífico inferior (MJ/kg)	44	26,7
Poder calorífico superior (MJ/kg)	47,1	29,8
Calor latente de vaporización (kJ/kg)	348,8	920,9

Comparación del etanol con la gasolina:

- ✓ Poder calorífico menor: menor potencia y mayor consumo
- ✓ Calidad antidetonante mayor (mayor índice de octano): mayor aceleración y velocidad punta
- ✓ Calor de vaporización mayor: dificultades en el arranque pero mayor rendimiento
- ✓ Punto de ebullición constante: problemas de arranque

Rediseño de motores para utilizar etanol:

- ✧ Aumento de la relación de compresión
- ✧ Recalibrado del carburador
- ✧ Calentamiento del aire de entrada al carburador
- ✧ Modificación del sistema de encendido
- ✧ Uso de bujías especiales
- ✧ Resultados:
 - 15% más potencia
 - 30% más eficacia térmica
 - 20% más consumo

Problemas de implantación:

- ✗ Gasolina y etanol **comercial** **NO** son miscibles
- ✗ Gasolina y etanol **absoluto** **SI** son miscibles
- ✗ Utilización de gasolina+etanol absoluto (10%) (“*gasohol*”)
- ✗ Utilización de etanol comercial en nuevos motores

DIGESTIÓN ANAEROBIA

Definición:

Fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que produce:

- ✗ Biogás (metano, dióxido de carbono)
- ✗ Efluente (minerales, materia orgánica no degradable)

Materia primas:

- ✗ Residuos de alto contenido en humedad:
 - ✓ Agrícolas
 - ✓ Ganaderos
 - ✓ Lodos de depuradora (aguas residuales urbanas)

Ventajas:

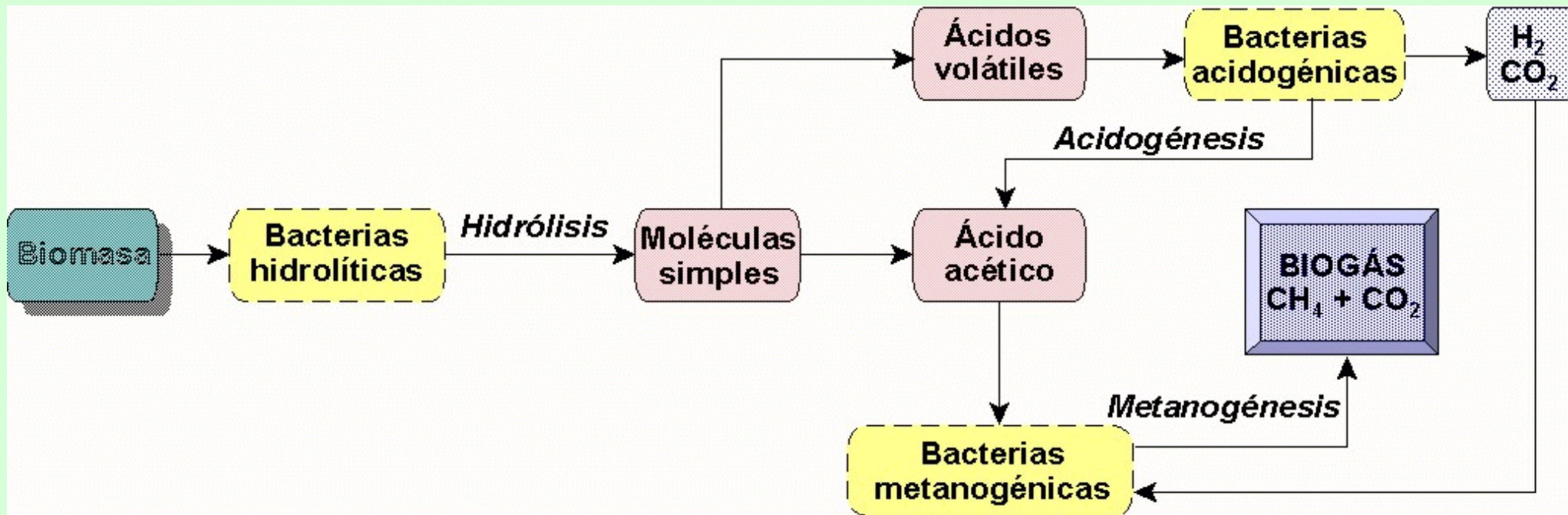
- ✗ Residuos localizados
- ✗ Residuos de gran contenido en agua
- ✗ Aporte de nutrientes para el crecimiento bacteriano
- ✗ El efluente del proceso es un buen abono orgánico

Proceso complejo esquematizable en tres etapas:

- ✗ Hidrólisis: degradación por bacterias a moléculas más simples
- ✗ Acidogénesis: producción de ácidos simples (que sirven de alimento a otras bacterias) por bacterias acidogénicas
- ✗ Metanogénesis: degradación de los ácidos simples a CH_4 y CO_2 por bacterias metanogénicas

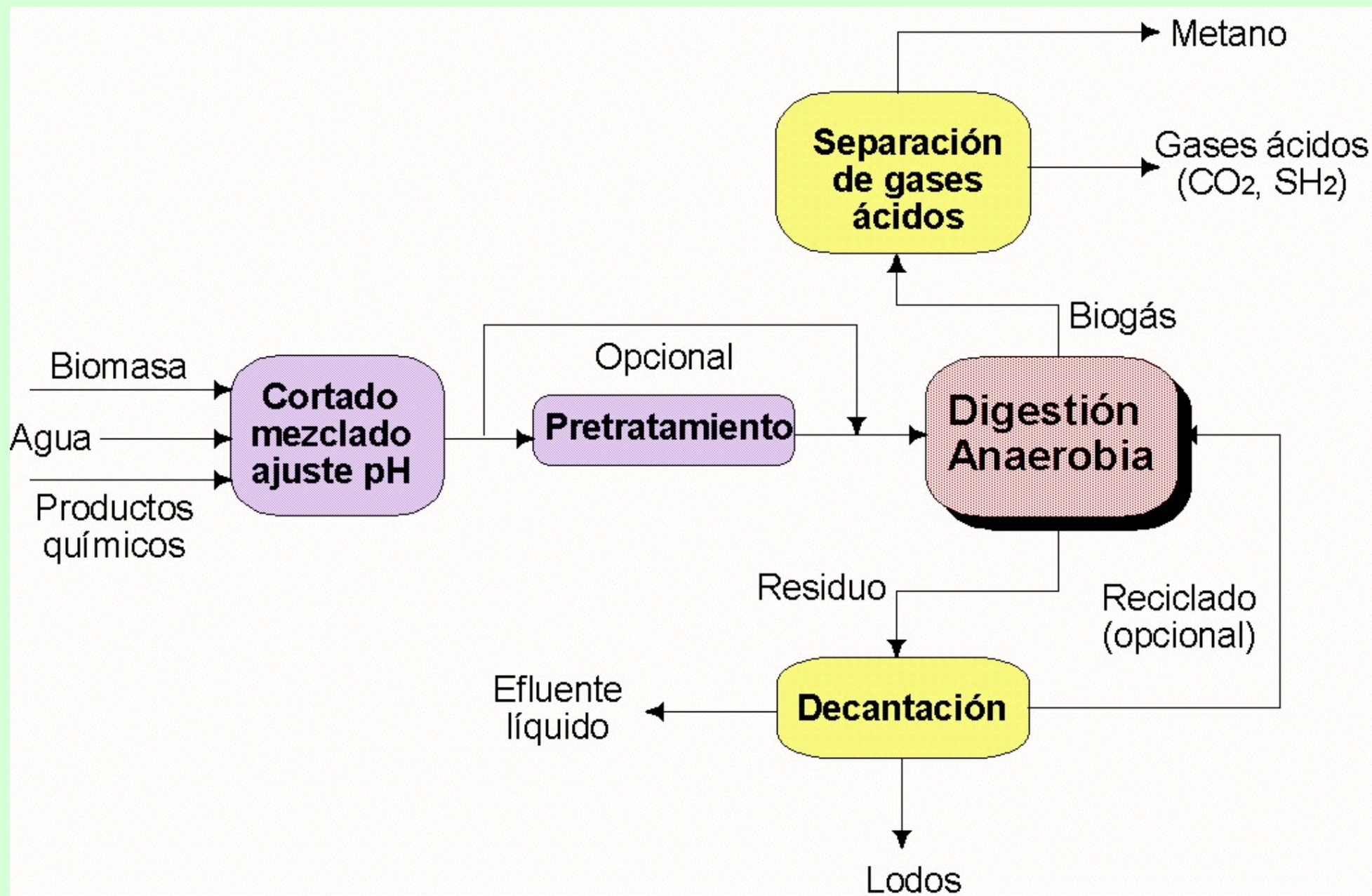
Tema 6: Procesos, (3): Bioquímicos

Esquema del proceso:



Tema 6: Procesos, (3): Bioquímicos

Diagrama de operación:



Variables que influyen en el proceso:

- ✓ Temperatura: óptimo de funcionamiento alrededor de 35 °C
- ✓ Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás
el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6 y además:
 - ✧ pH < 6,2: inhibición de bacterias metanogénicas
 - ✧ pH < 4,5: inhibición de todas las bacterias
 - ✧ pH > 8,5: inhibición de todas las bacterias
- ✓ Contenido en sólidos: inferior al 10% (movilidad de bacterias)
- ✓ Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias
 - ✧ carbono, nitrógeno, fósforo, azufre
 - ✧ algunas sales minerales
- ✓ Tóxicos: inhiben el crecimiento de las bacterias
 - ✧ oxígeno
 - ✧ amoníaco
 - ✧ sales minerales
 - ✧ detergentes y pesticidas

Digestores, factores de diseño:

X Materia a digerir:

- ✓ Cantidad
- ✓ Contenido en sólidos
- ✓ Digestibilidad

X Sistema de digestión:

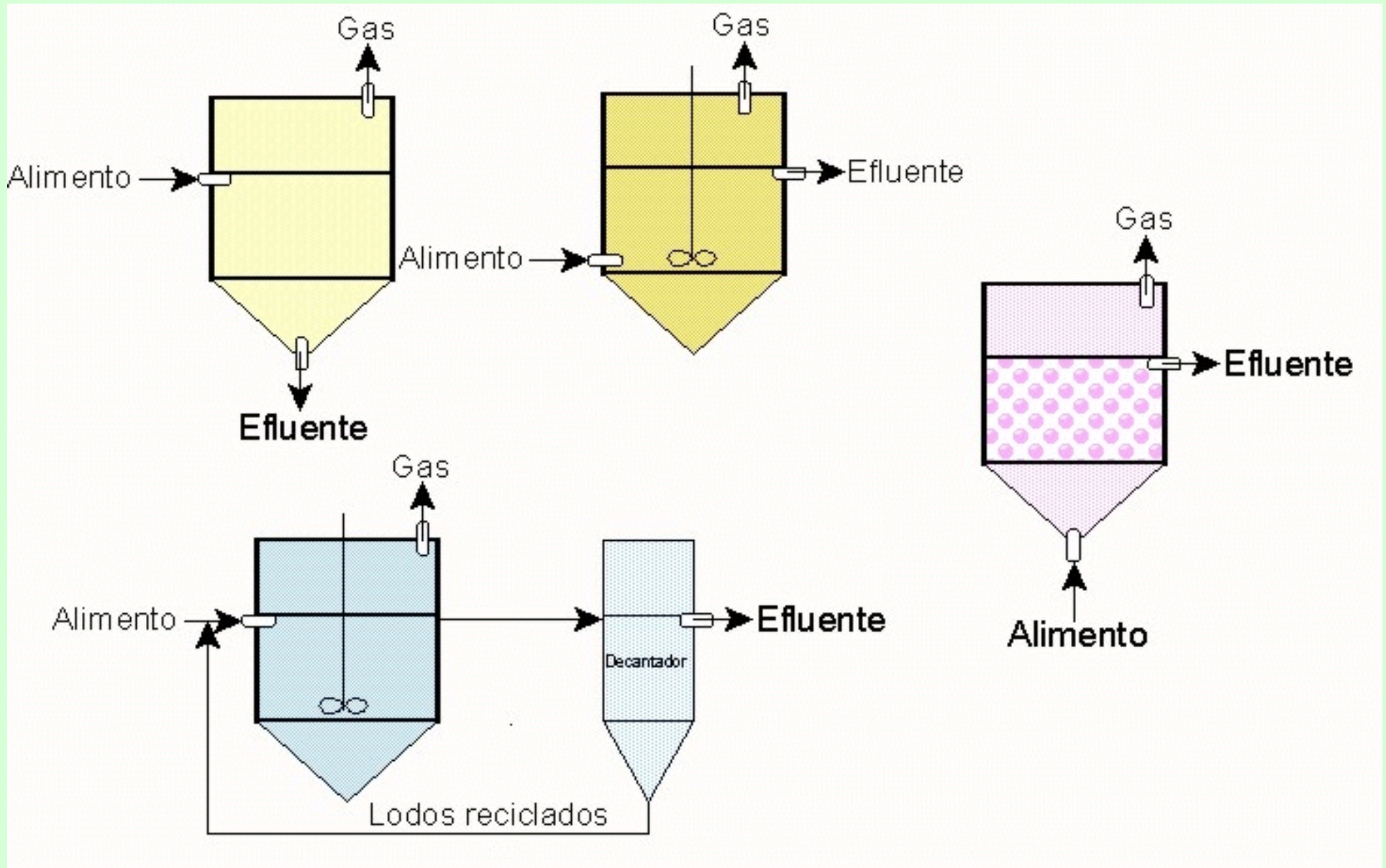
- ✓ Frecuencia de la alimentación
- ✓ Sistemas auxiliares
- ✓ Medida y control

Digestores, características:

- ✓ Tamaño: determinado por tres variables interdependientes:
 - ✧ Concentración de sólidos degradables
 - ✧ Velocidad de alimentación de sólidos
 - ✧ Tiempo de permanencia de los sólidos en el digestor

- ✓ Tipo: existen diversos tipos de digestores:
 - ✧ Discontinuo
 - ✧ Mezcla completa
 - ✧ De contacto
 - ✧ Filtro anaerobio

Tipos de digestores:



Biogás:

Composición aproximada del biogás	
Componente	% en volumen
Metano (CH ₄)	50 -70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 -50
Nitrógeno (N ₂)	< 3,0
Oxígeno (O ₂)	< 0,1
Hidrógeno (H ₂)	1 - 10
Sulfuro de hidrógeno (SH ₂)	trazas

X Rendimiento variable (biogás con 70% de metano):

- ✓ Cantidad: 360 - 430 l gas/kg SV
- ✓ Poder calorífico: 1 m³ biogás = 0,25 m³ butano
 - ✧ Composición de la biomasa
 - ✧ Temperatura
 - ✧ Velocidad de alimentación
 - ✧ Tiempo de retención
 - ✧ Tipo de digestor

X Aplicaciones:

- ✧ Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- ✧ Combustión en calderas de vapor para calefacción
- ✧ Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

Algunas equivalencias energéticas

1 m³ Biogás
70% Metano
(25 MJ)

0,66 m³ gas natural

0,22 m³ butano

0,81 l gasolina

0,70 l gasóleo

1,20 l etanol

Efluente:

X Lodo negrozco

X Sin olores

X Sedimenta fácilmente

X Neutro

X Contenido:

✓ Productos inorgánicos insolubles y solubles (sales)

✓ Productos orgánicos no biodegradables (proteínas, grasas, celulosa, lignina)

✓ Bacterias

X Aplicaciones:

✧ Abono agrícola

✧ Alimentación animal (en estudio)