

# Combustión de Biomasa

Contextualización de la biomasa como fuente de energía

---

Prof. Dr. Waldir Bizzo<sup>1</sup>

Prof. Dr. Ing. Gabriel Pena<sup>2</sup>

1. [bizzo@fem.unicamp.br](mailto:bizzo@fem.unicamp.br) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica
2. [gabpena@fing.edu.uy](mailto:gabpena@fing.edu.uy) - Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial - Facultad de Ingeniería - UdelaR

Setiembre / Octubre 2024



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Combustión de Biomasa

Contextualización de la biomasa como fuente de energía

---

Prof. Dr. Waldir Bizzo<sup>1</sup>

Prof. Dr. Ing. Gabriel Pena<sup>2</sup>

1. [bizzo@fem.unicamp.br](mailto:bizzo@fem.unicamp.br) - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica
2. [gabpena@fing.edu.uy](mailto:gabpena@fing.edu.uy) - Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial - Facultad de Ingeniería - UdelaR

Setiembre / Octubre 2024



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

## Esquema de la presentación



1. Aspectos generales del curso
2. Fuentes de energía - Matriz energética
3. Biomasa
4. Fuentes / Producción
5. Análisis de ciclo de vida
6. Uso de la biomasa con fines energéticos

# Cronograma

23/09 - 15:00 a 18:00 - Vision General

25/09 - 15:00 a 18:00 - Caracterización de biomásas como combustible y sus cenizas

27/09 - 15:00 a 18:00 - Cadena productiva y densificación de residuos

Laboratorio entre el 30/09 y 03/10. Día y horario a coordinar

04/10 - 15:00 a 18:00 - Entalpía de reacción, equilibrio químico, cinética química y mecanismos de reacción

07/10 - 15:00 a 18:00 - Modelo de combustión de biomasa sólida

08/10 - 15:00 a 18:00 - Generadores de vapor a biomasa

09/10 - 15:00 a 18:00 - Cálculo térmico de generadores de vapor

10/10 - 15:00 a 18:00 - Emisiones: Formación y sistemas de control

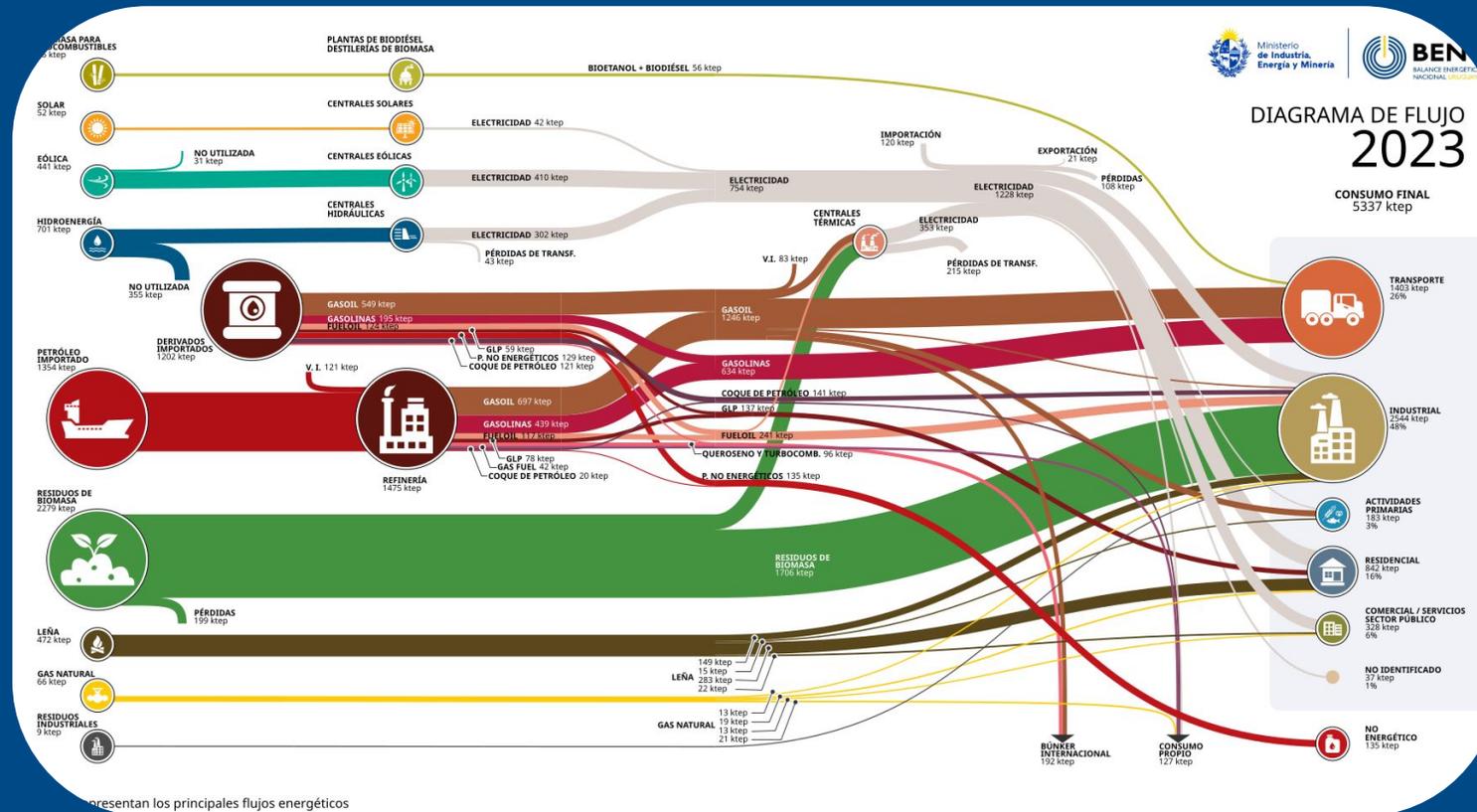
11/10 - 15:00 a 18:00 - Gasificación y Pirólisis

Visita a Industria. 10/10 por la mañana

# Evaluación

1. Informe de laboratorio
2. Resolución de ejercicios
3. Presentación sobre un artículo/tema

# Fuentes de energía - Matriz energética

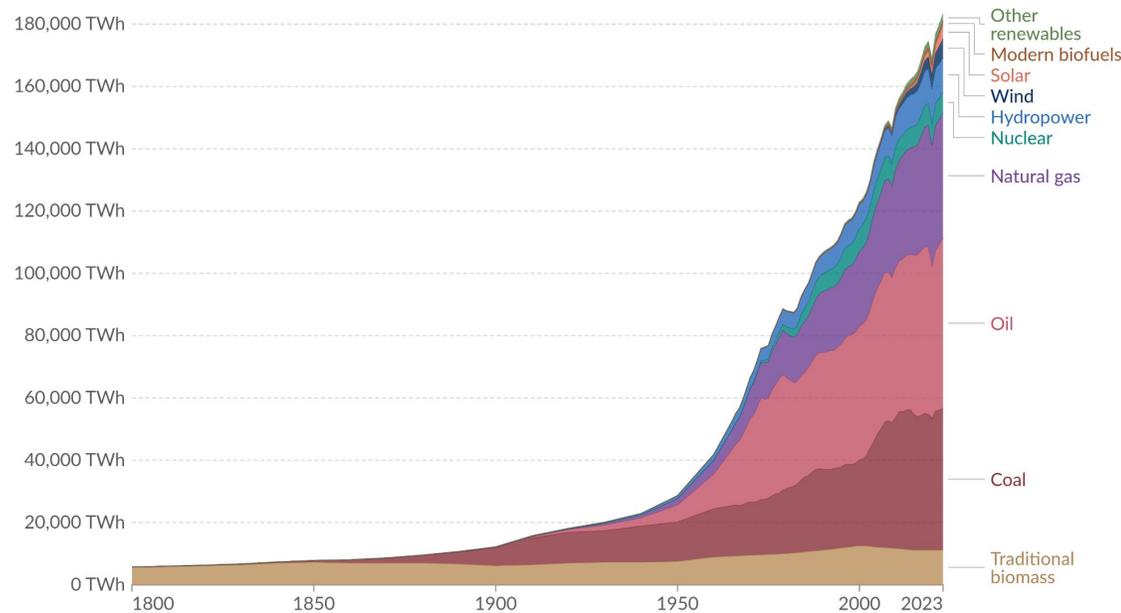


representan los principales flujos energéticos

# Fuentes de energía - Matriz energética

## Global primary energy consumption by source

Primary energy<sup>1</sup> is based on the substitution method<sup>2</sup> and measured in terawatt-hours<sup>3</sup>.



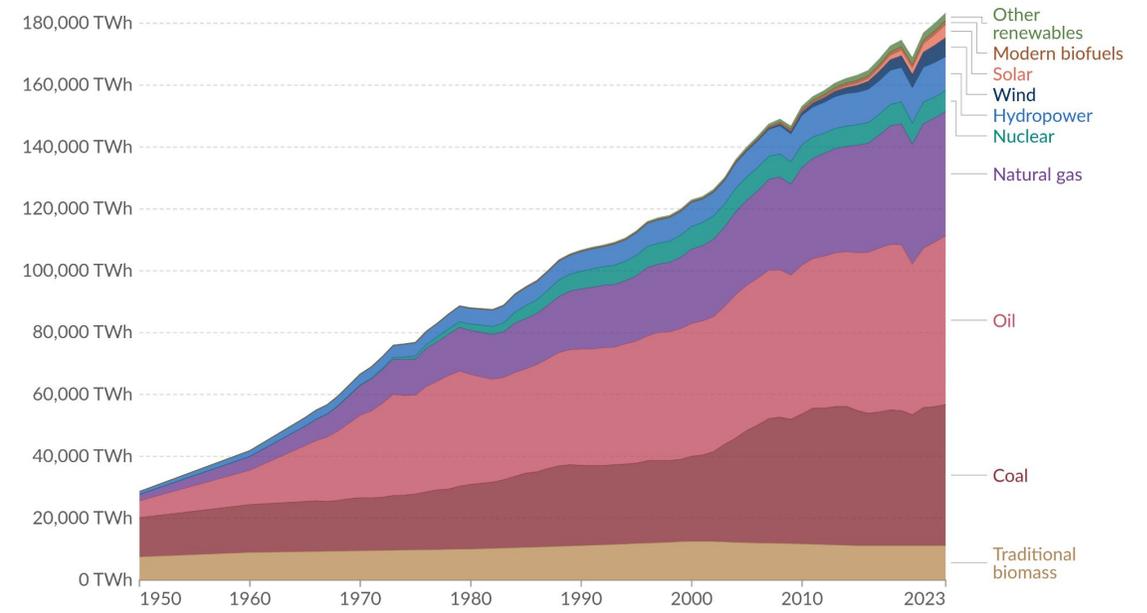
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

OurWorldInData.org/energy | CC BY

## Global primary energy consumption by source

Primary energy<sup>1</sup> is based on the substitution method<sup>2</sup> and measured in terawatt-hours<sup>3</sup>.



Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

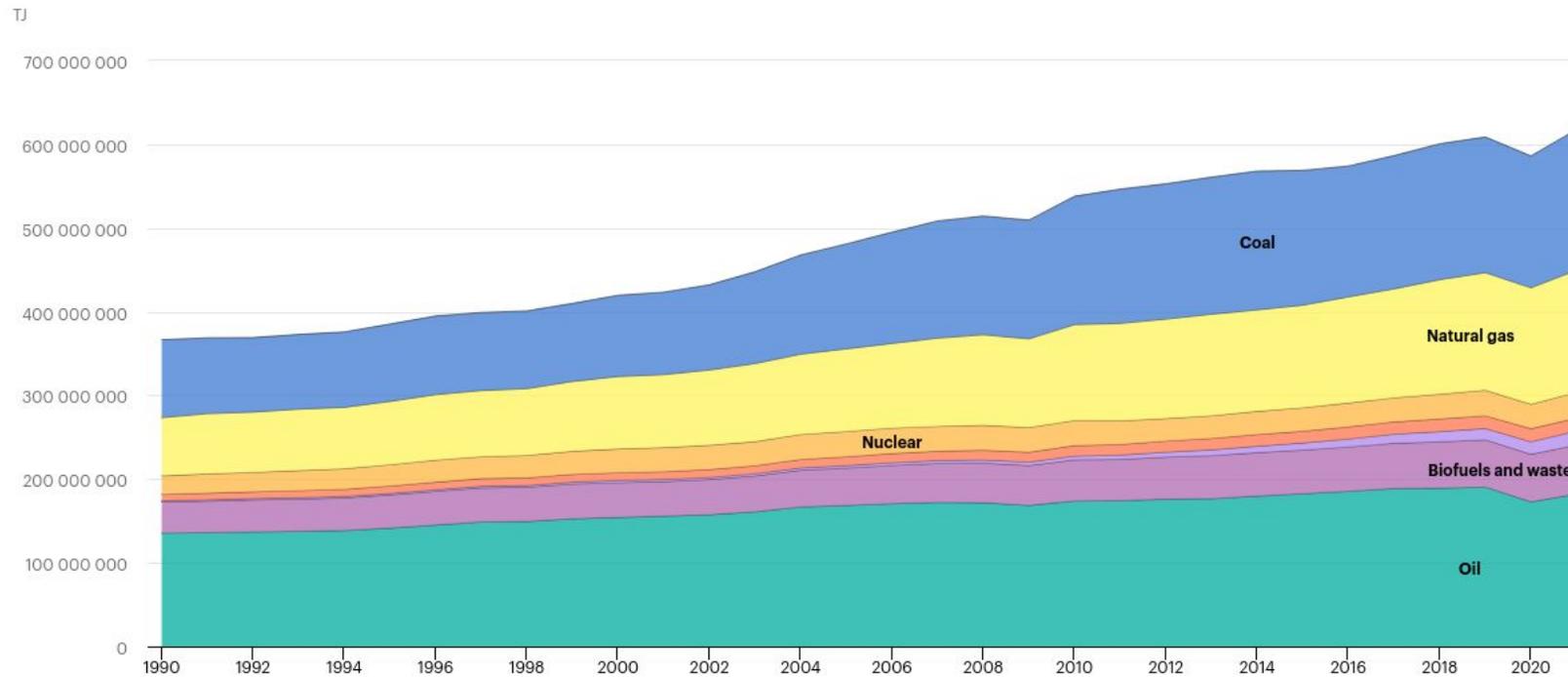
Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

OurWorldInData.org/energy | CC BY

Hannah Ritchie and Pablo Rosado (2020) - "Energy Mix" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/energy-mix> [Online Resource]

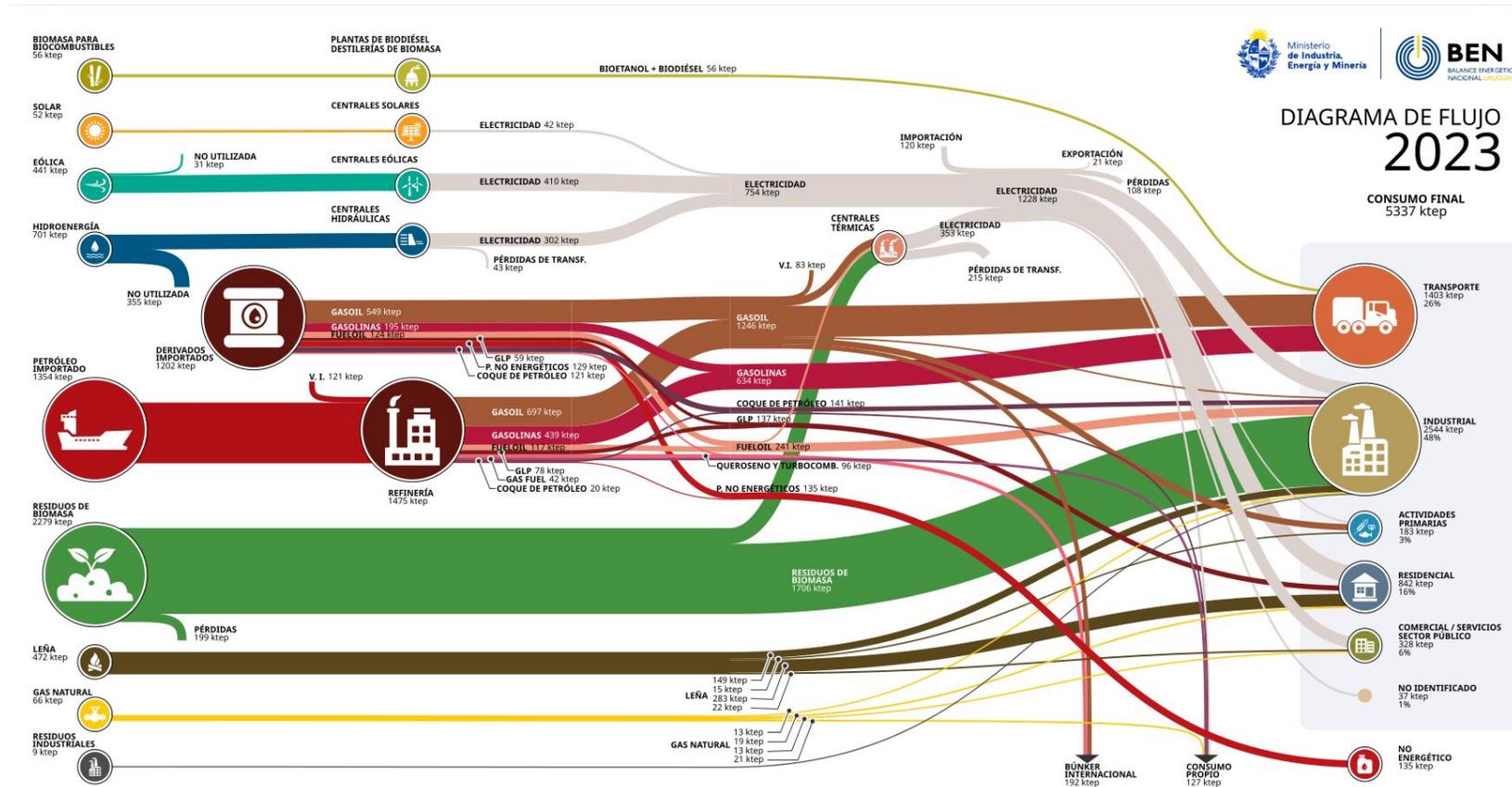
# Fuentes de energía - Matriz energética

## Consumo de energía total mundial



# Fuentes de energía - Matriz energética

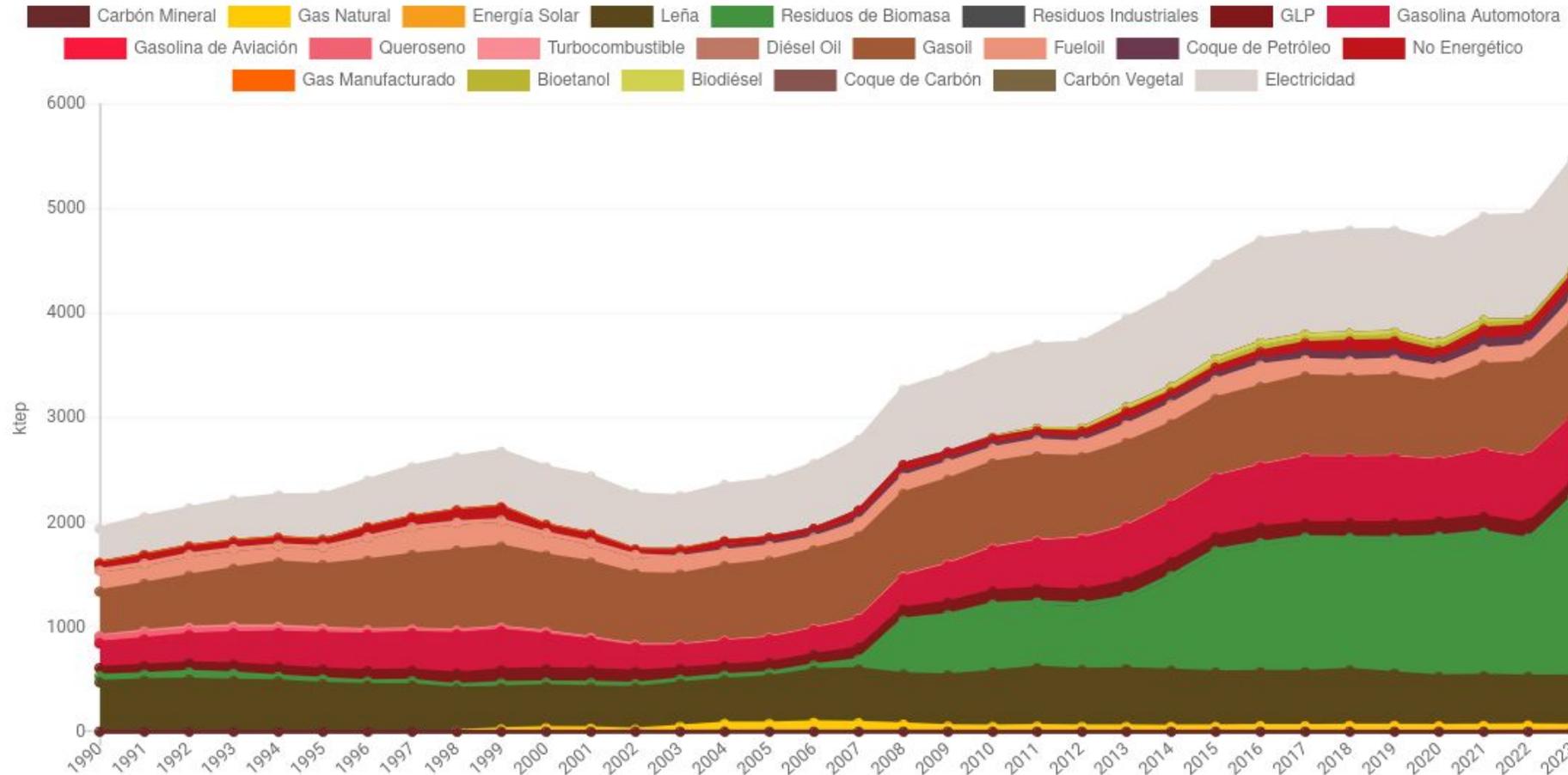
## Diagrama de flujo de la Matriz Energética del Uruguay



NOTA: se representan los principales flujos energéticos

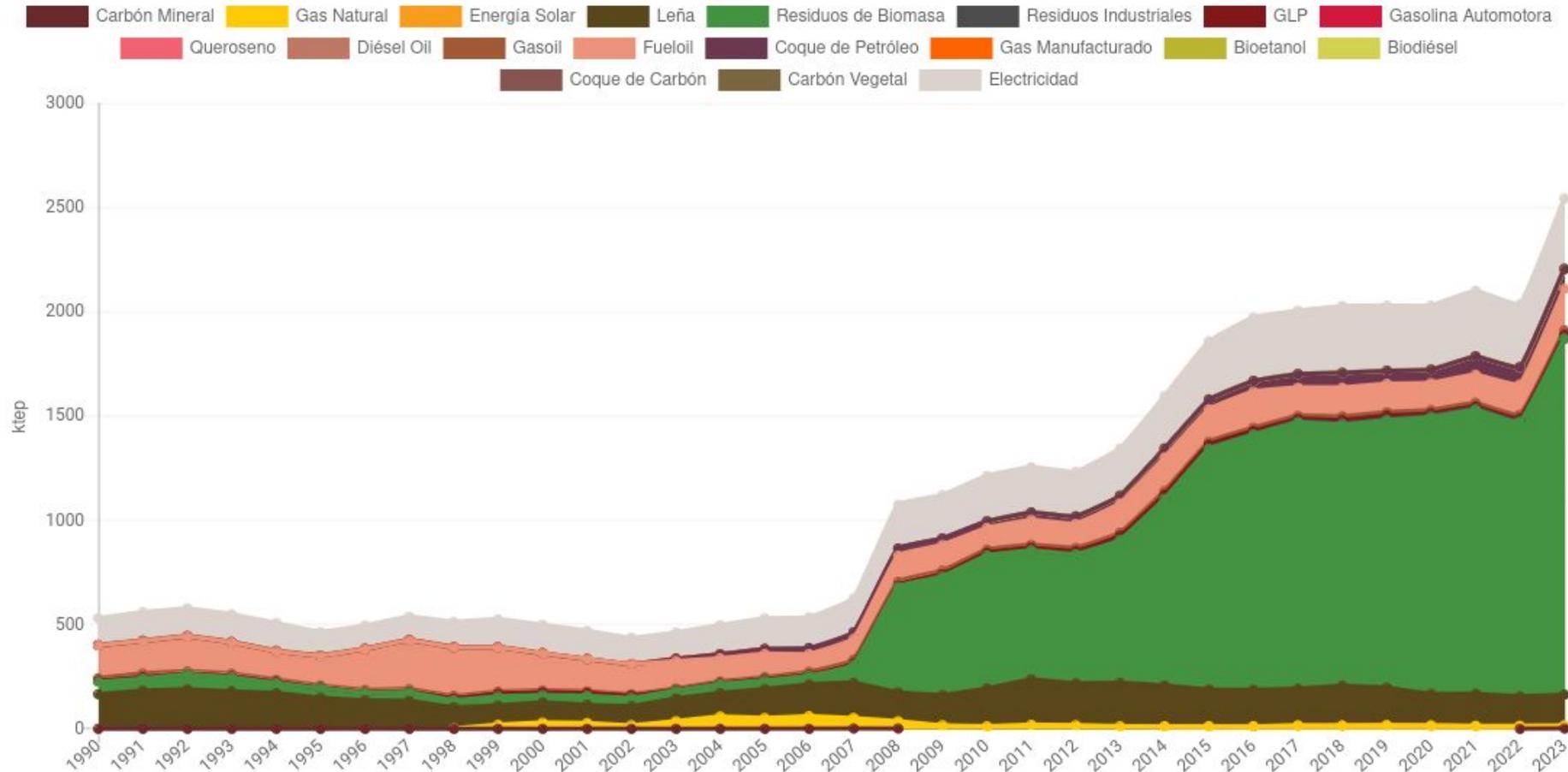
# Fuentes de energía - Matriz energética

## Consumo de energía por fuente - Uruguay



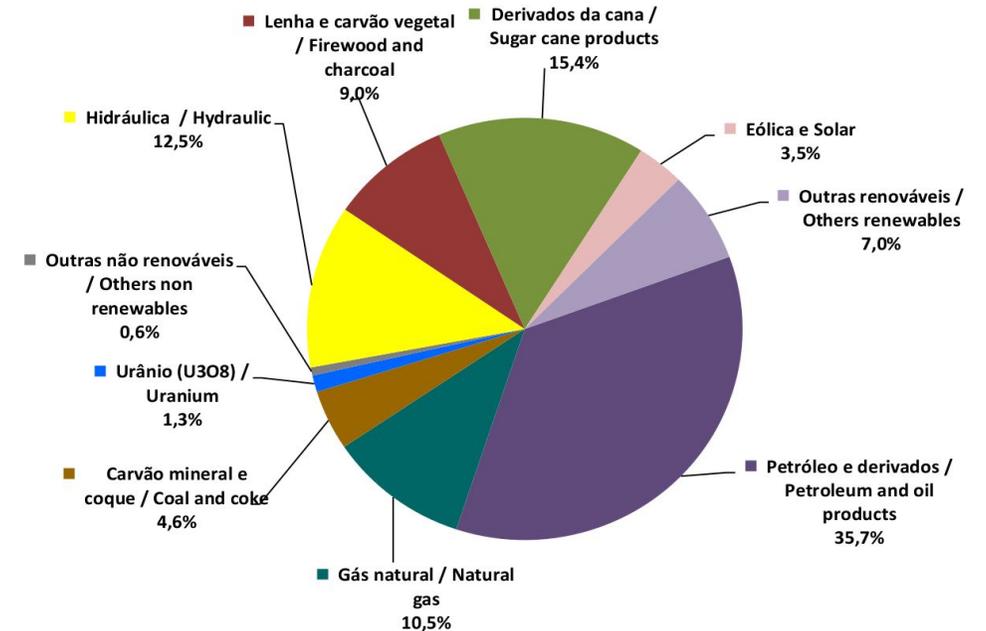
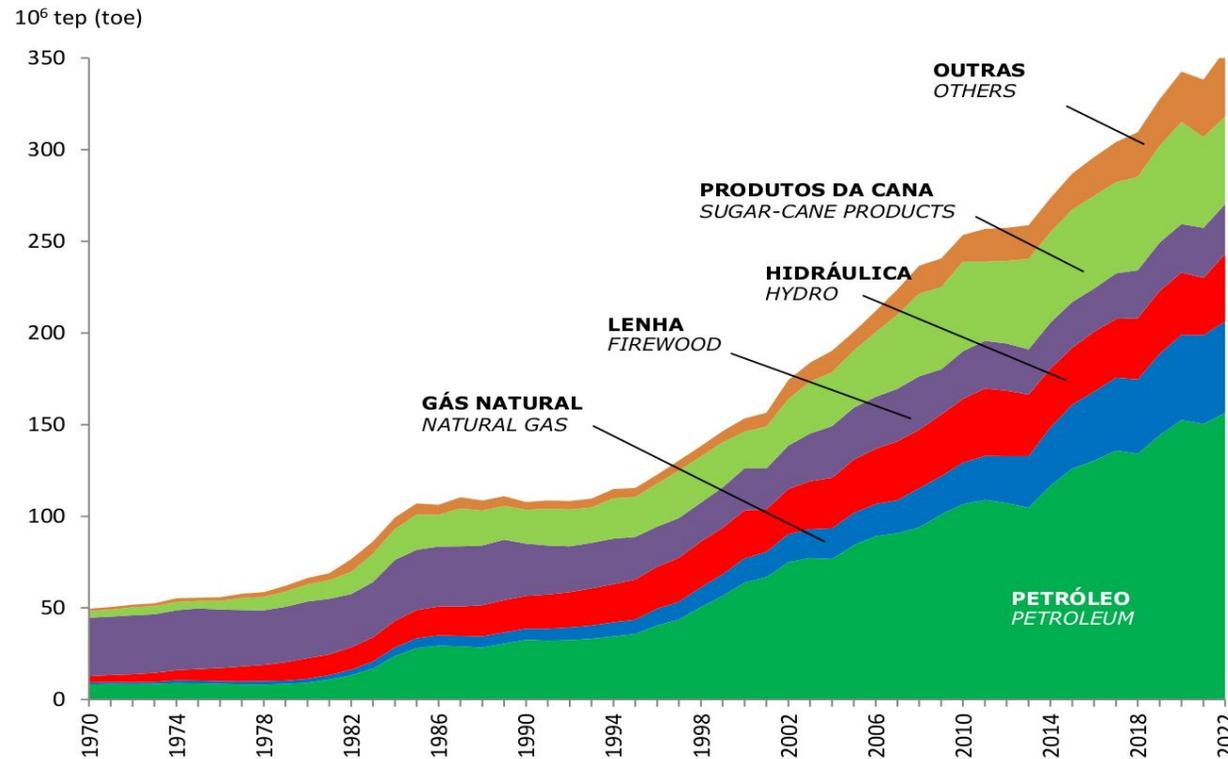
# Fuentes de energía - Matriz energética

## Consumo de energía por fuente - Sector Industrial - Uruguay



# Fuentes de energía - Matriz energética

## Producción y Oferta de Energía Primaria por fuente - Brasil



# Fuentes de energía - Matriz energética

## Uruguay: Consumo Sector Industrial (2016) - ktep

Usos	GN	LE	RB	SO	SG	GP	GA	KE	GO	FO	CP	CC	EE	OTROS	TOTAL
Iluminación													10,7		10,7
Generación de Vapor	1,4	123,2	26,8		0,6	0,7			0,1	37,1			0,3		190,3
Cogeneración de Vapor		4,5	847,8						0,0	11,8				1,6	865,6
Otros Equipos de Calor	2,9	11,7	20,3	0,1	0,0	0,1			1,0	9,0			0,4		45,6
Calor Directo	9,2	31,5	7,7		3,9	4,3		0,9	5,2	109,1	54,7	0,3	10,6		237,4
Fuerza Motriz							0,0		0,0				192,5	3,9	196,4
Frío de Proceso													26,6		26,6
Transporte Interno					0,4	0,3	0,1		10,1				2,8		13,7
Procesos Electroquímicos													3,9		3,9
Usos No Productivos	0,1	0,0	7,7	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0			11,6		20,0
<b>Total</b>	<b>13,5</b>	<b>171,0</b>	<b>910,4</b>	<b>0,2</b>	<b>5,3</b>	<b>5,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>16,5</b>	<b>166,9</b>	<b>54,7</b>	<b>0,3</b>	<b>259,4</b>	<b>5,5</b>	<b>1.610,3</b>

# Fuentes de energía - Matriz energética

## Uruguay: Consumo Sector Industrial (2016) - ktep Sin plantas de celulosa

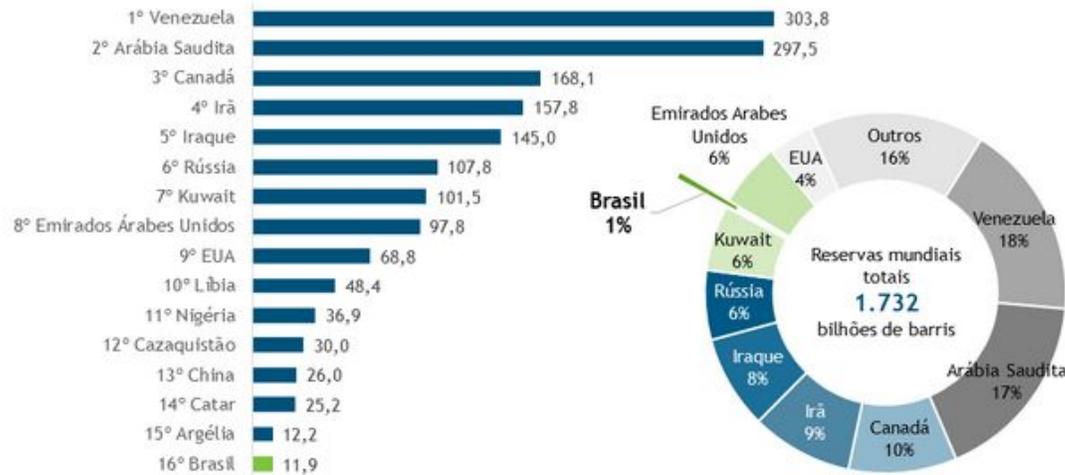
Usos	GN	LE	RB	SO	SG	GP	GA	KE	GO	FO	CP	CC	EE	OTROS	TOTAL
Iluminación													6,6		6,6
Generación de Vapor	1,4	123,2	21,3		0,6	0,7			0,1	35,2			0,3		182,8
Cogeneración de Vapor		0,5	87,9						0,0					1,6	90,0
Otros Equipos de Calor	2,9	11,7	20,3	0,1	0,0	0,1			1,0	9,0			0,4		45,6
Calor Directo	9,2	31,5	6,8		3,9	4,3		0,9	5,2	15,0	54,7	0,3	10,6		142,4
Fuerza Motriz							0,0		0,0				96,0	3,9	99,9
Frío de Proceso													26,6		26,6
Transporte Interno					0,4	0,3	0,1		8,7				2,3		11,8
Procesos Electroquímicos													3,9		3,9
Usos No Productivos	0,1	0,0	7,7	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0			8,1		16,4
<b>Total</b>	<b>13,5</b>	<b>167,0</b>	<b>144,0</b>	<b>0,2</b>	<b>5,3</b>	<b>5,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>15,1</b>	<b>59,2</b>	<b>54,7</b>	<b>0,3</b>	<b>154,7</b>	<b>5,5</b>	<b>626,1</b>

# Fuentes de energía - Matriz energética

## Petróleo

### Maiores reservas provadas de petróleo em 2020

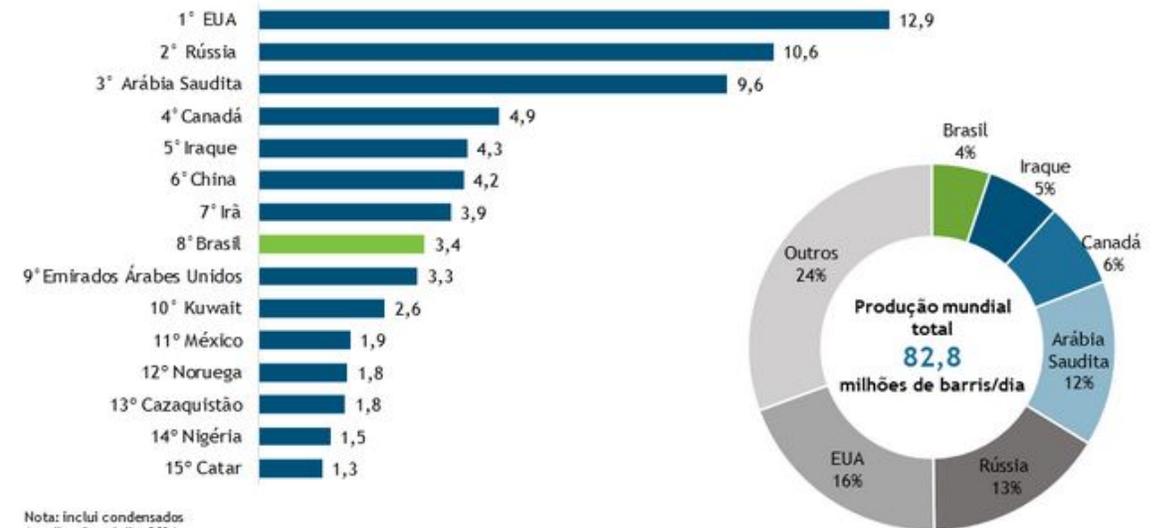
Bilhão de barris



Atualização - Julho 2021  
Fonte: Elaboração IBP com dados BP

### Maiores produtores de petróleo em 2023

Milhões de barris por dia



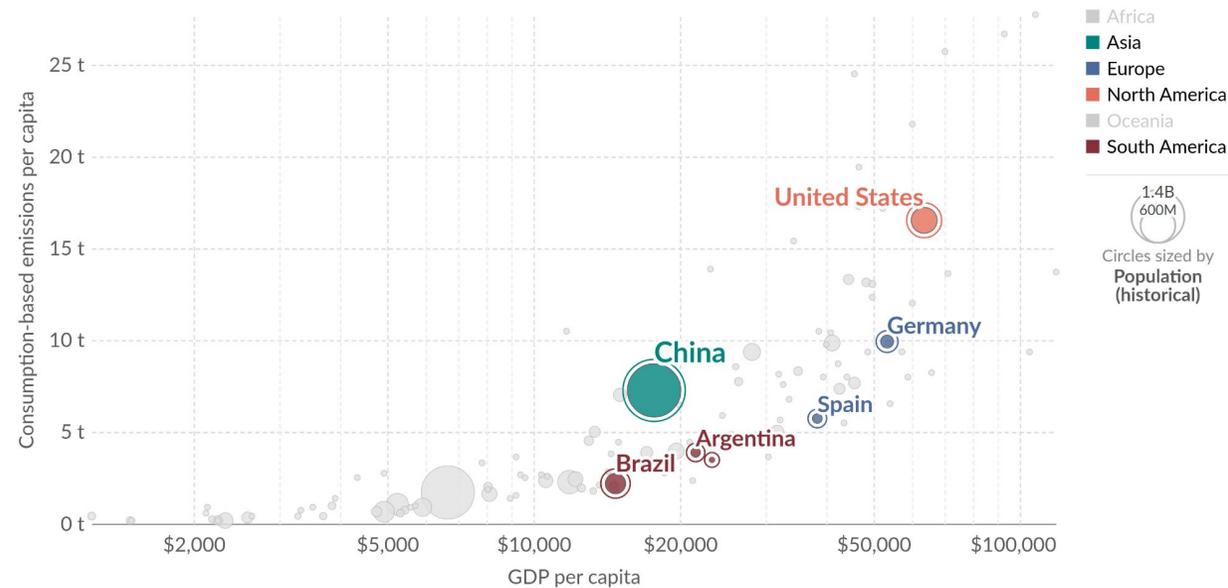
Nota: inclui condensados  
Atualização - Julho 2024  
Fonte: Elaboração IBP com dados Energy Institute

50 años de reserva

# Fuentes de energía - Matriz energética

## Consumption-based CO<sub>2</sub> emissions per capita vs. GDP per capita, 2021

Consumption-based emissions<sup>1</sup> are measured in tonnes per person. They are territorial emissions minus emissions embedded in exports, plus emissions embedded in imports. GDP per capita is adjusted for price differences between countries (PPP) and over time (inflation).



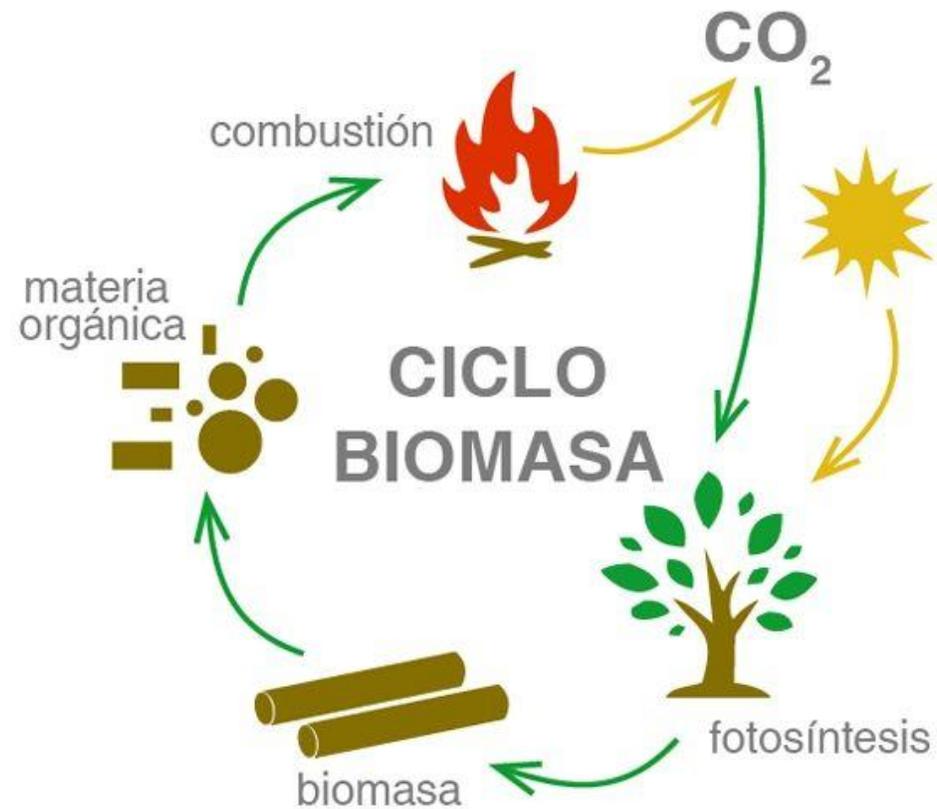
Data source: Global Carbon Budget (2023); Population based on various sources (2023); World Bank (2023)  
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Max Roser (2020) - "The world's energy problem" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/worlds-energy-problem' [Online Resource]

# Fuentes de energía - Matriz energética



# Fuentes de energía - Matriz energética



Fuente de energía “renovable” y de “emisiones neutras de  $\text{CO}_2$ ”

# Biomasa

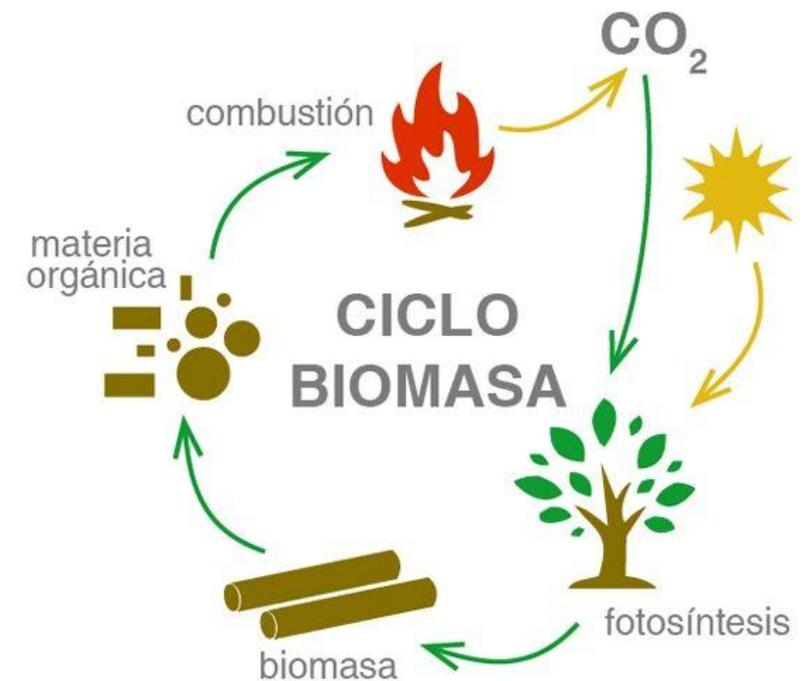


# Biomasa

## Definición:

El término biomasa refiere a cualquier material no fósil, **orgánico biodegradable** proveniente de **plantas, animales o microorganismos**. Esto incluye productos y subproductos de los mismos, así como los residuos agrícolas, forestales, industriales y urbanos. Los líquidos y gases generados en la descomposición de los materiales biodegradables orgánicos no fósiles también son considerados biomasa.

1. Componentes naturales **originados a partir del crecimiento de la vegetación** terrestre y acuática mediante la fotosíntesis o generados mediante la digestión de alimentos animales y humanos;
2. Productos derivados de lo anteriores mediante el procesamiento.

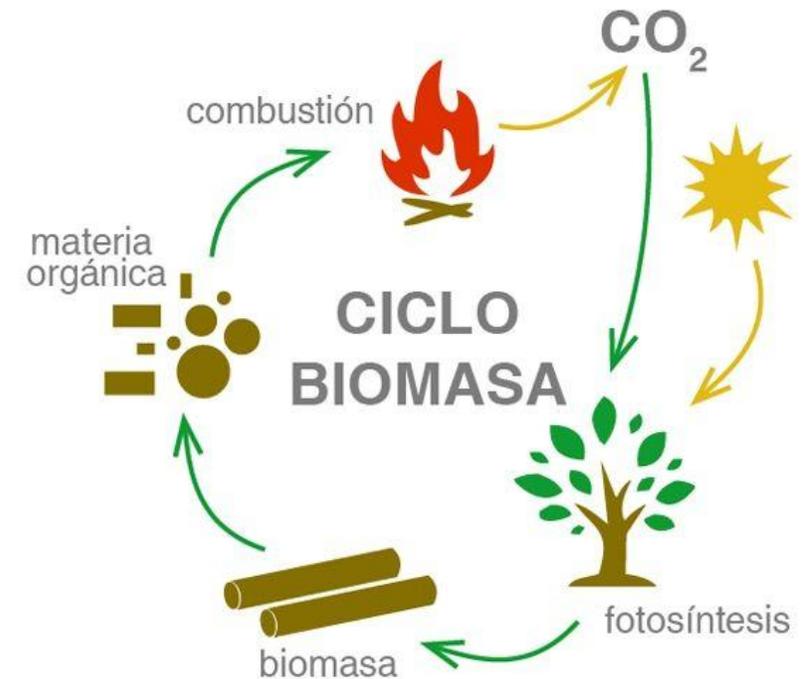


# Biomasa

## Características generales:

Comparado con otras fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, la biomasa no tiene problemas de almacenamiento, dado que la biomasa es energía almacenada en sí misma. Por lo tanto, la generación de energía con biomasa es gestionable y fiable, a diferencia de otras fuentes de energía renovable, como la eólica o solar, cuya generación depende de que las condiciones meteorológicas sean favorables.

A partir de la biomasa pueden ser generados otros tipos de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos o directamente energía térmica y/o eléctrica.

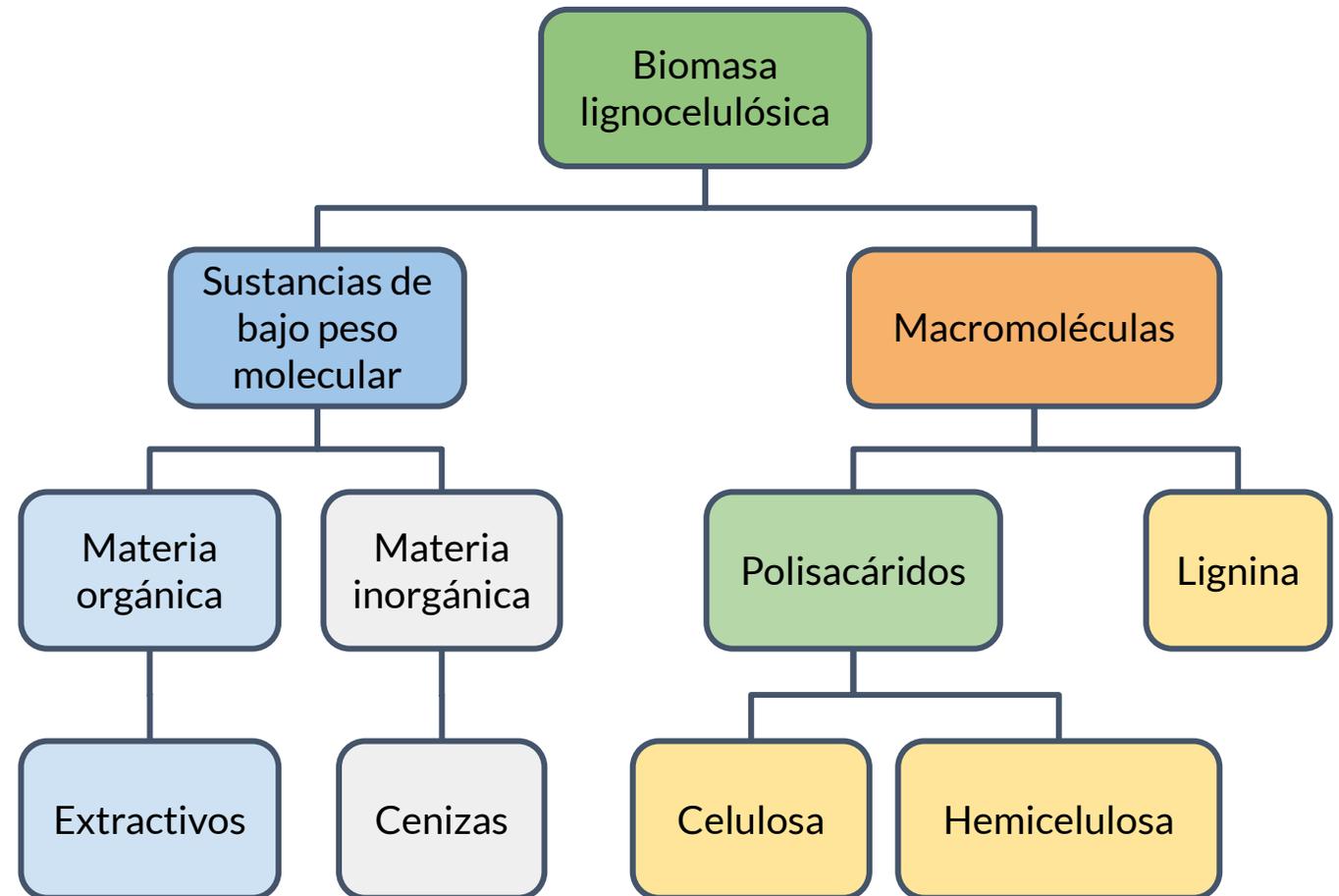


# Biomasa

## Composición:

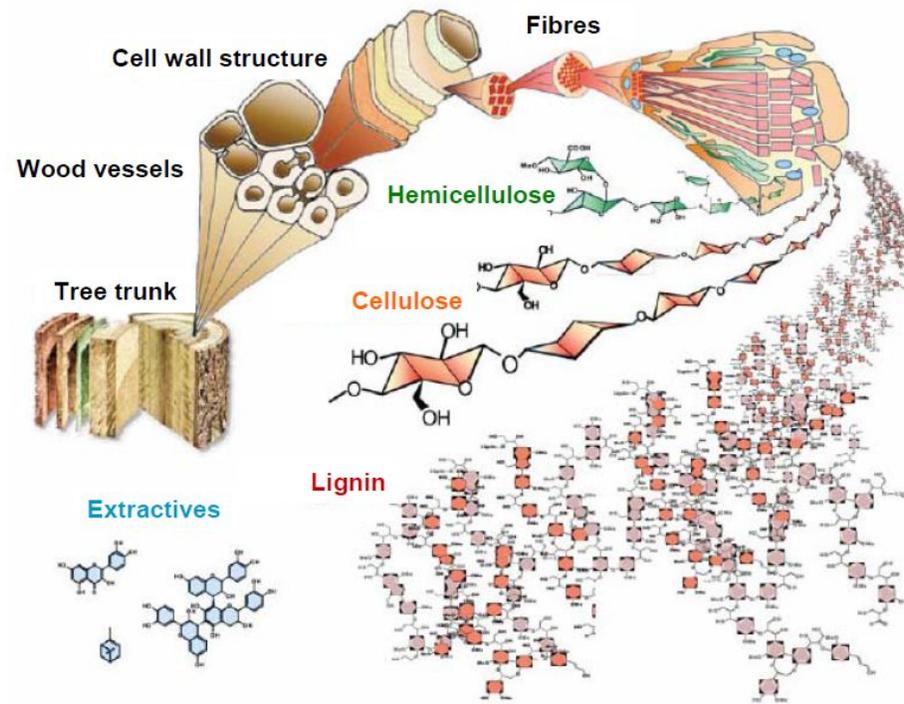
La mayor parte de la biomasa es lignocelulósica, donde la **celulosa**, **hemicelulosa** y **lignina** son sus tres principales constituyentes.

La biomasa lignocelulósica hace referencia a la parte **fibrosa** (sin almidón) de la planta, la cual es difícil de digerir por los humanos (a diferencia de los carbohidratos y el almidón). Por ejemplo, podemos comer arroz que es un carbohidrato pero no su cáscara o la planta en sí porque son lignocelulósicos.

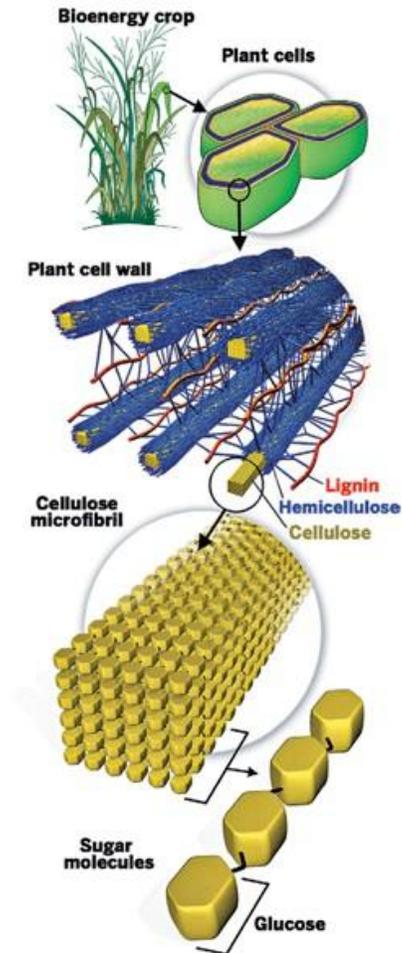


# Biomasa

## Composición:

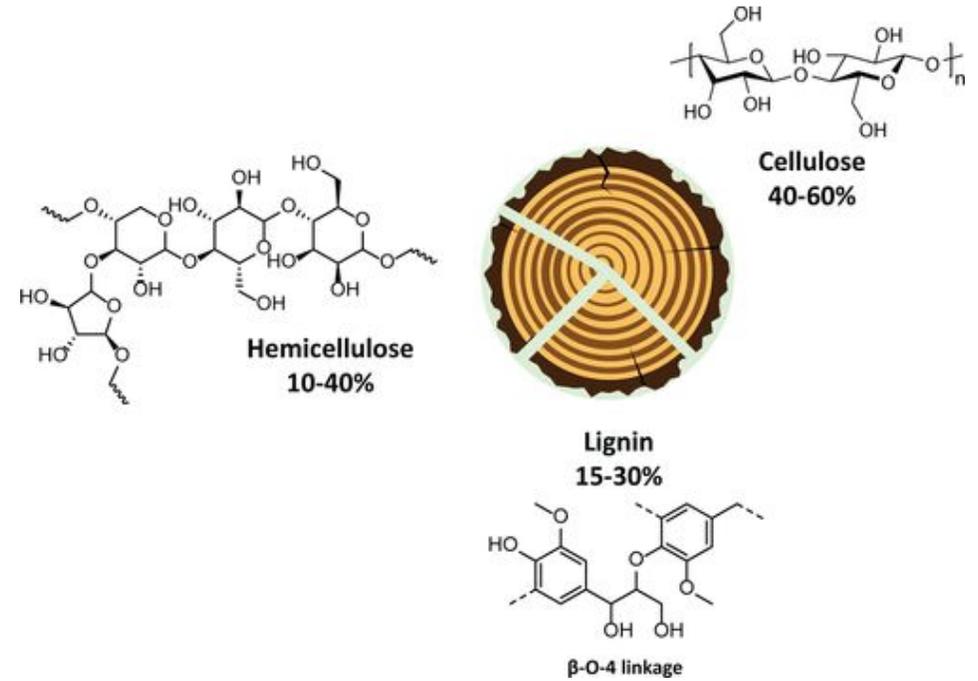
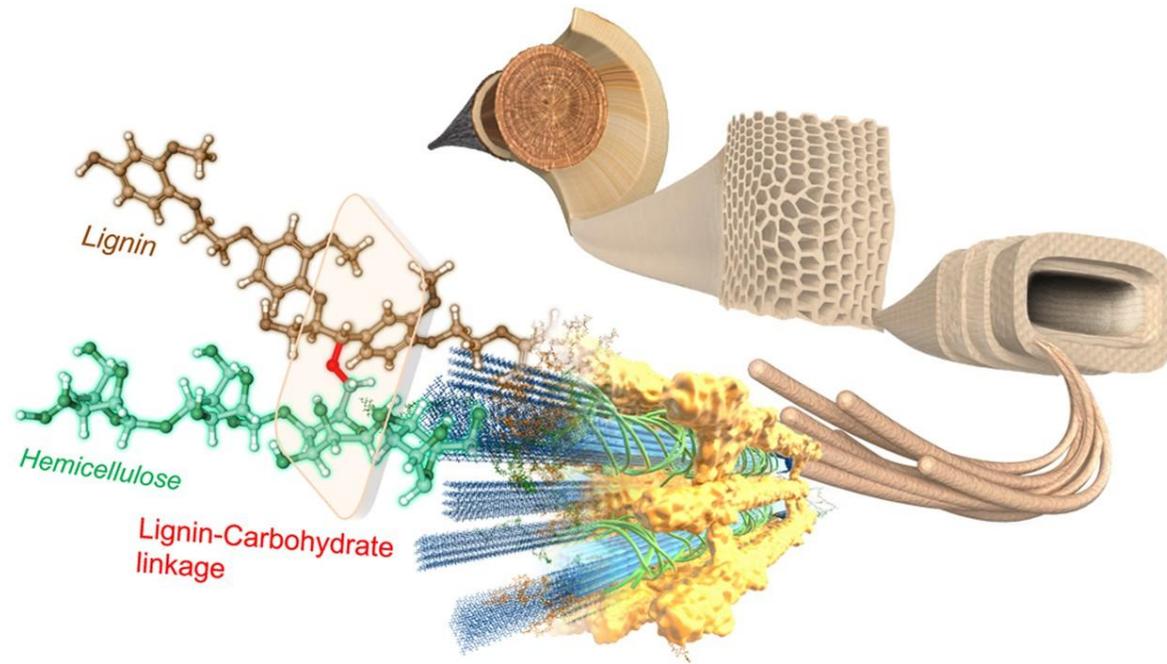


© Per Hoffmann, Oskar Faix and Ralph Lehnen



# Biomasa

## Composición:



# Fuentes / Producción de biomasa



# Fuentes / Producción de biomasa

## Ciclo de producción

- Producción agrícola
- Procesamiento primario (físicos)
- Procesamiento secundario (termoquímicos)
- Utilización:
  - Energía térmica
  - Energía eléctrica
  - Biocombustibles



# Fuentes / Producción de biomasa

## Fuentes principales

- Forestación - Leña
- Residuos forestales
- Residuos organicos
- Granos y frutos oleosos
- Caña de azúcar



Competencia del uso de la tierra: **Cultivo energético vs Producción de alimentos**

# Fuentes / Producción de biomasa

## Biomasa sólida:

General classification of biomass varieties as solid fuel resources according to their biological diversity, source and origin.

Biomass groups	Biomass sub-groups, varieties and species
1. Wood and woody biomass	Coniferous or deciduous; angiospermous or gymnospermous; soft or hard; stems, branches, foliage, bark, chips, lumps, pellets, briquettes, sawdust, sawmill and others from various wood species
2. Herbaceous and agricultural biomass	Annual or perennial and field-based or processed-based such as: 2.1. Grasses and flowers (alfalfa, arundo, bamboo, bana, brassica, cane, cynara, miscanthus, switchgrass, timothy, others) 2.2. Straws (barley, bean, flax, corn, mint, oat, rape, rice, rye, sesame, sunflower, wheat, others) 2.3. Other residues (fruits, shells, husks, hulls, pits, pips, grains, seeds, coir, stalks, cobs, kernels, bagasse, food, fodder, pulps, cakes, others)
3. Aquatic biomass	Marine or freshwater algae; macroalgae (blue, green, blue-green, brown, red) or microalgae; seaweed, kelp, lake weed, water hyacinth, others
4. Animal and human biomass wastes	Bones, meat-bone meal, chicken litter, various manures, others
5. Contaminated biomass and industrial biomass wastes (semi-biomass)	Municipal solid waste, demolition wood, refuse-derived fuel, sewage sludge, hospital waste, paper-pulp sludge, waste papers, paperboard waste, chipboard, fibreboard, plywood, wood pallets and boxes, railway sleepers, tannery waste, others
6. Biomass mixtures	Blends from the above varieties

# Fuentes / Producción de biomasa

## Forestación

**CUADRO 1. ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE FORESTAL BAJO PLANTACIÓN EN HECTÁREAS SEGÚN TIPO (AFECTADA Y EFECTIVA). AÑO 2021.**

Superficie estimada	ha
Área efectiva	1.064.805
Área afectada <sup>1/</sup>	1.327.606

Fuente: Cartografía 2021 (Imágenes a Enero - Febrero 2021) y estimación de áreas con nuevas plantaciones en base a la Encuesta de Viveros 2022, Dirección General Forestal - MGAP  
/1 Superficie afectada: incluye la superficie ocupada por caminos de saca de la madera, caminos cortafuegos, zonas buffer, etc presentes en las plantaciones forestales comerciales.

**CUADRO 2. ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE EFECTIVA PLANTADA EN 2021, EN HECTÁREAS SEGÚN ESPECIE.**

Especie	Superficie Plantada Estimada (ha.)	%
E.dunnii	35.693	42,4
E.grandis	30.506	36,3
Otros Eucalyptus	9.290	11,0
E. smithii	7.915	9,4
E.globulus sp	413	0,5
Pinus	315	0,4
<b>Total</b>	<b>84.132</b>	<b>100,0</b>

Fuente: MGAP Dirección General Forestal. División Evaluación & Información.

# Fuentes / Producción de biomasa

## Forestación

Gráfico 1.1 Extracción de Madera en Rollo 2000-2022 en miles de m<sup>3</sup>



Fuente: División Evaluación e Información-DGF-MGAP

Gráfico 1.3 Extracción de Madera en Rollo 2022 por destino, principales rubros



# Fuentes / Producción de biomasa

## Productividad forestal

Uruguay - Eucalyptus: 25 m<sup>3</sup>/ha.año  
Cosecha entre los 8 y 10 años

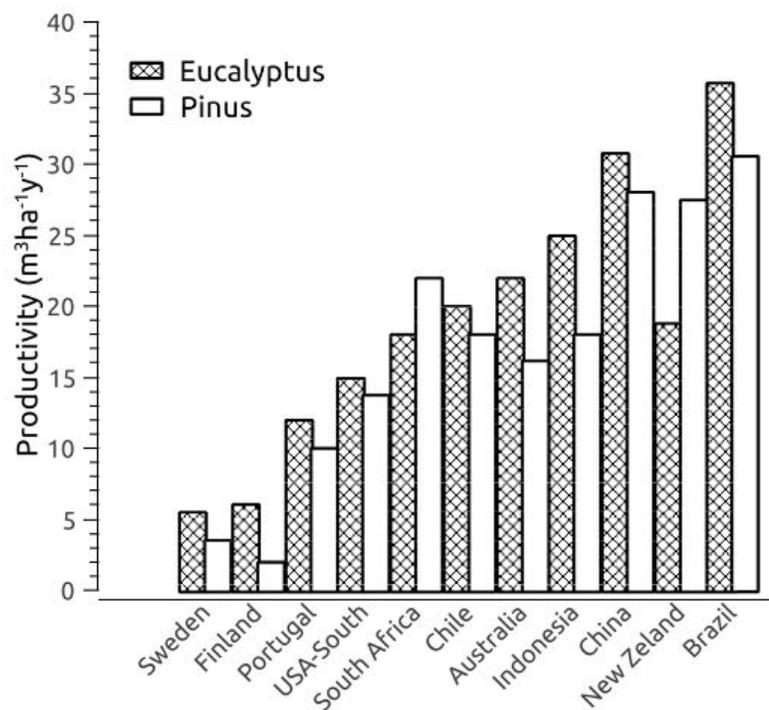


Tabela 2.4: Produtividade Florestal (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com casca)

ESTADO	Eucalipto	Pinus
Amapá	35,0	-
Bahia	42,2	-
Espírito Santo	40,3	-
Mato Grosso	49,3	-
Mato Grosso do Sul	40,1	-
Minas Gerais	39,1	27,6
Pará	27,0	-
Paraná	53,1	39,3
Rio Grande do Sul	22,9	34,2
Santa Catarina	35,4	35,5
São Paulo	46,0	28,9
Brasil	40,5	36,3

Fonte: Bracelpa, 2011

Cosecha entre 4 y 7 año

# Fuentes / Producción de biomasa

## Resíduos forestales



Tabela 2.6: Porcentagem em massa das frações da árvore de eucalipto (b.s.)

	Madeira	Casca	Copa	G. Gros.	G. Finos	G. Peq.	Folhas	G. Secos	Referência
E. globulus	82,2	7,4	10,4	5,4	2,1	0,9	1,9	-	(BALBOA et al., 2003)
E. globulus	82,3	7,4	10,4	5,4	2,1	0,9	2,0	-	(BALBOA et al., 2003)*
E. nitens	72,9	10,0	17,1	2,7	2,1	1,5	4,3	6,4	(PÉREZ-CRUZADO et al., 2009)
E. nitens	71,0	10,4	18,7	5,7	1,9	1,8	4,5	4,8	(PÉREZ-CRUZADO et al., 2009)*
E. globulus	71,0	10,4	18,6	5,7	1,9	1,8	4,5	4,8	(ANTÓNIO et al., 2007)
E. saligna	82,9	5,2	11,9	-	-	-	-	-	(BRITO et al., 1979)
E. saligna	72,3	12,4	15,3	-	-	-	-	-	(COUTO et al., 1984)
E. globulus	81,1	7,4	11,5	-	8,4	-	2,0	-	(PÉREZ et al., 2006)
E. nitens	79,7	7,6	12,7	-	10,3	-	2,2	-	(PÉREZ et al., 2006)

(\*) Calculado a partir de equações

# Fuentes / Producción de biomasa

## Residuos forestales



# Fuentes / Producción de biomasa

## Residuos de aserradero

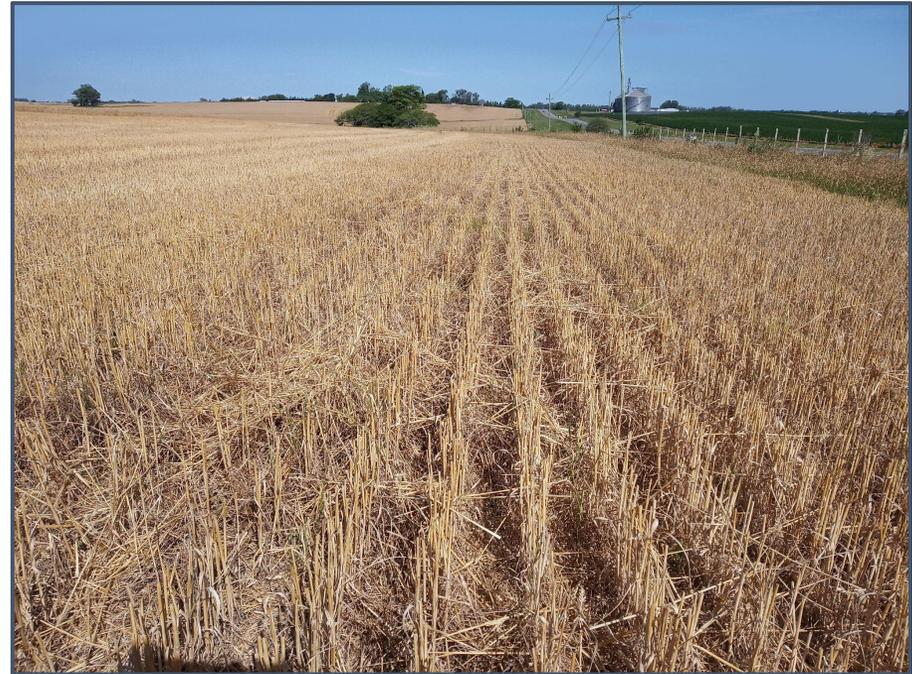


# Fuentes / Producción de biomasa

## Residuos Agrícolas



Soja



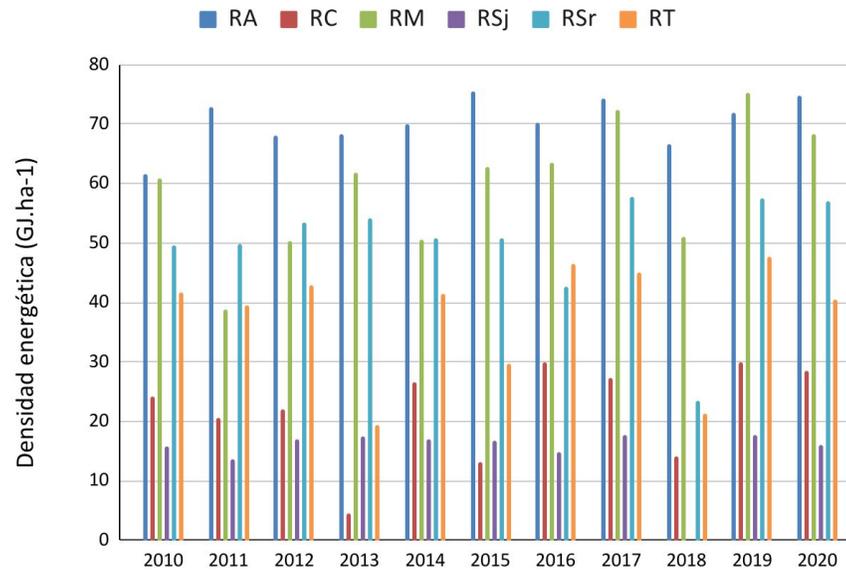
Trigo

# Fuentes / Producción de biomasa

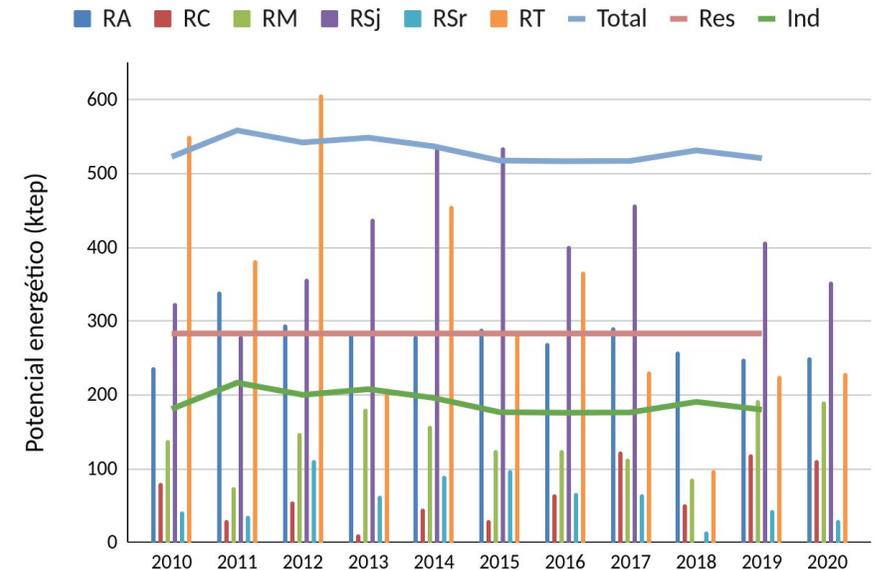
## Residuos Agrícolas

Principales cultivos:

- Arroz
- Cebada
- Maíz
- Soja
- Sorgo
- Trigo



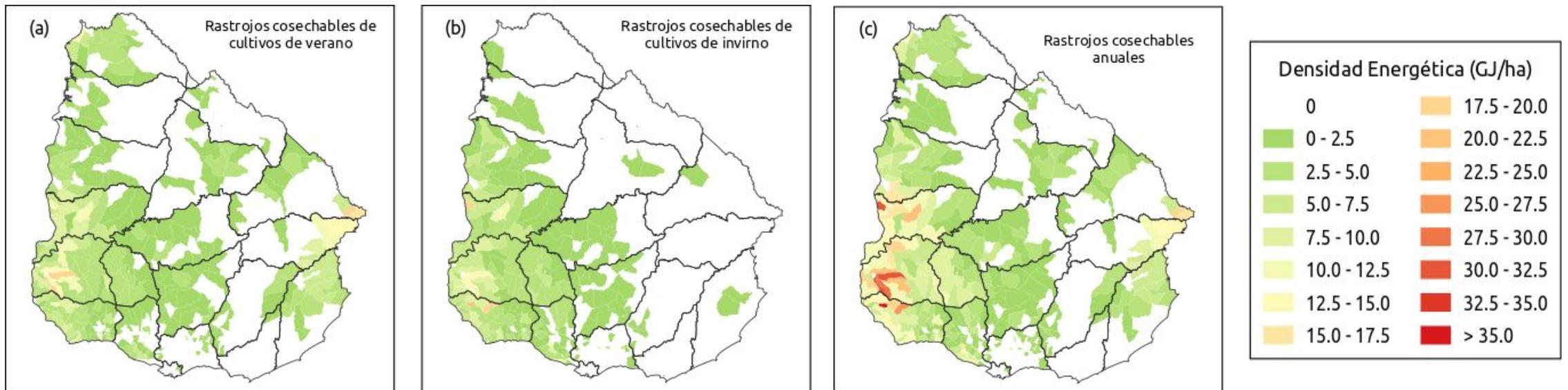
Densidad energética (GJ.ha<sup>-1</sup>)



Potencial total (ktep)

# Fuentes / Producción de biomasa

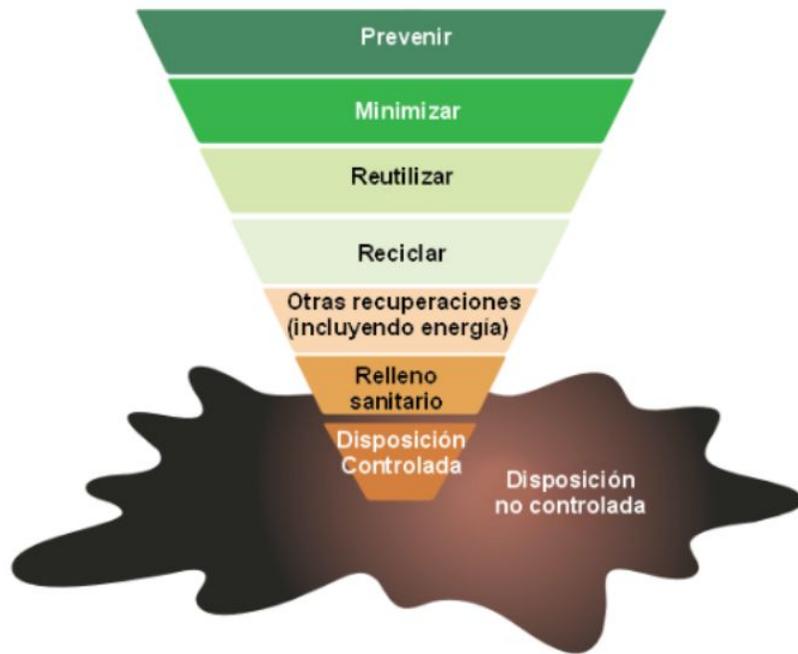
## Residuos Agrícolas: Distribución del potencial



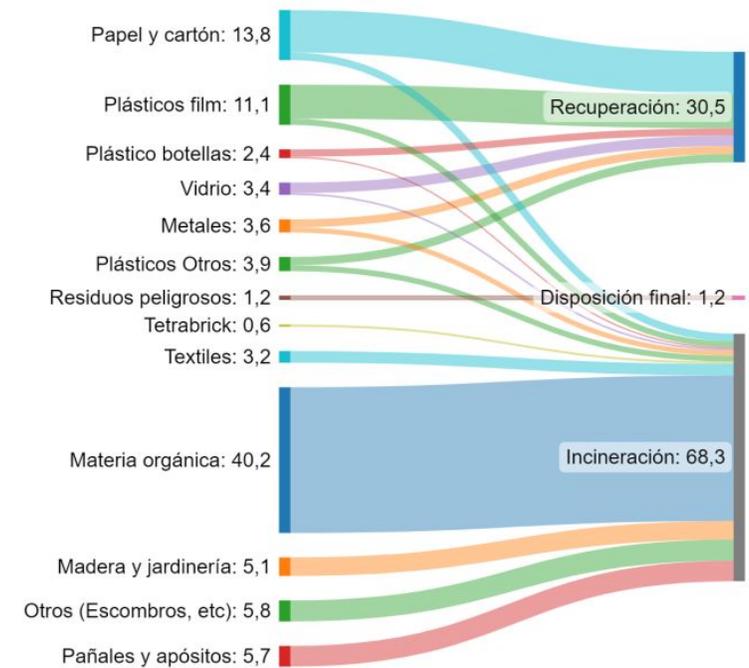
# Fuentes / Producción de biomasa

## Residuos Sólidos Urbanos

1,27 kg.dia<sup>-1</sup>.habitante<sup>-1</sup>



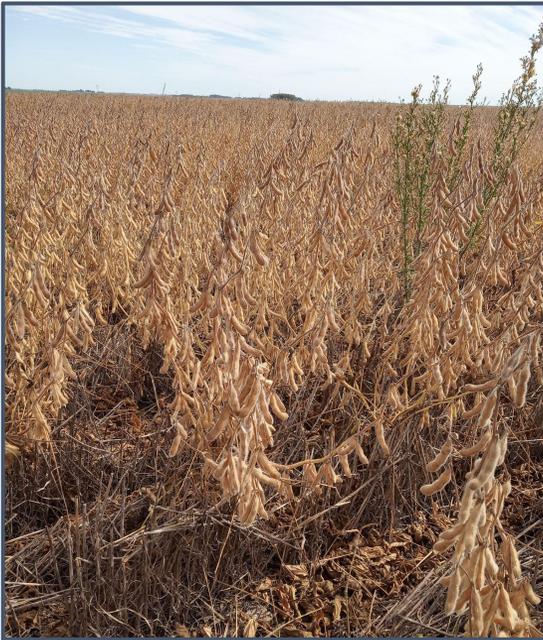
Material	% peso
<i>Incinerables</i>	
Papel y cartón	13,8
Tetrabrick	0,7
Plásticos film	11,0
Plástico botellas	2,4
Plásticos Otros	3,9
Pañales y apósitos	5,7
Textiles	3,2
Materia orgánica	40,2
Madera y jardinería	5,1
<i>No incinerables</i>	
Metales	3,6
Vidrio	3,4
Otros (Escombros, etc)	5,8
Residuos peligrosos	1,2



# Fuentes / Producción de biomasa

## Fuentes para producir biocombustibles líquidos

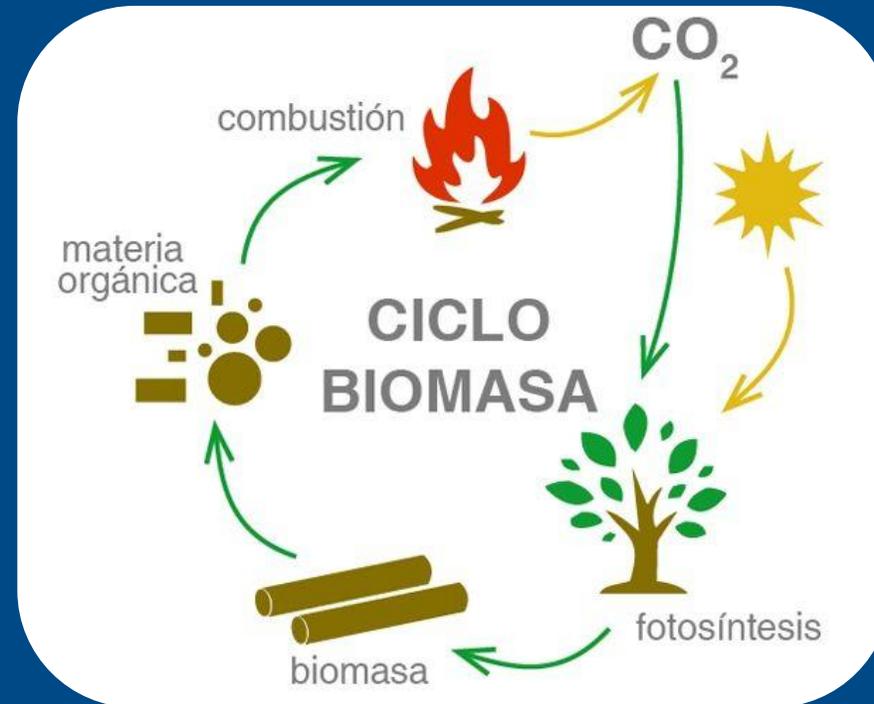
Granos



Caña de azúcar



# Análisis de Ciclo de Vida

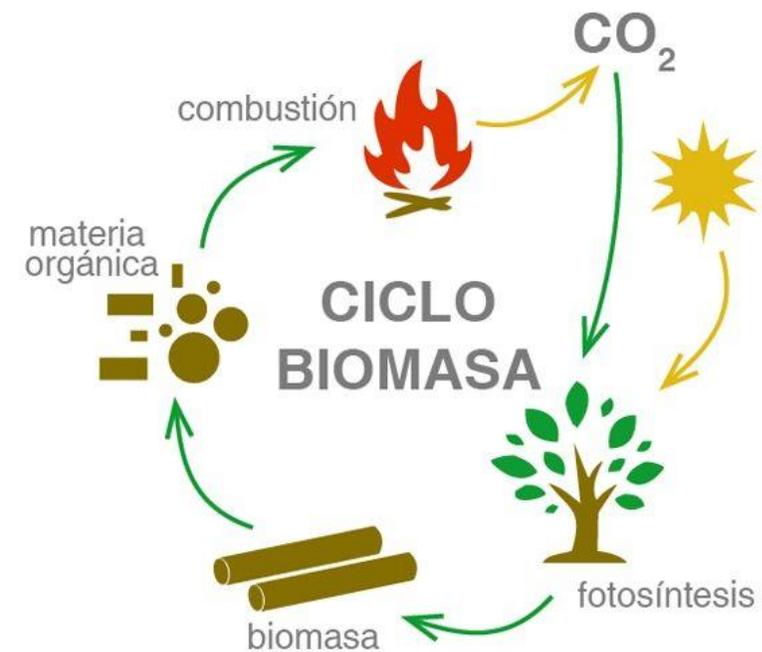


# Análisis de Ciclo de Vida

## Renovable?

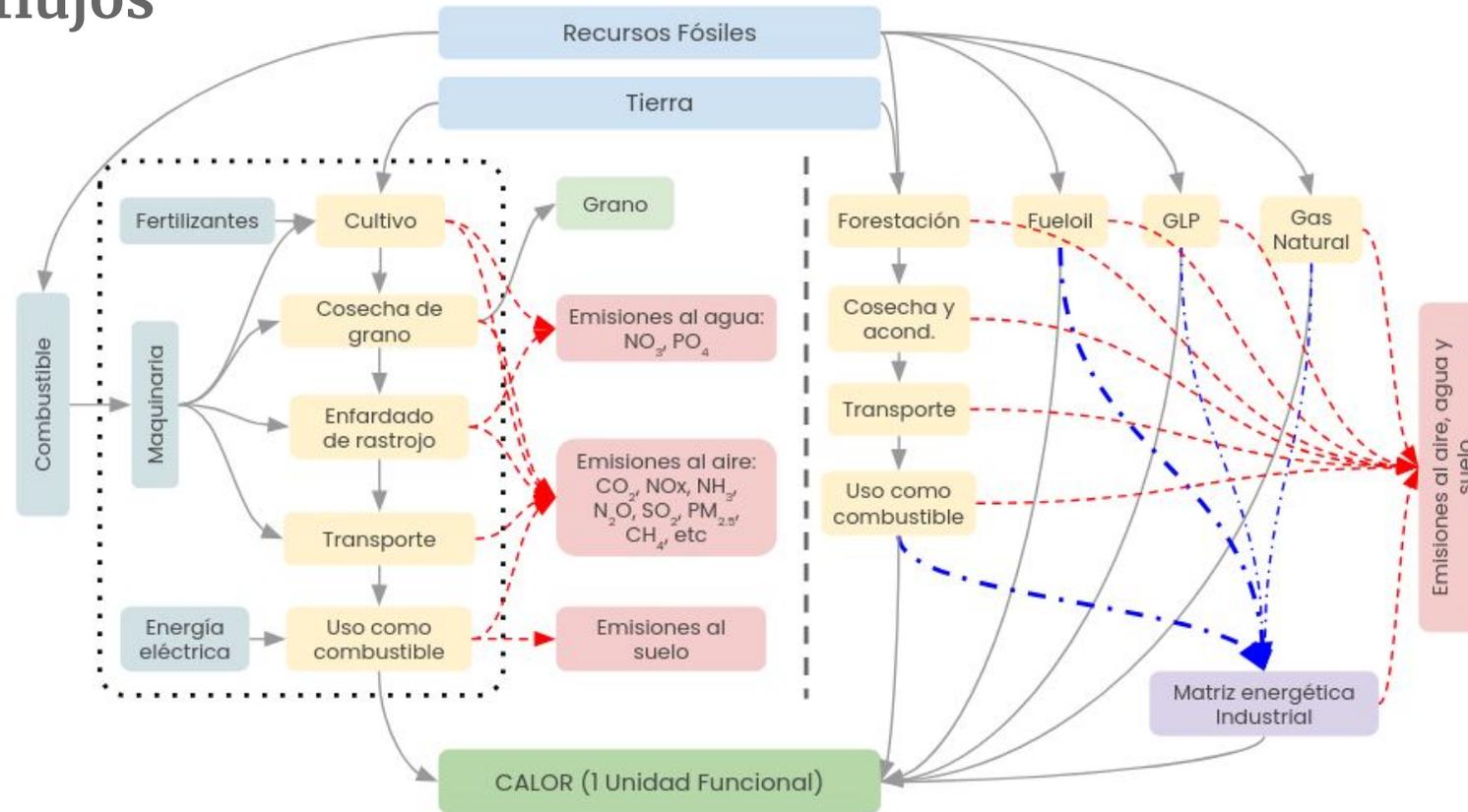
La **biomasa natural** puede considerarse renovable, mientras que la **biomasa como combustible** no es puramente renovable debido al uso de fuentes de energía no renovable para su generación.

- Las **emisiones netas** de  $\text{CO}_2$  del ciclo de vida **no** son nulas.
- Además genera otros impactos negativos sobre el ambiente.



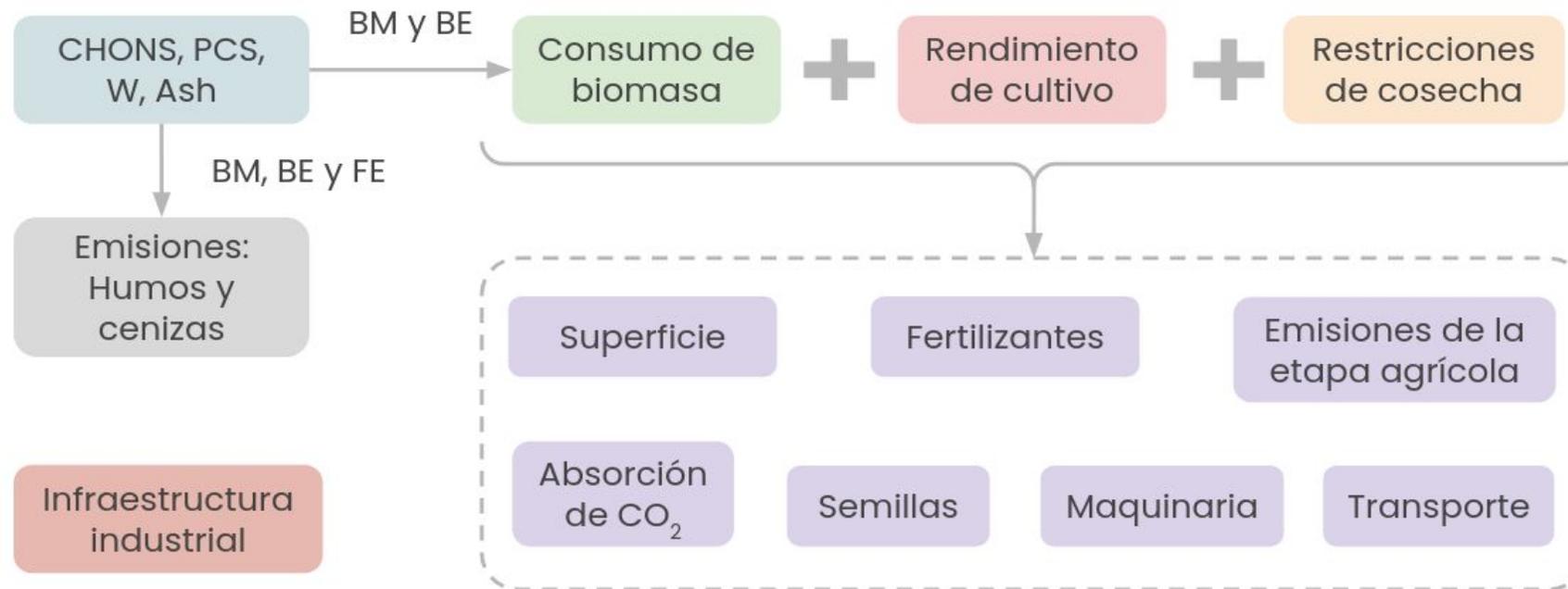
# Análisis de Ciclo de Vida

## Diagrama de flujos



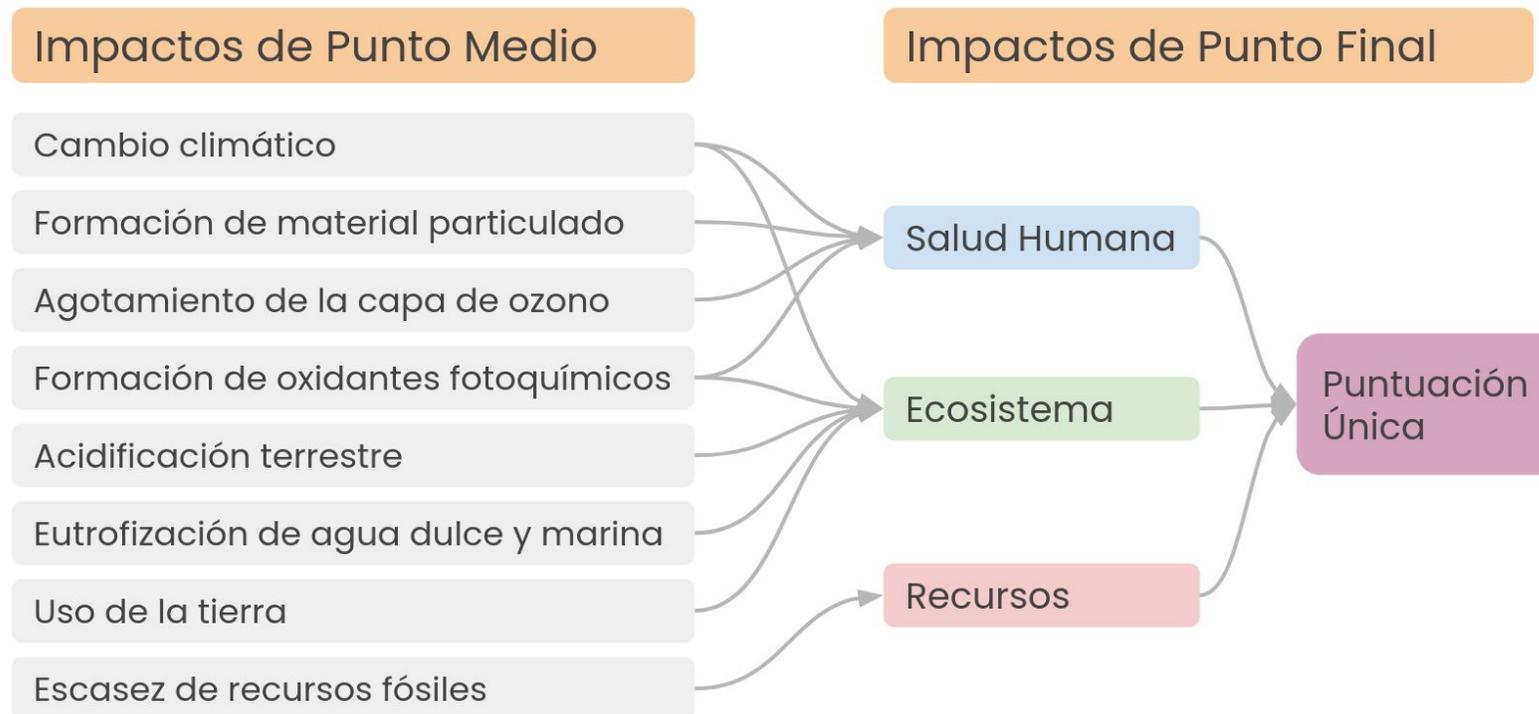
# Análisis de Ciclo de Vida

## Inventario de extracciones y emisiones



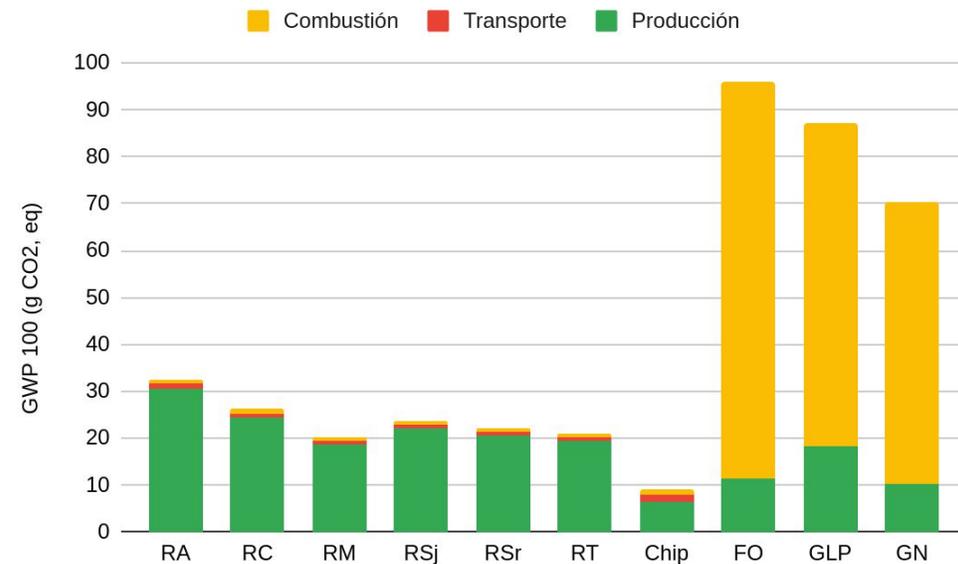
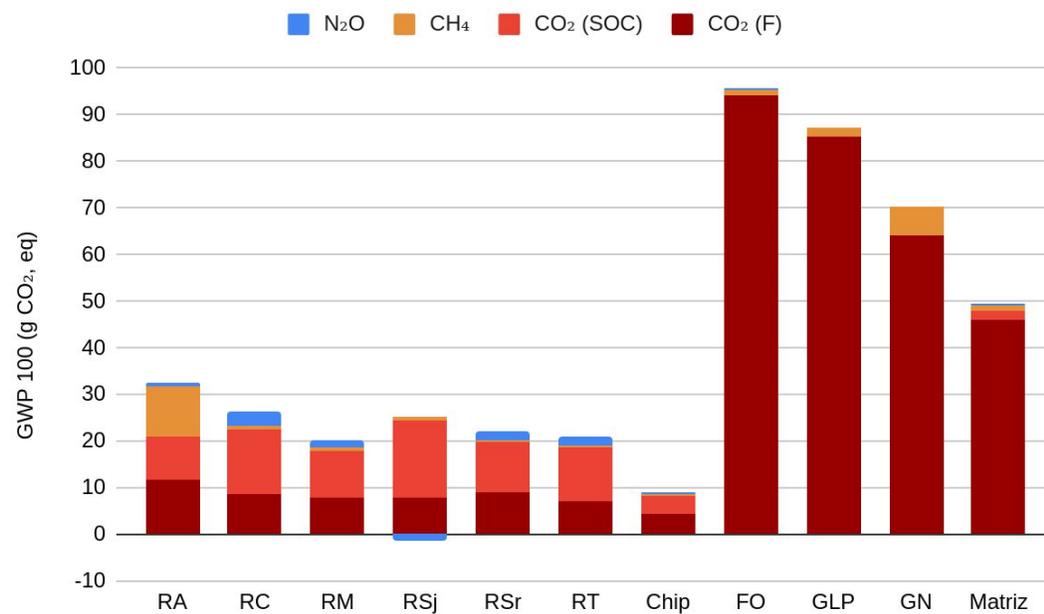
# Análisis de Ciclo de Vida

## Impactos: ReCiPe 2016



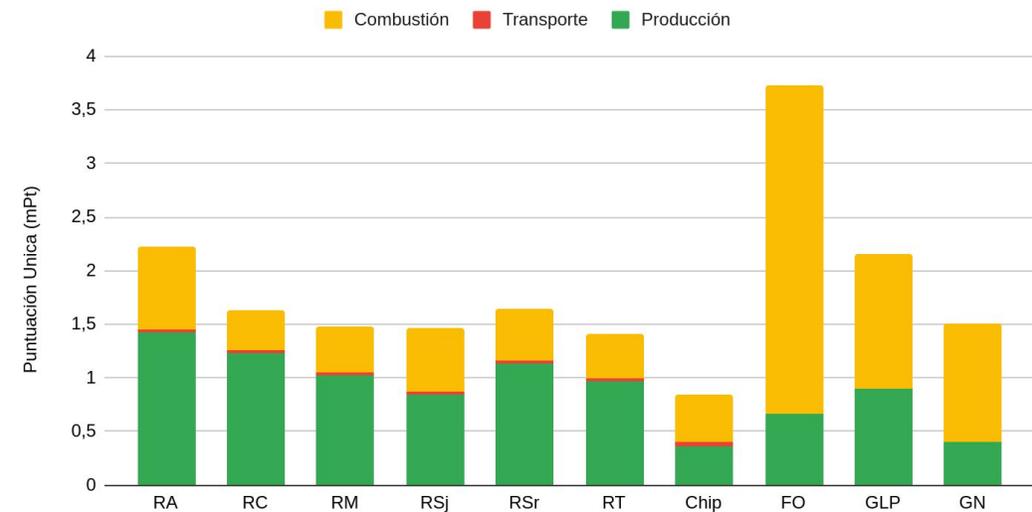
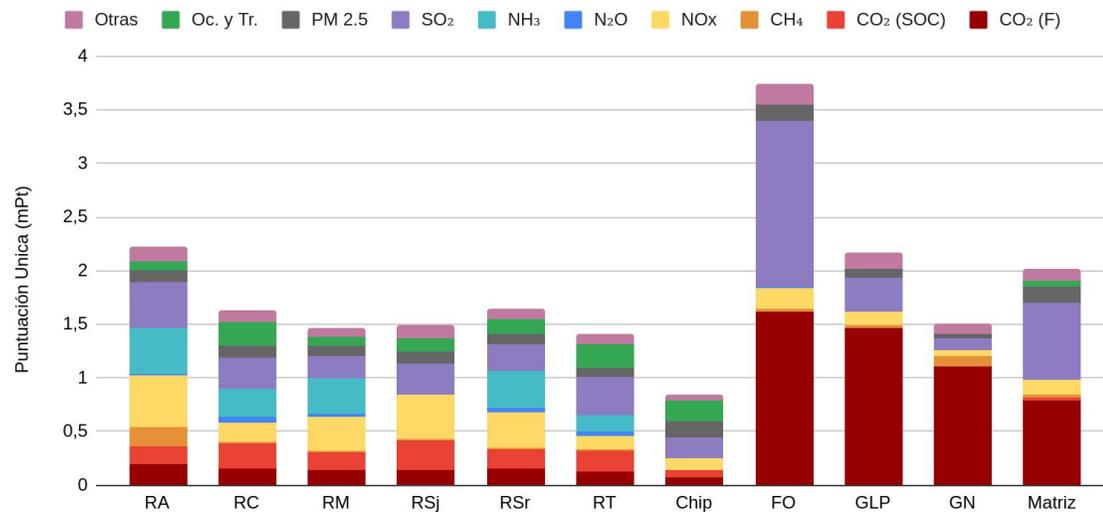
# Análisis de Ciclo de Vida

## Impactos: Cambio climático

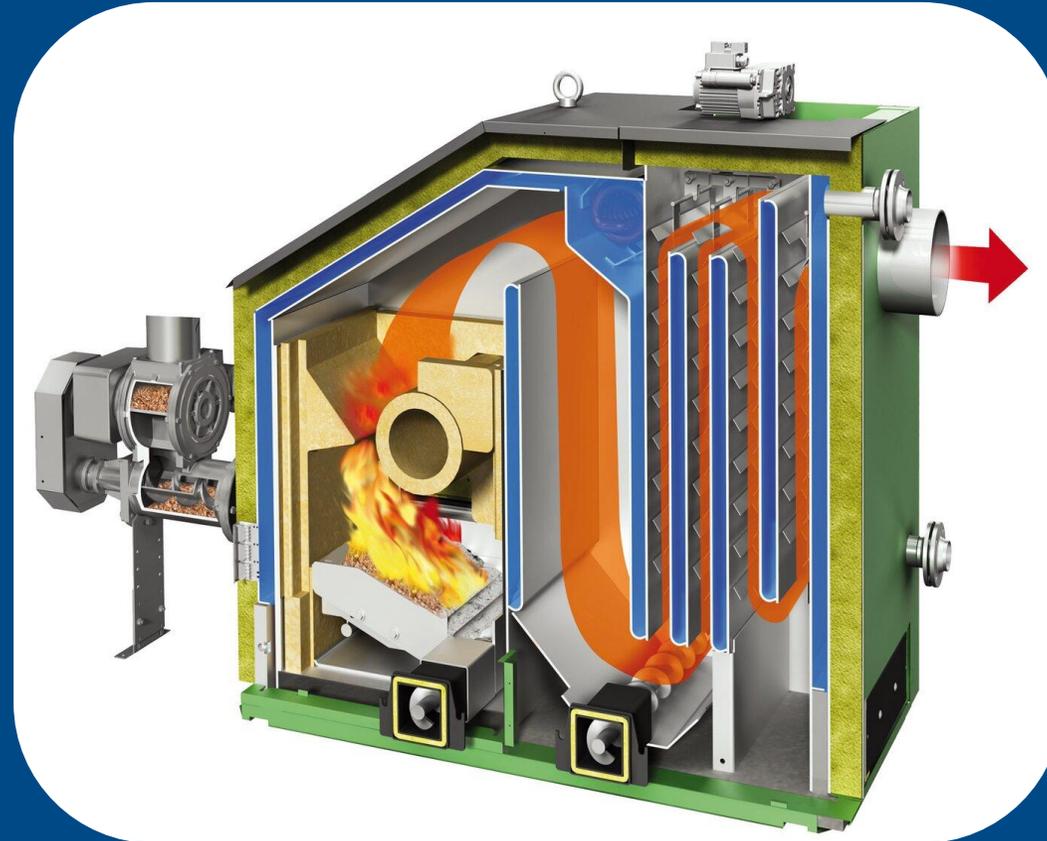


# Análisis de Ciclo de Vida

## Impactos: Puntuación Unica



# Usos de la biomasa con fines energéticos

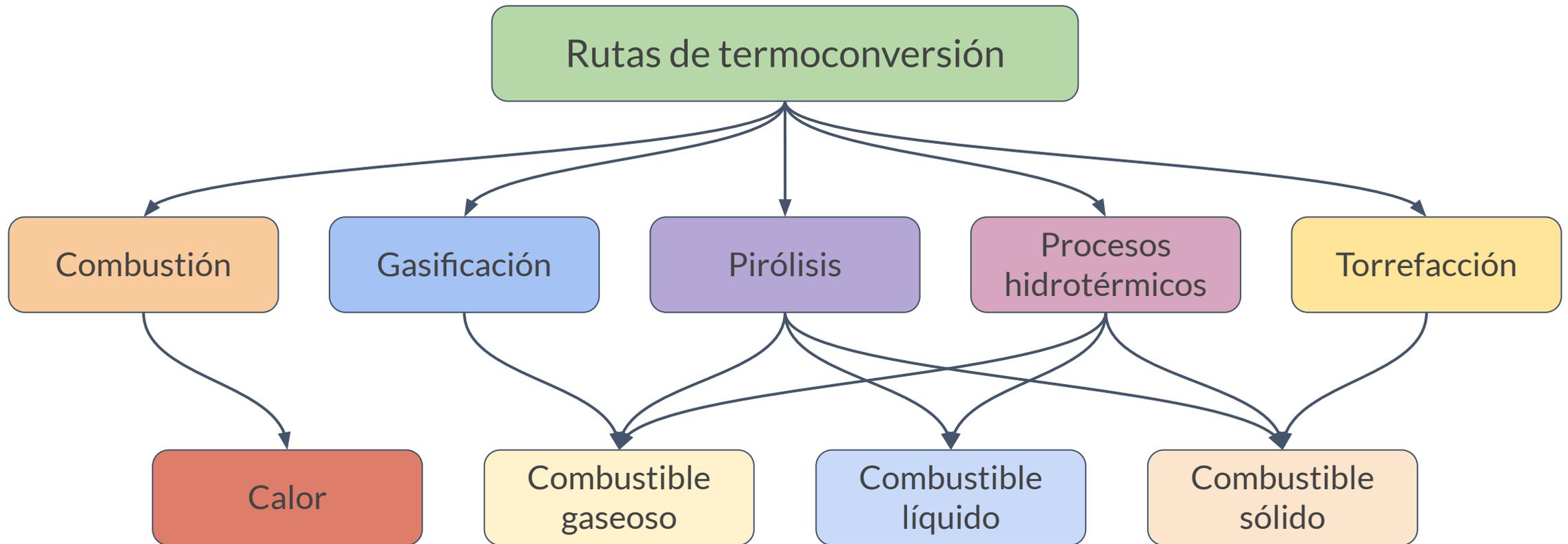


# Usos de la biomasa con fines energéticos

Major advantages and disadvantages of biomass or biomass fuels.

Advantages	Disadvantages
Renewable energy source for natural biomass	Incomplete renewable energy resource for biomass fuel with respect to the complete life cycle assessment
CO <sub>2</sub> neutral conversion and climate change benefits	Miss of accepted terminology, classification systems and standards worldwide
Commonly low contents of ash, C, S, N, and trace elements	Insufficient knowledge and variability of composition, properties and quality
Normally high concentrations of volatile matter, Ca, H, Mg, O, and P	Commonly high contents of moisture, Cl, K, Na, Mn, and some trace elements
Great reactivity during conversion	Low energy density
Mitigation of hazardous emissions (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , trace elements) and wastes separated	Potential competition with food and feed production
Capture of some hazardous components by ash during combustion	Possible soil damage and loss of biodiversity
Huge availability and relatively cheap resource	Odour, potential emission and leaching of hazardous components during disposal
Diversification of fuel supply and energy security	Possible hazardous emissions during heat treatment
Rural revitalization with creation of new jobs	Potential technological problems during heat treatment
Potential use of oceans and low-quality soils, and restoration of degraded lands	Regional availability
Reduction of biomass-containing wastes	Great collection, transportation, storage and pre-treatment costs
Cheap resource for production of sorbents, fertilizers, liming and neutralizing agents, building materials, and for some synthesis or recovery of certain elements and compounds	Unclear utilization of waste products

# Usos de la biomasa con fines energéticos



# Usos de la biomasa con fines energéticos

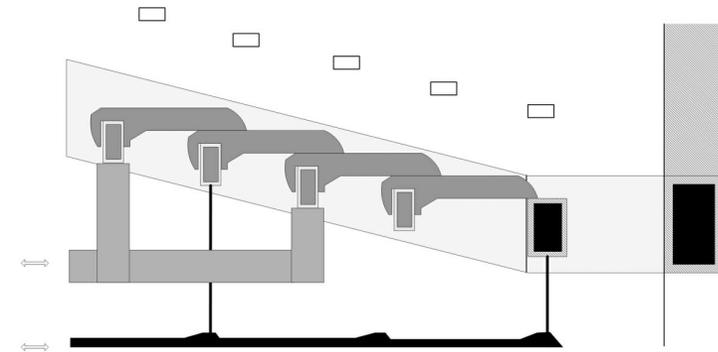
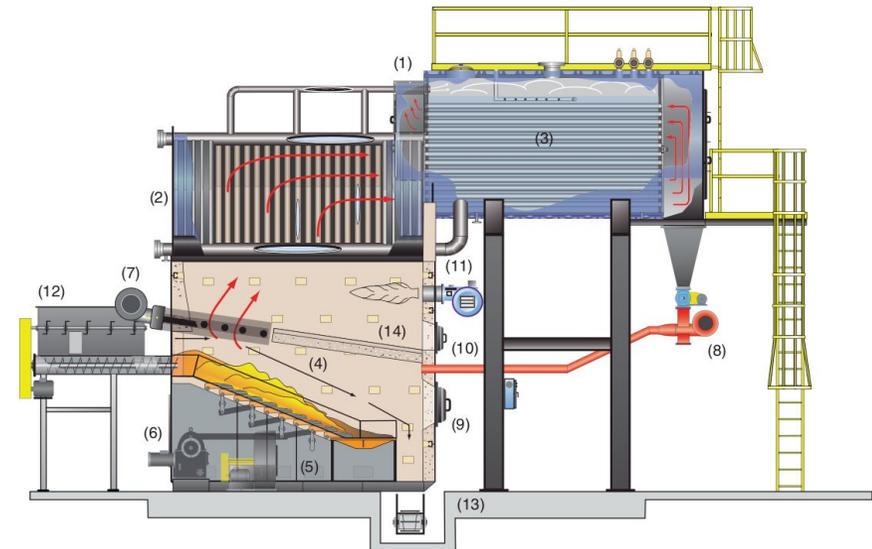
## Combustión

Reacción de **oxidación** (completa) rápida del combustible en la cual hay **liberación de calor** en presencia de llama. Los gases calientes se utilizan en procesos que requieren **calor directo**, producción de **vapor** de proceso o para **generación de potencia** (Rankine, ORC, Stirling), cogeneración, entre otros.



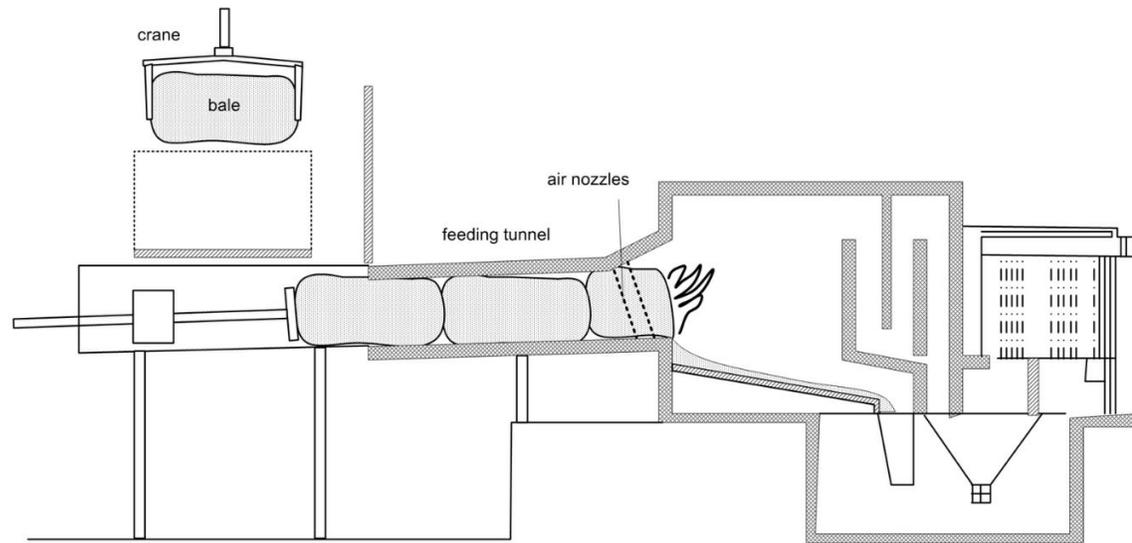
# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Sistemas de combustión: Lecho fijo



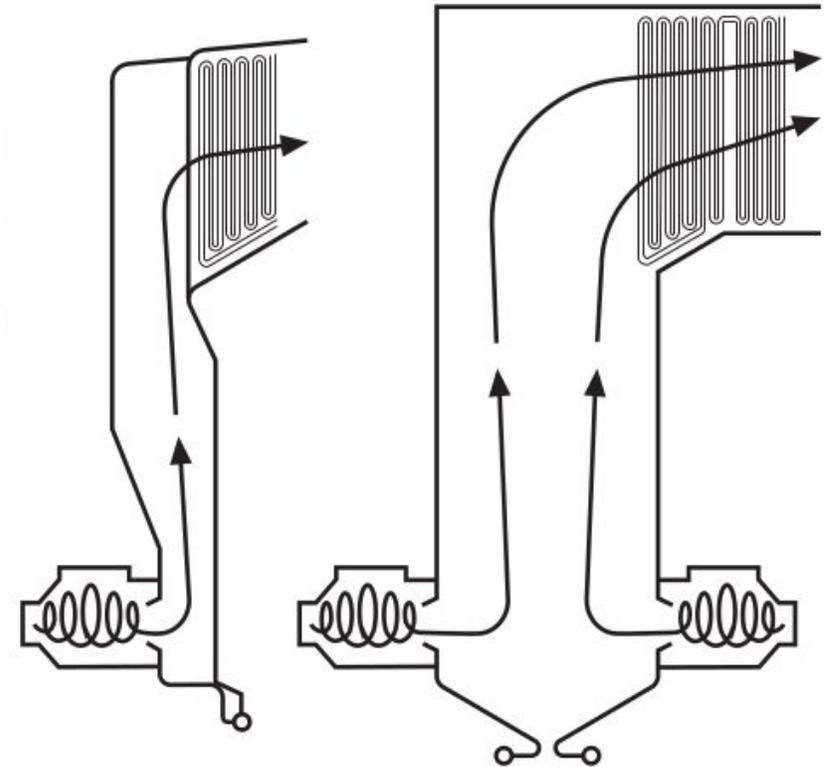
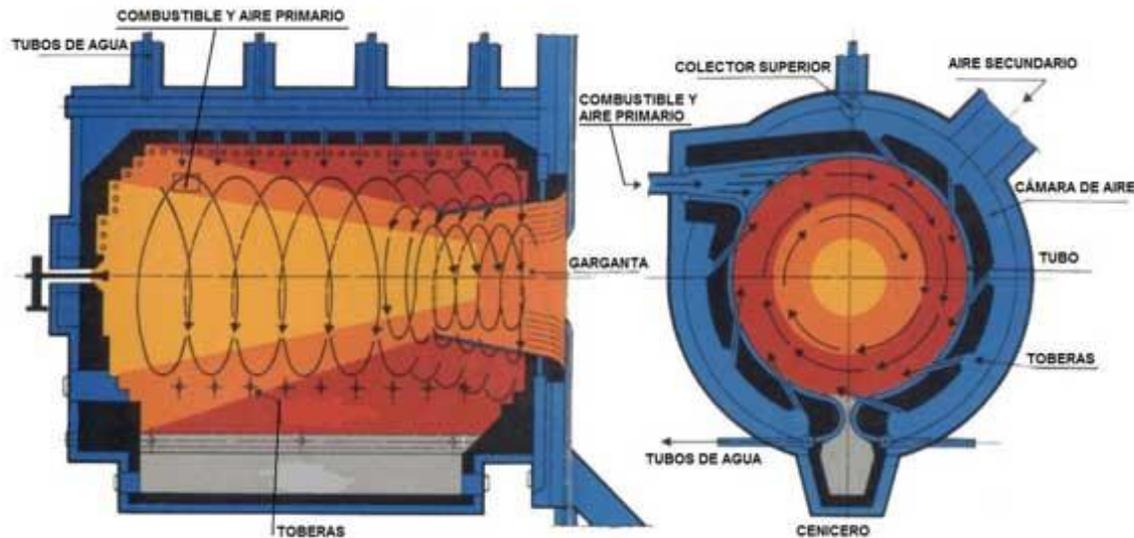
# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Sistemas de combustión: Quemador tipo cigarro



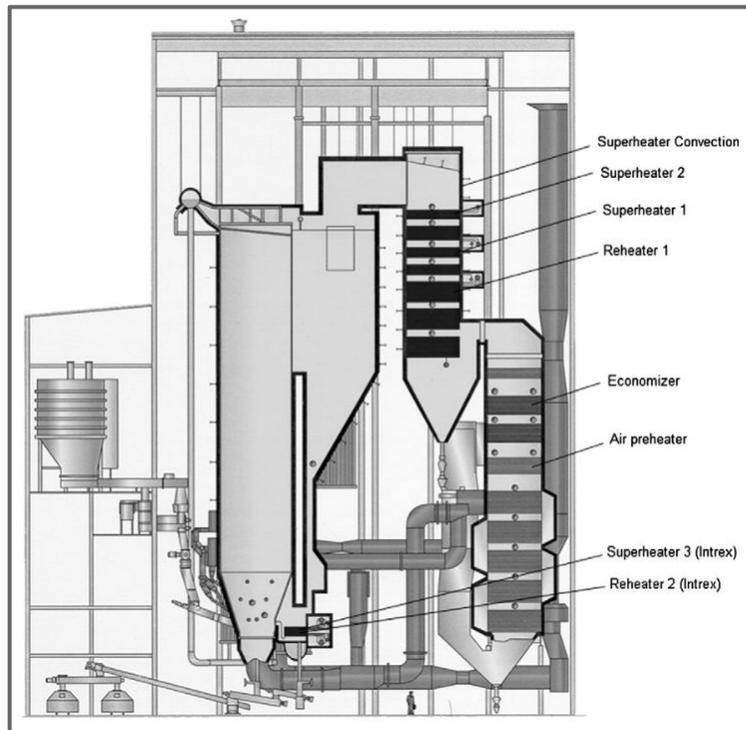
# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Sistemas de combustión en suspensión



# Usos de la biomasa con fines energéticos

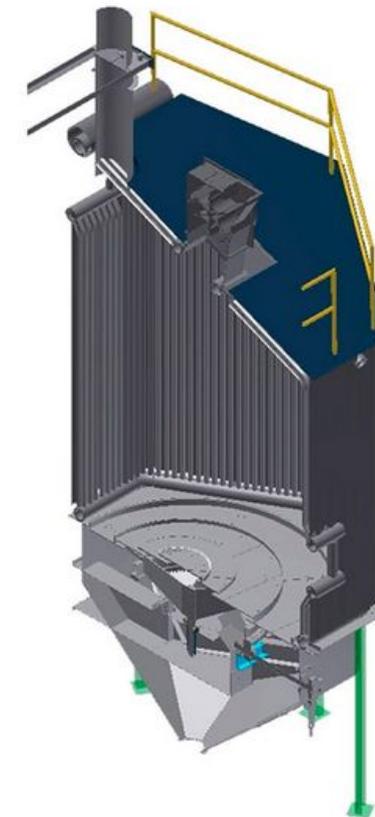
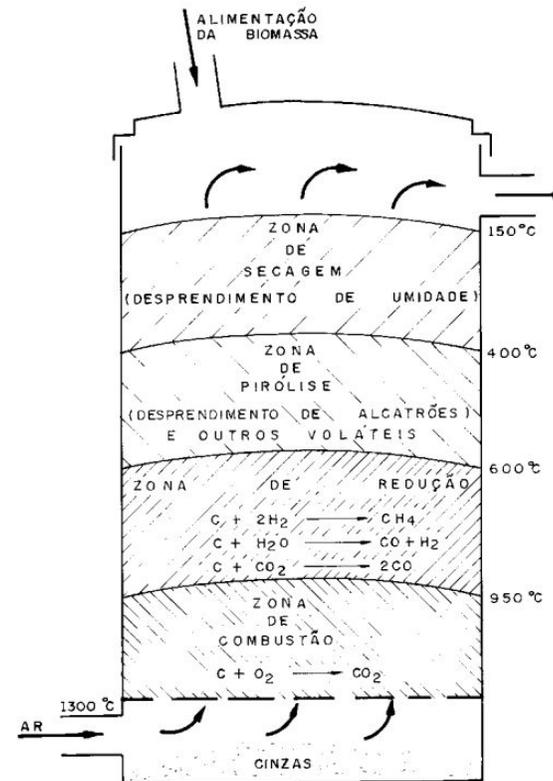
## Sistemas de combustión: Lecho fluidizado



# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Gasificación

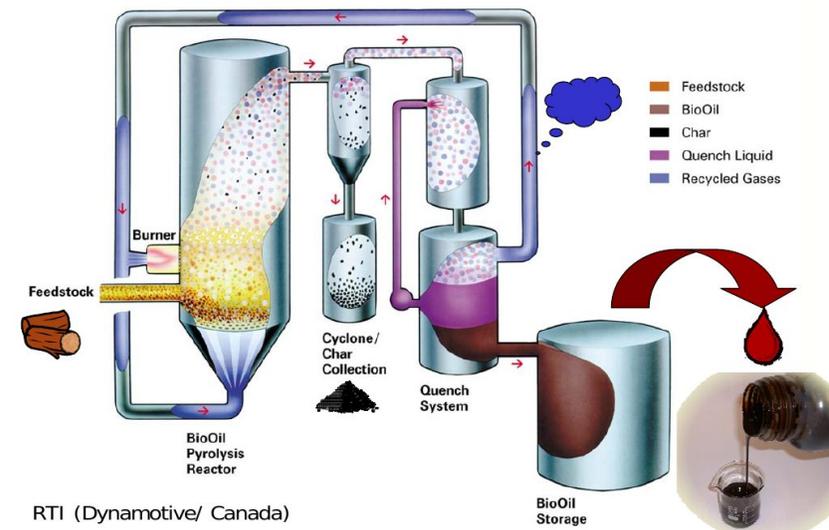
Oxidación de sólidos carbonosos rica en combustible (**exceso de aire negativo**), en un rango específico de temperatura (600 a 1200°C), teniendo como principales **productos combustibles gaseosos** como CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Los gases tienen la versatilidad de ser empleados como combustible en MCI, turbinas de gas o combustión directa.



# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Pirólisis

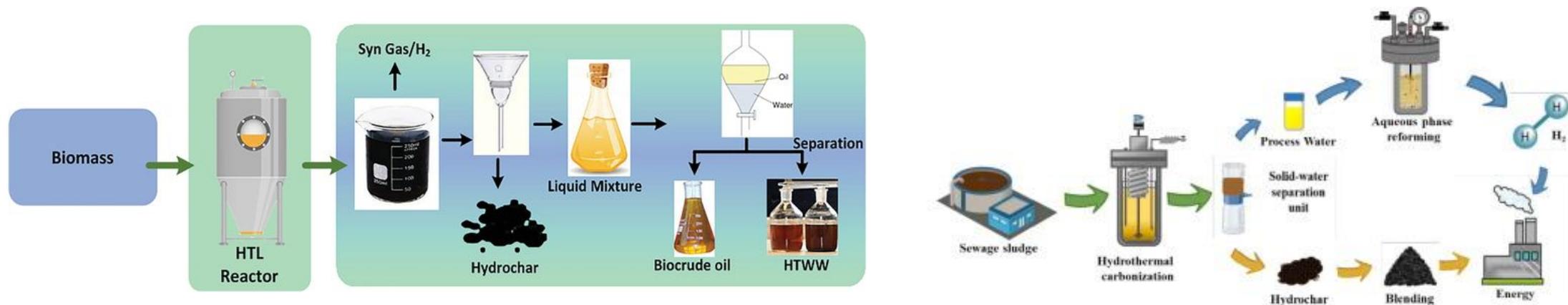
Es el proceso de **descomposición termoquímica en ausencia de oxígeno** en un rango específico de temperaturas (300 a 650°C). Los principales productos son **carbón vegetal**, gases condensables y no condensables. Los principales gases no condensables son  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2$ . Los gases condensables pueden condensar a fase líquida para obtener **bio-óleo**, siendo el insumo para biorefinerías.



# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Procesos hidrotérmicos

Son procesos termoquímicos que ocurren en un rango determinado de **presión y temperatura** durante los cuales la biomasa es sumergida en agua. Dependiendo de la temperatura (180 a 400°C) y presión (2 a 22 MPa) se obtienen productos **líquidos (HTL)** o **sólidos (HTC)**. A mayores presiones y temperaturas se puede obtener una gasificación hidro-térmica. Sin embargo, el hecho de tener que calentar el agua a altas temperaturas hace que el proceso pueda no ser energéticamente sostenible para biomazas con menos de 80 % de humedad.



# Usos de la biomasa con fines energéticos

## Torrefacción

Proceso en el cual la biomasa es calentada en **atmósfera inerte** a temperaturas entre 200 y 300°C por tiempos de residencia de entre 30 minutos a 2 horas. El proceso reduce la masa en un 30 % con solamente una pérdida del 10 % del contenido energético, por lo que **aumenta la densidad energética** de la biomasa. El producto se puede considerar como un estado intermedio entre la biomasa y el carbón vegetal



*Muchas gracias*



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Bibliografía

Barbosa Cortez, L. A., Silva Lora, E. E., & Olivares-Gómez, E. (2008). Biomassa para energia. Editora da Unicamp.

Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory (P. Basu, Ed.). Elsevier Inc.

DNE-MIEM. Balance Energetico Nacional. <https://ben.miem.gub.uy/>

Hannah Ritchie and Pablo Rosado (2020) - "Energy Mix" Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/energy-mix' [Online Resource]

IEA (2023), Energy Statistics Data Browser, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>

Pena Vergara, G. (2021.). Aprovechamiento energético de rastrojos en Uruguay. Tesis de doctorado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería.

Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., S., H. M., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 2262–2289.

Schimchak, M. (2023.). Hidrógeno a partir de residuos sólidos urbanos en el Uruguay : viabilidad técnica y económica. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería.

Vassilev, S. v, Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. Fuel, 89, 913–933.