

Combustión de Biomasa

Contextualización de la biomasa como fuente de energía

Prof. Dr. Waldir Bizzo¹

Prof. Dr. Ing. Gabriel Pena²

1. bizzo@fem.unicamp.br - Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica
2. 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 Bizzo¹

Prof. Dr. Ing. Gabriel Pena²

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

Setiembre / Octubre 2024



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

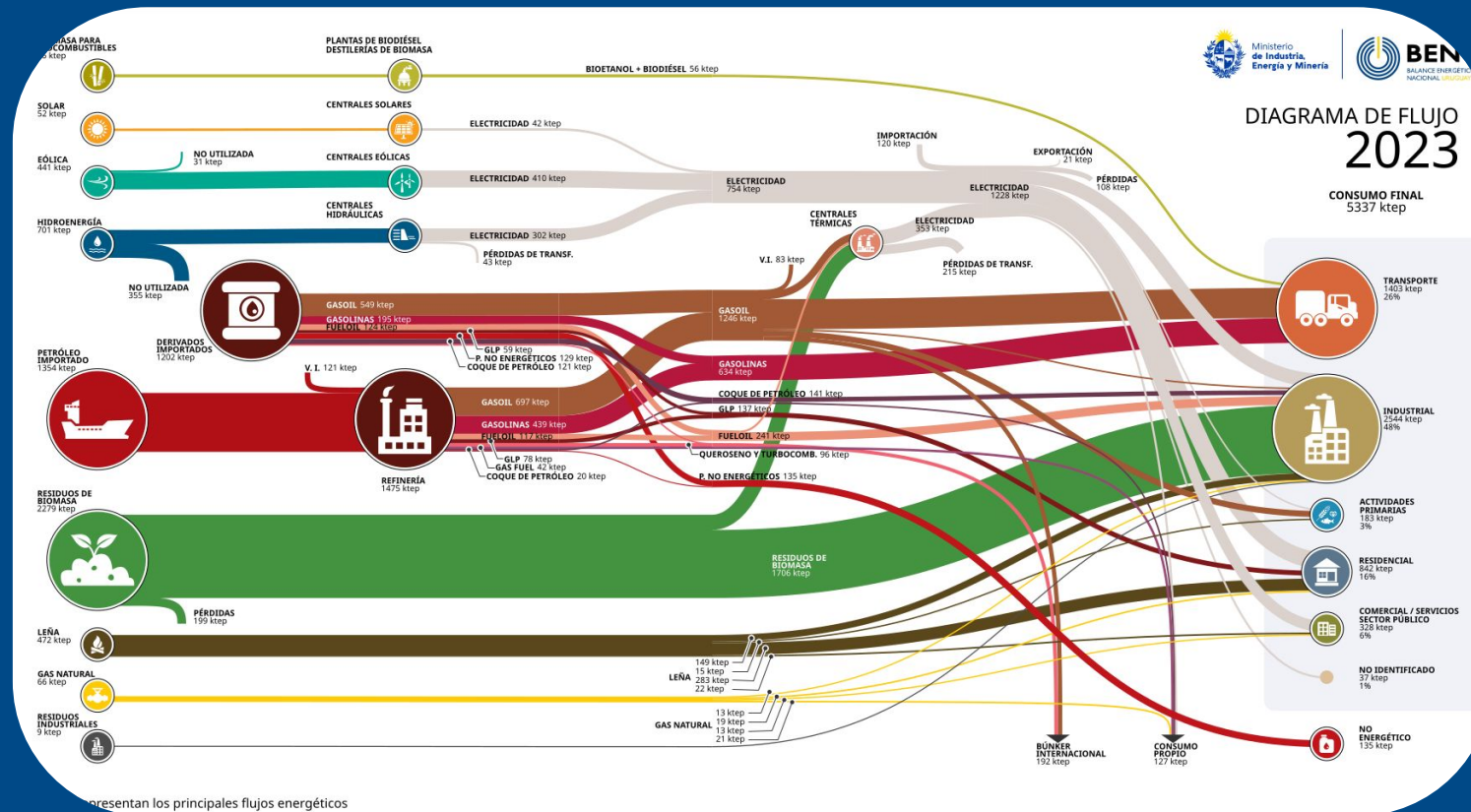
11/10 - 15:00 a 18:00 - Gasificación y Pirólisis

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

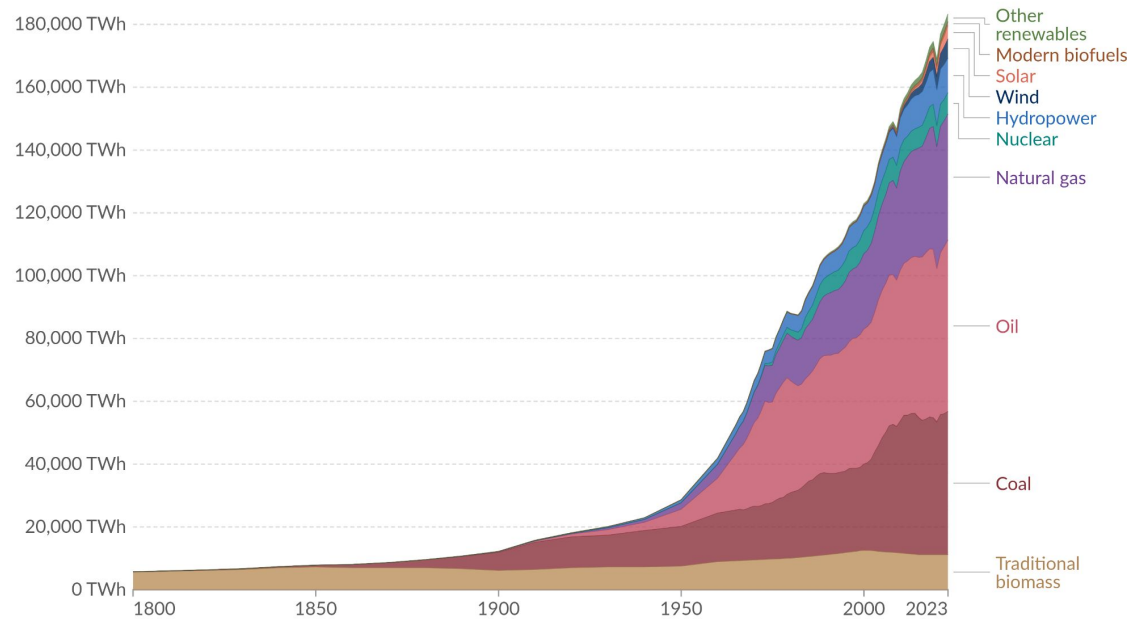


representan los principales flujos energéticos

Fuentes de energía - Matriz energética

Global primary energy consumption by source

Primary energy¹ is based on the substitution method² and measured in terawatt-hours³.



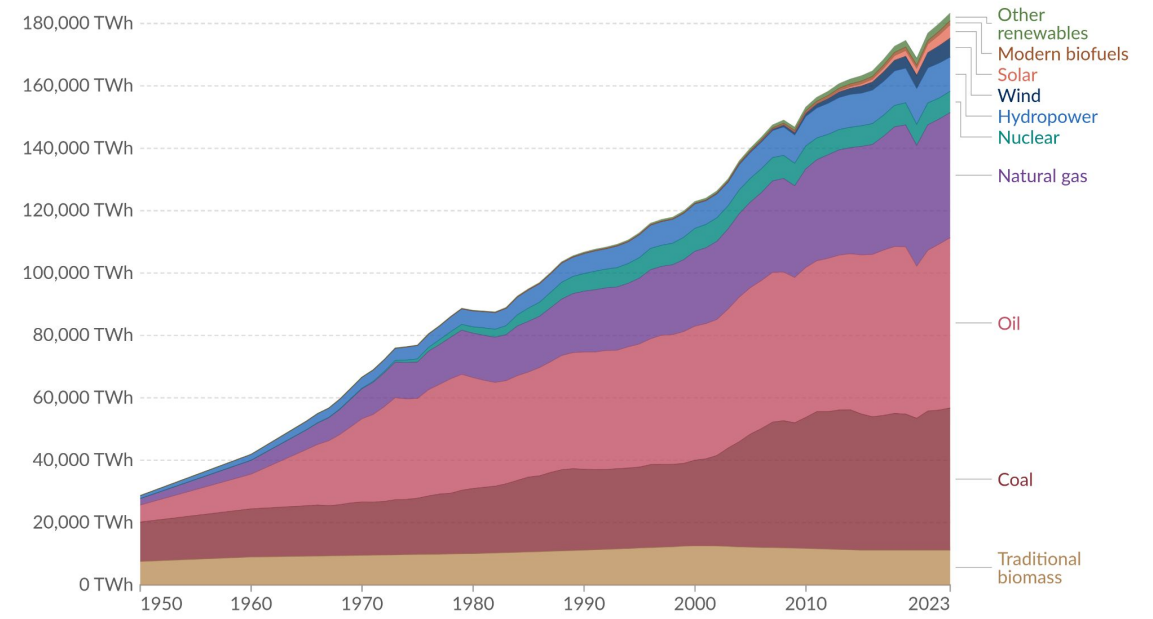
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Smil (2017)

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 energy¹ is based on the substitution method² and measured in terawatt-hours³.



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

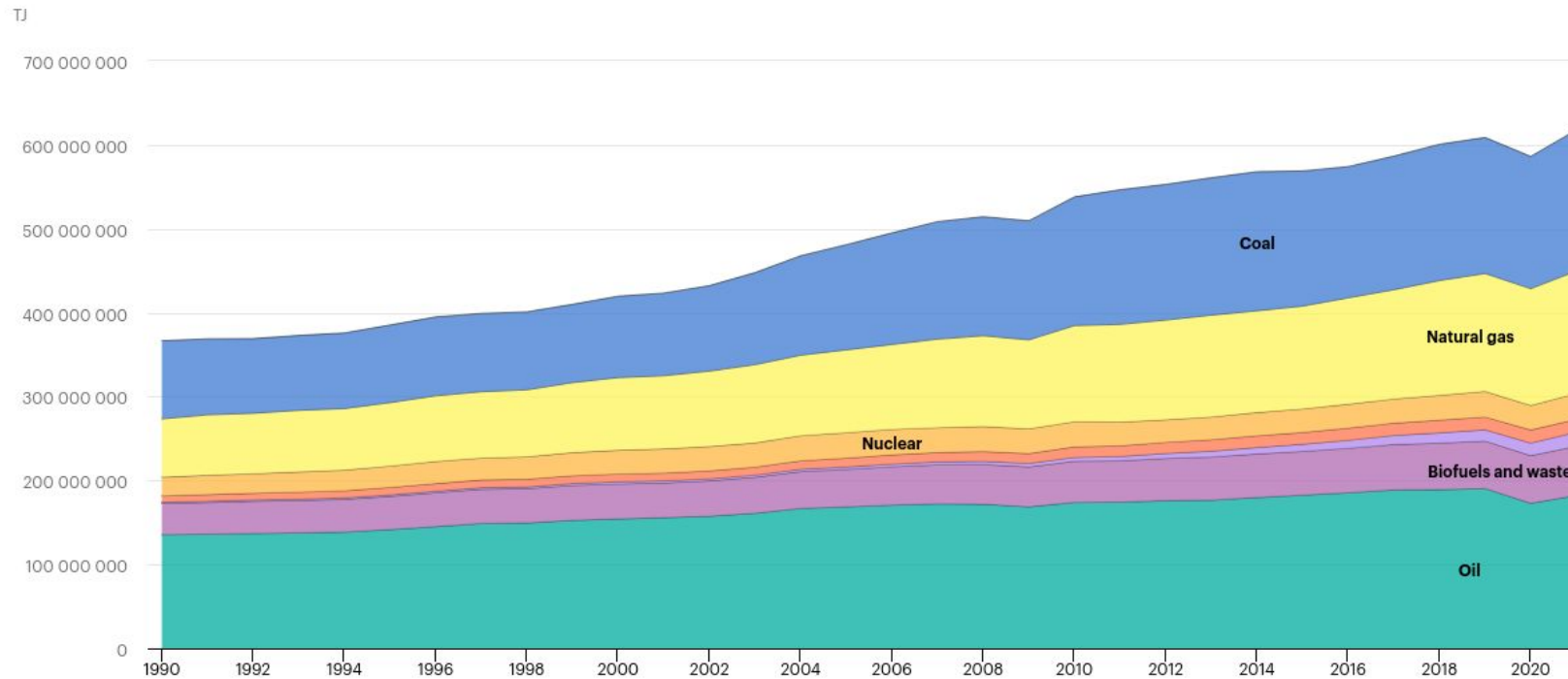
Note: In the absence of more recent data, traditional biomass is assumed constant since 2015.

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]

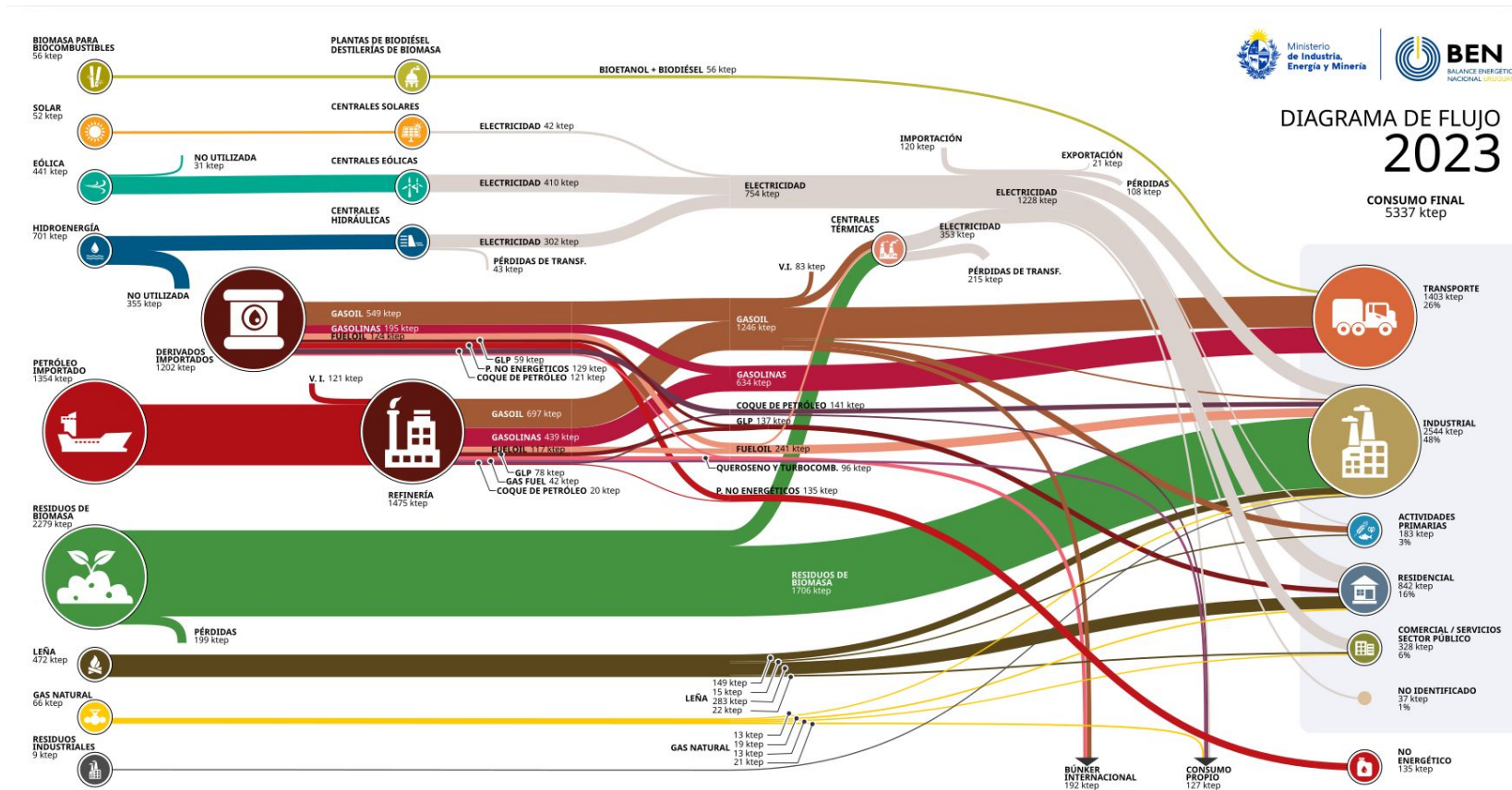
Fuentes de energía - Matriz energética

Consumo de energía total mundial



Fuentes de energía - Matriz energética

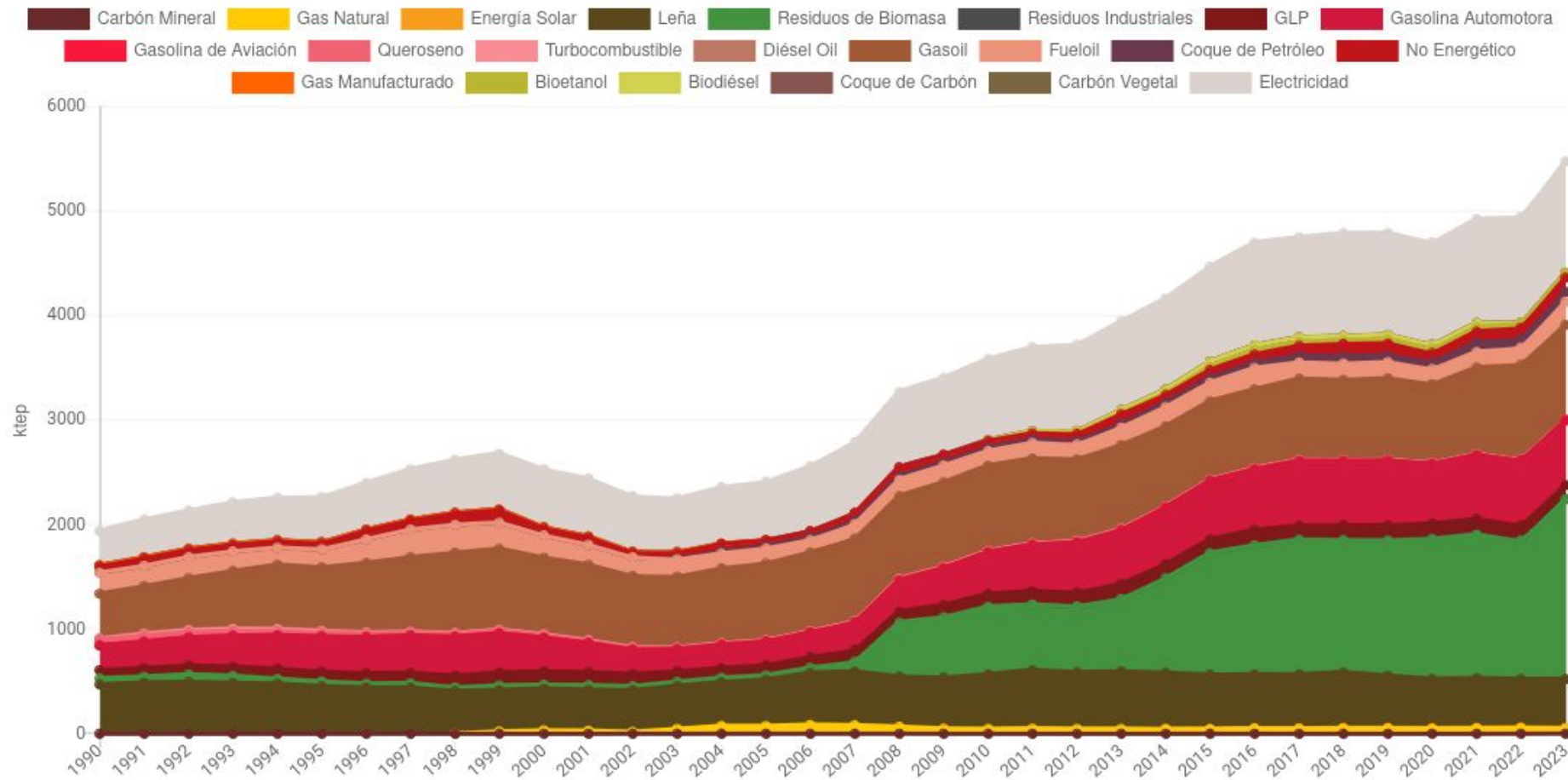
Diagrama de flujo de la Matriz Energética del Uruguay



NOTA: se representan los principales flujos energéticos

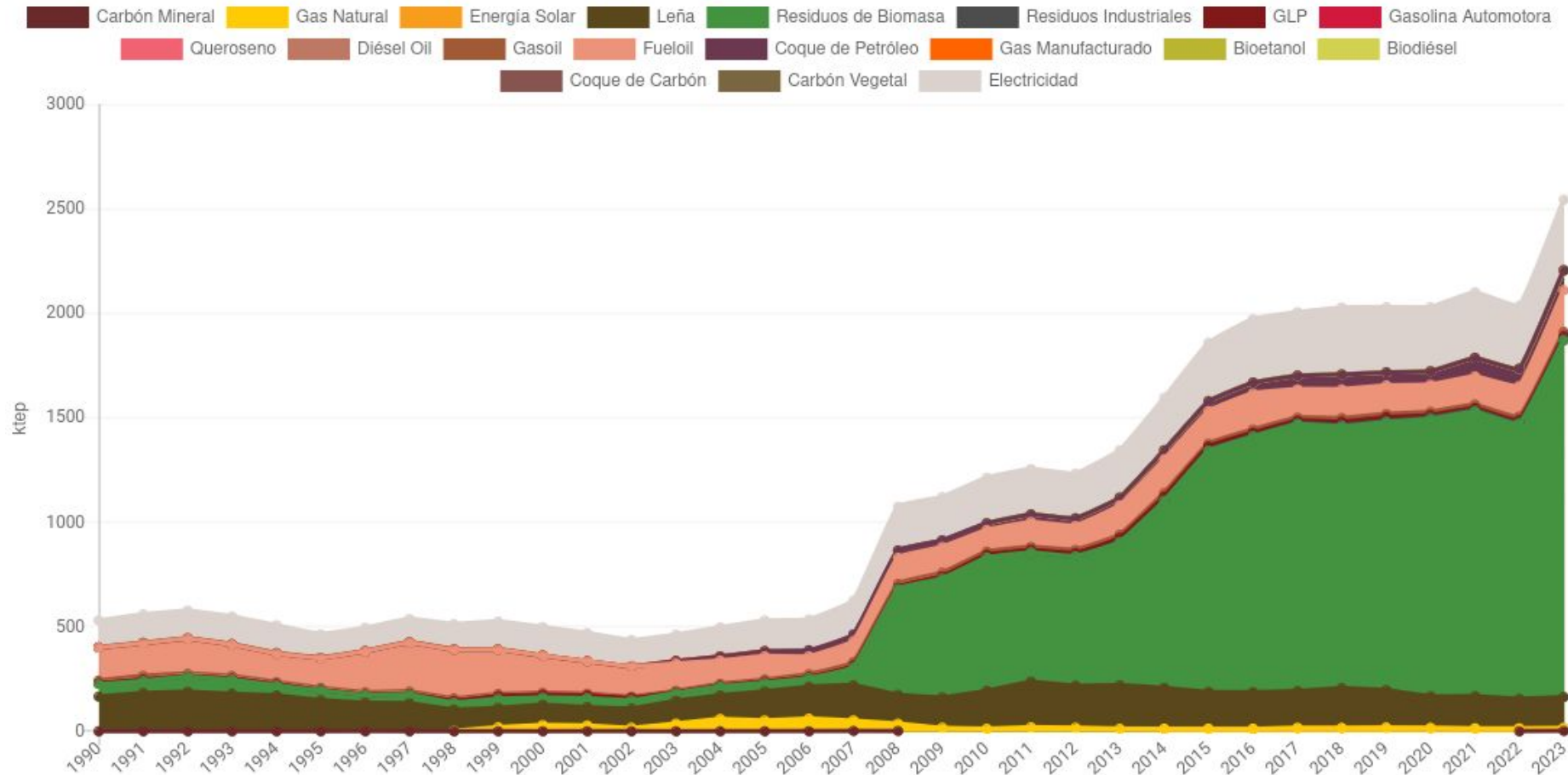
Fuentes de energía - Matriz energética

Consumo de energía por fuente - Uruguay



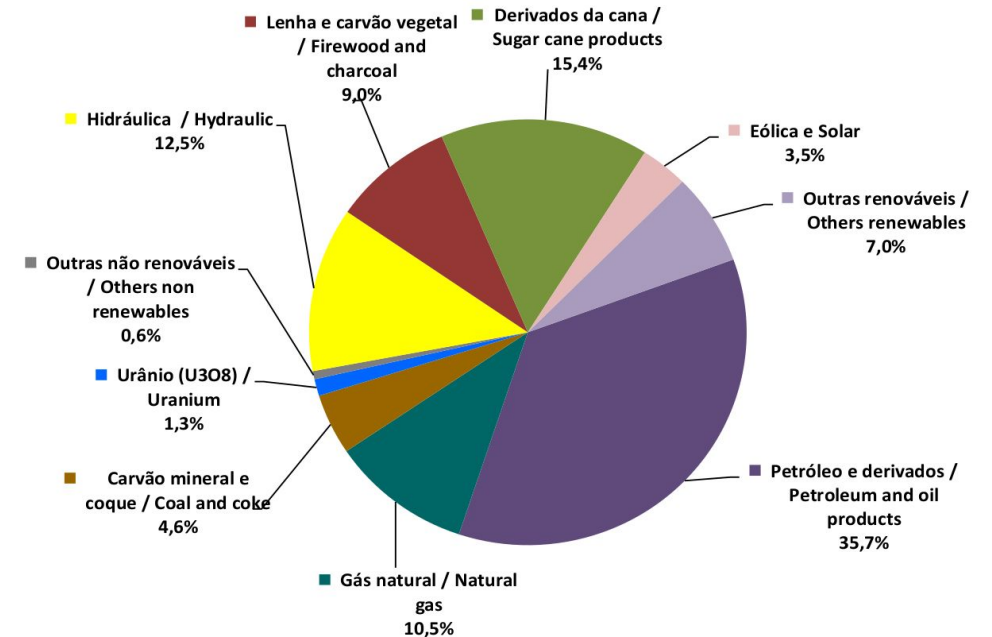
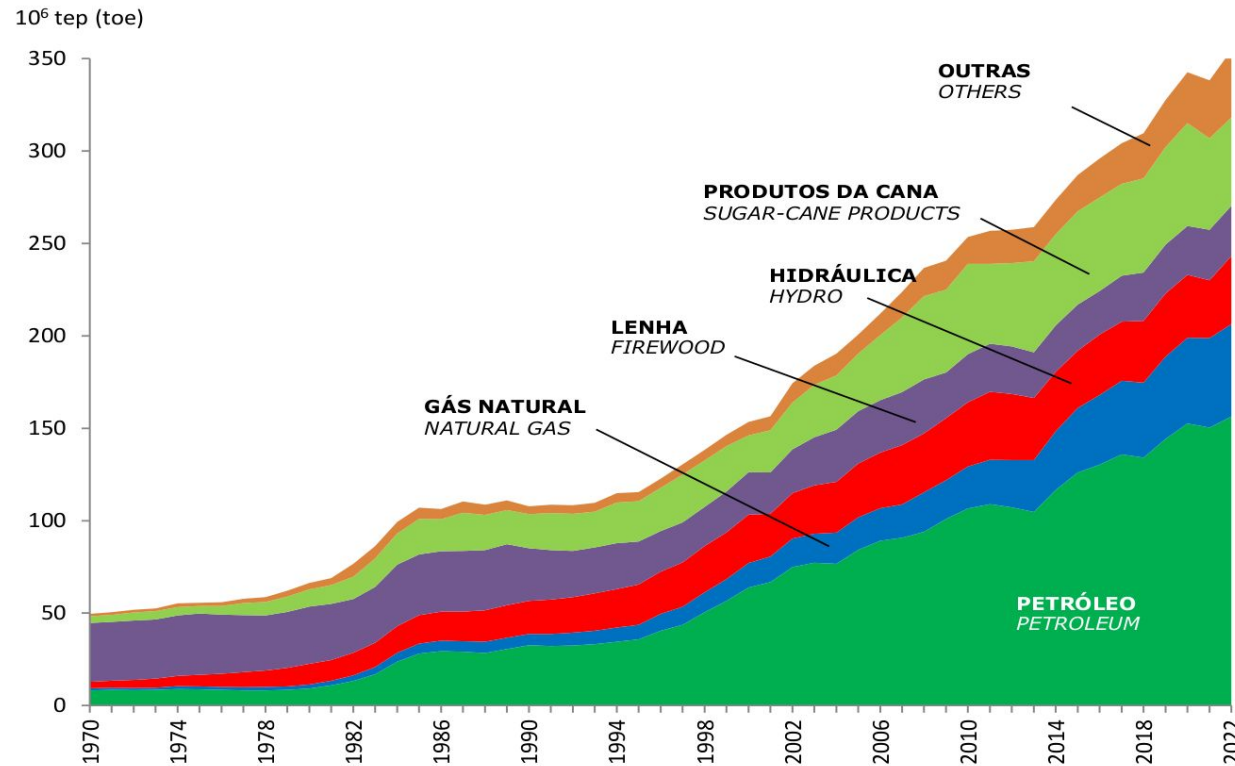
Fuentes de energía - Matriz energética

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 |
| Total | 13,5 | 171,0 | 910,4 | 0,2 | 5,3 | 5,5 | 0,1 | 0,9 | 16,5 | 166,9 | 54,7 | 0,3 | 259,4 | 5,5 | 1.610,3 |

Fuentes de energía - Matriz energética

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

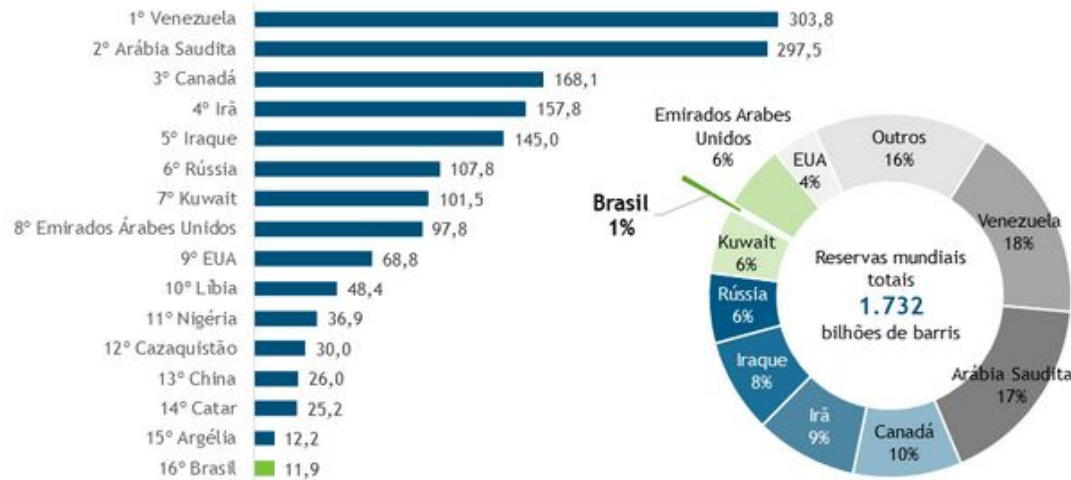
| Usos | GN | LE | RB | SO | SG | GP | GA | KE | GO | FO | CP | CC | EE | OTROS | TOTAL |
|--------------------------|-------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|--------------|------------|--------------|
| 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 |
| Total | 13,5 | 167,0 | 144,0 | 0,2 | 5,3 | 5,5 | 0,1 | 0,9 | 15,1 | 59,2 | 54,7 | 0,3 | 154,7 | 5,5 | 626,1 |

Fuentes de energía - Matriz energética

Petróleo

Maiores reservas provadas de petróleo em 2020

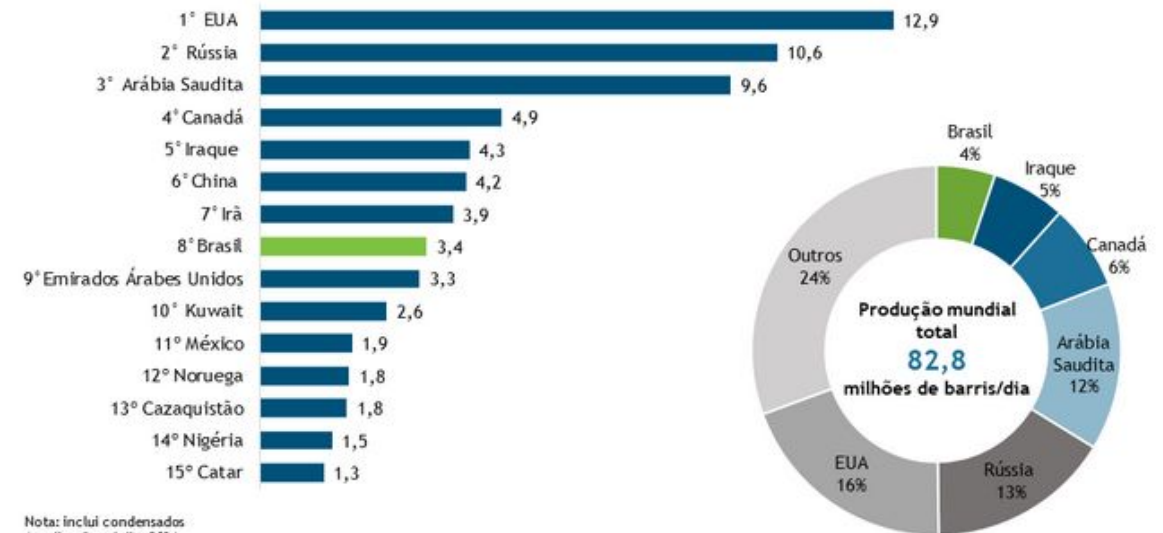
Bilhão de barris



Atualização - Julho 2021
Fonte: Elaboração IBP com dados BP

Maiores produtores de petróleo em 2023

Milhões de barris por dia



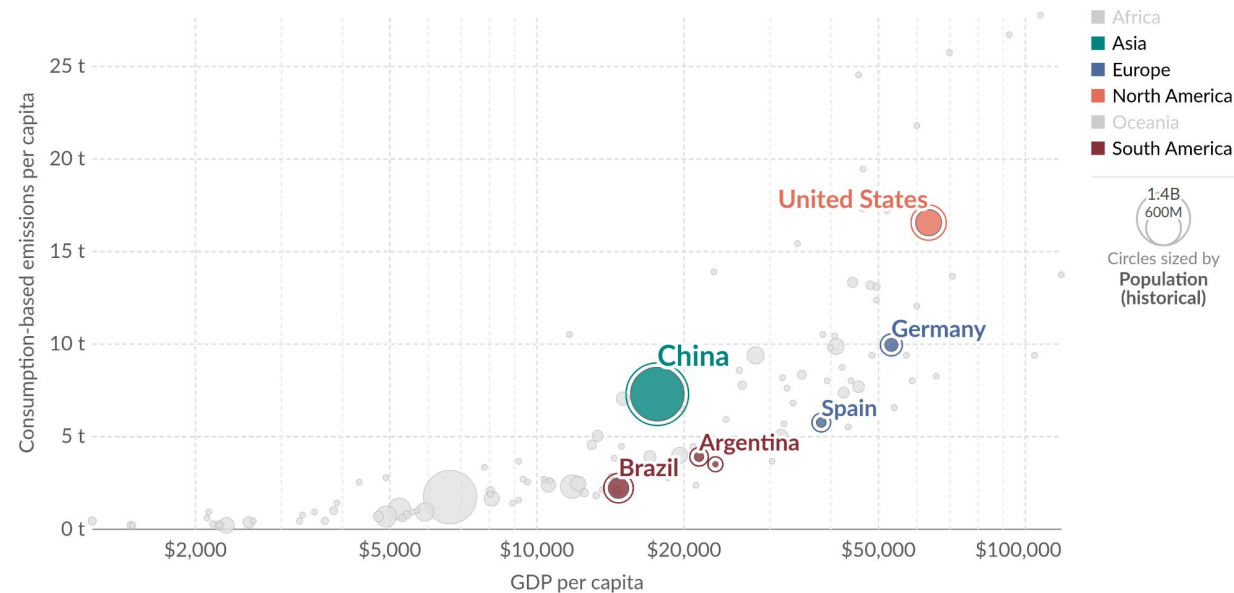
Nota: inclui condensados
Atualização - Julho 2024
Fonte: Elaboração IBP com dados Energy Institute

50 años de reserva

Fuentes de energía - Matriz energética

Consumption-based CO₂ emissions per capita vs. GDP per capita, 2021

Consumption-based emissions¹ 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).



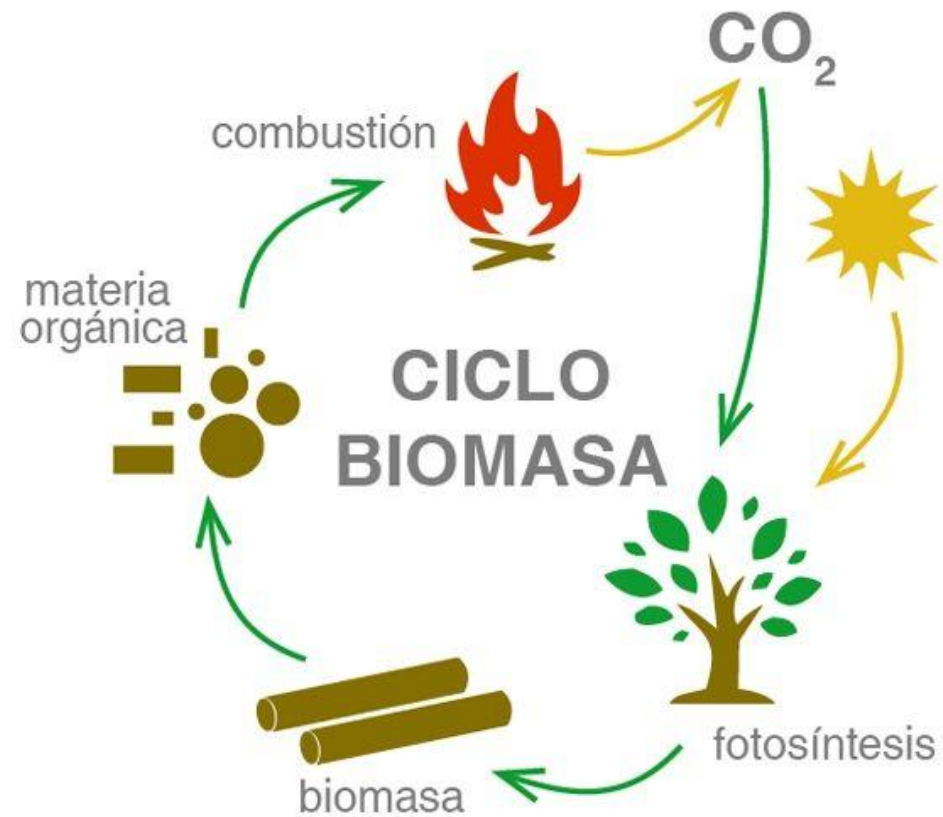
Data source: Global Carbon Budget (2023); Population based on various sources (2023); World Bank (2023)
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

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 CO_2 ”

Biomasa

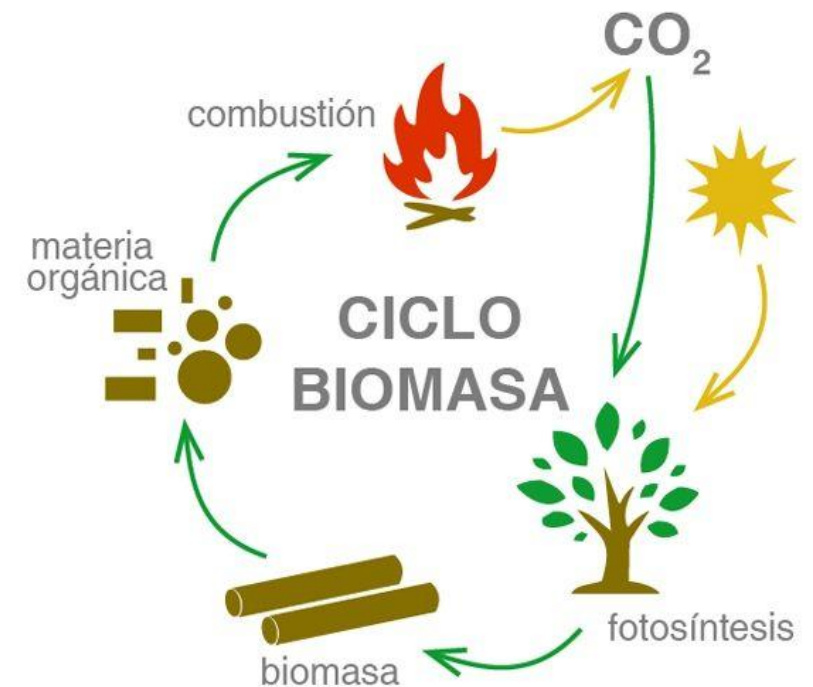


Biomasa

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.

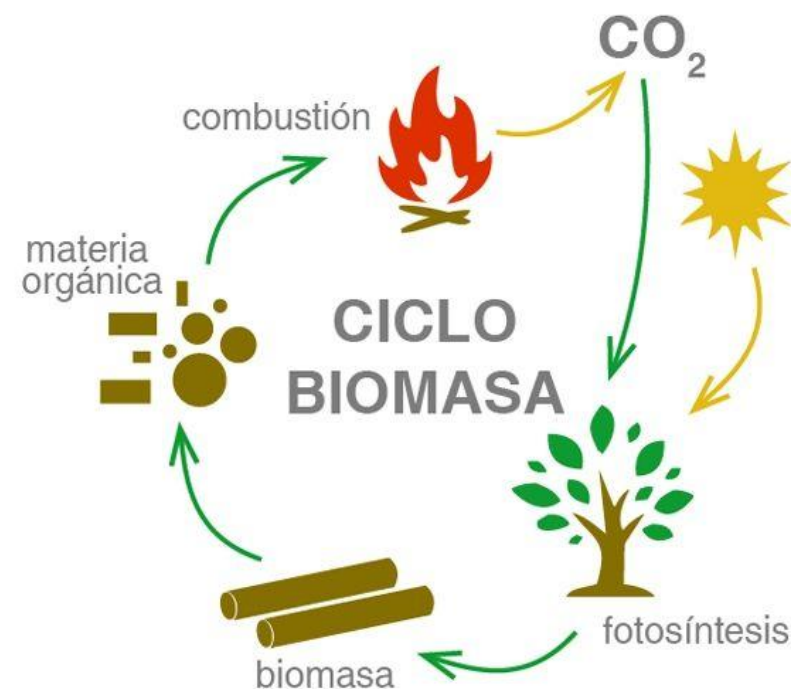


Biomasa

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.

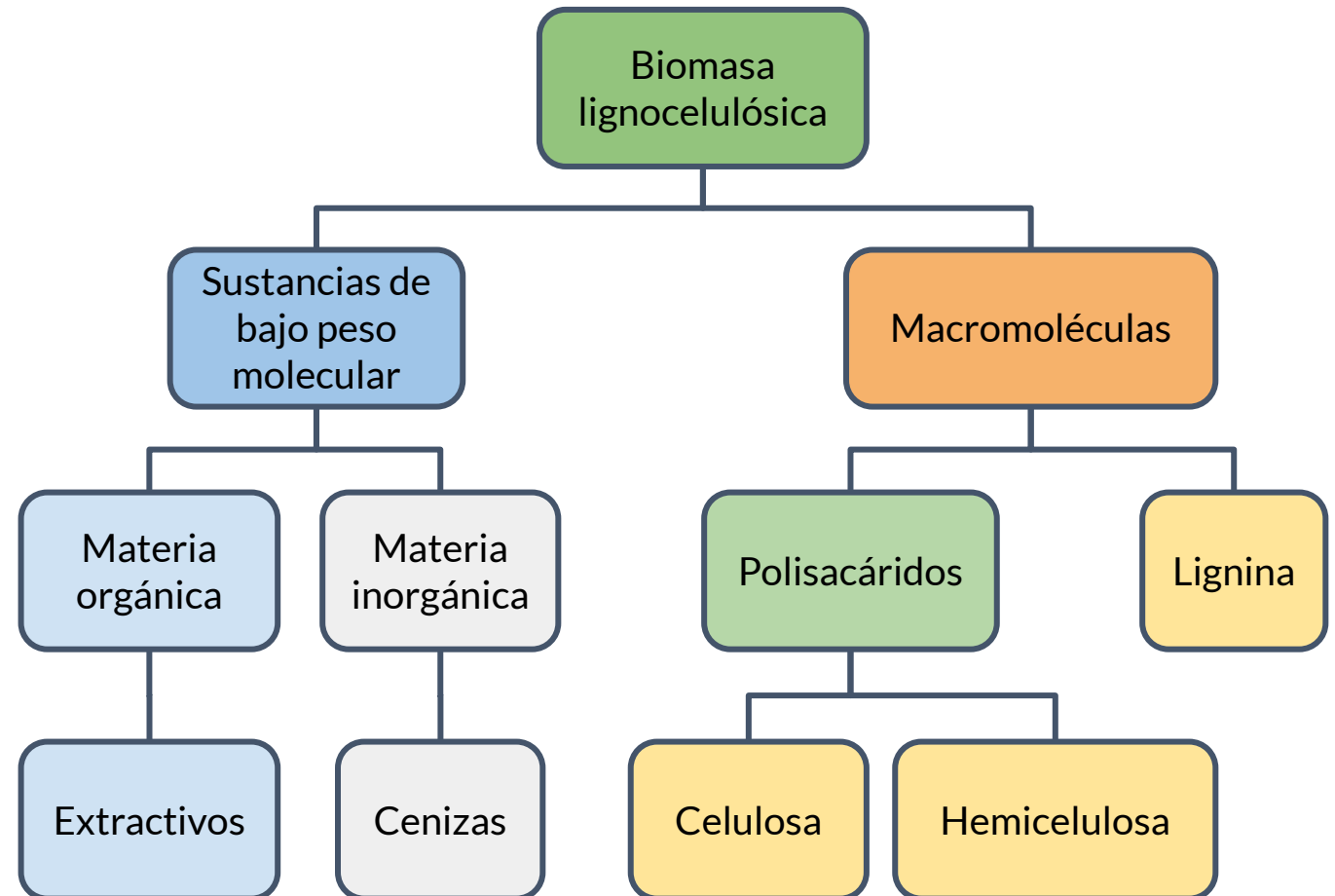


Biomasa

Composición:

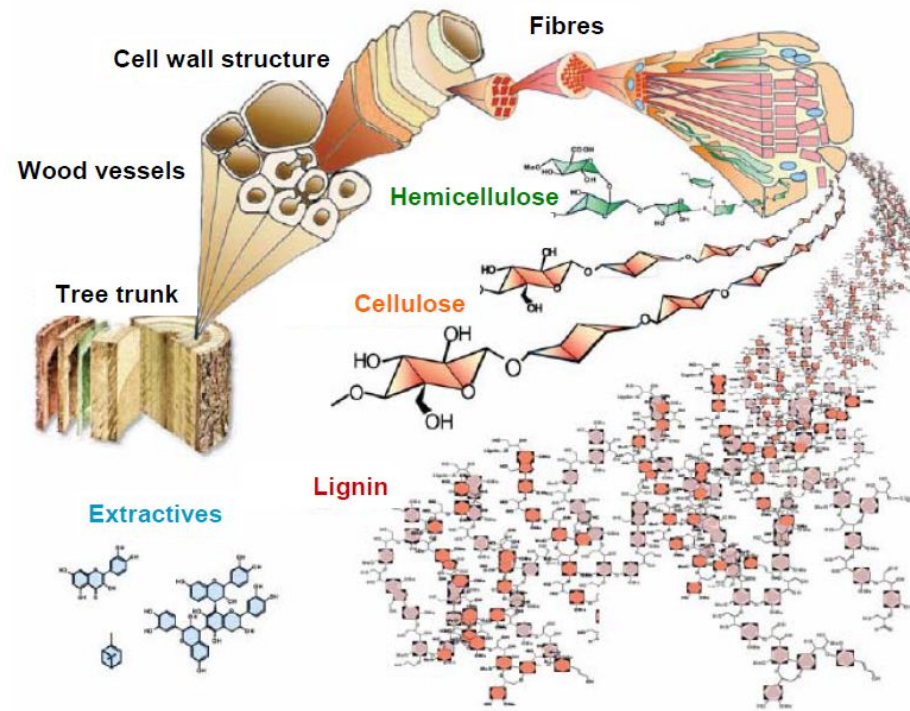
La mayor parte de la biomasa es lignocelulósica, donde la celulosa, hemicelulosa y lignina son sus tres principales constituyentes.

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.

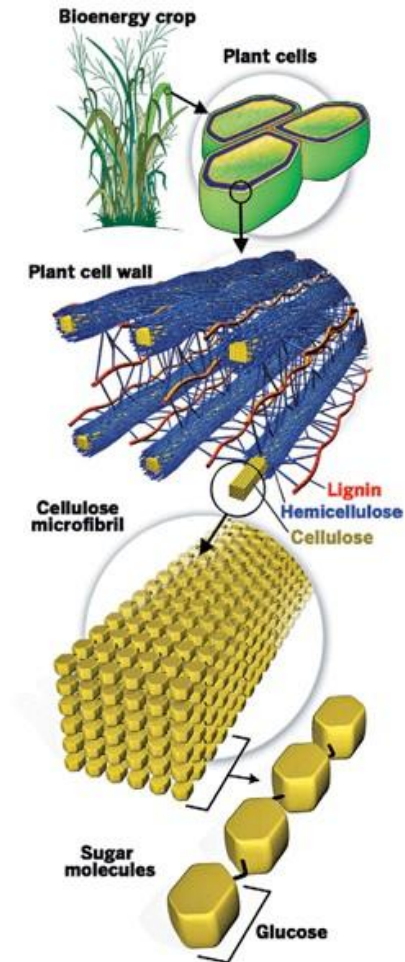


Biomasa

Composición:

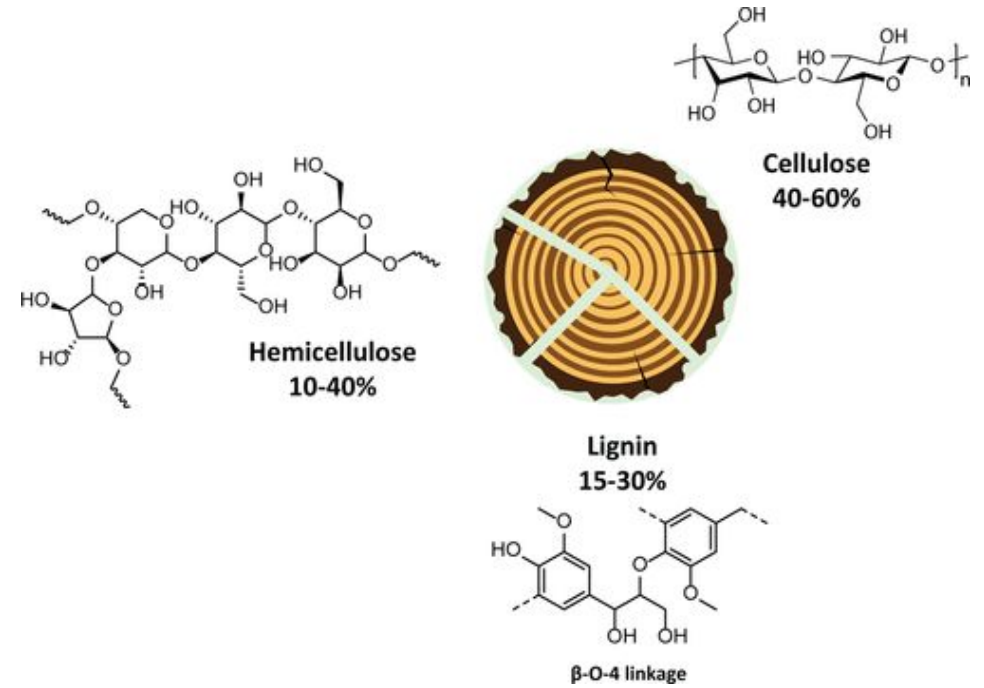
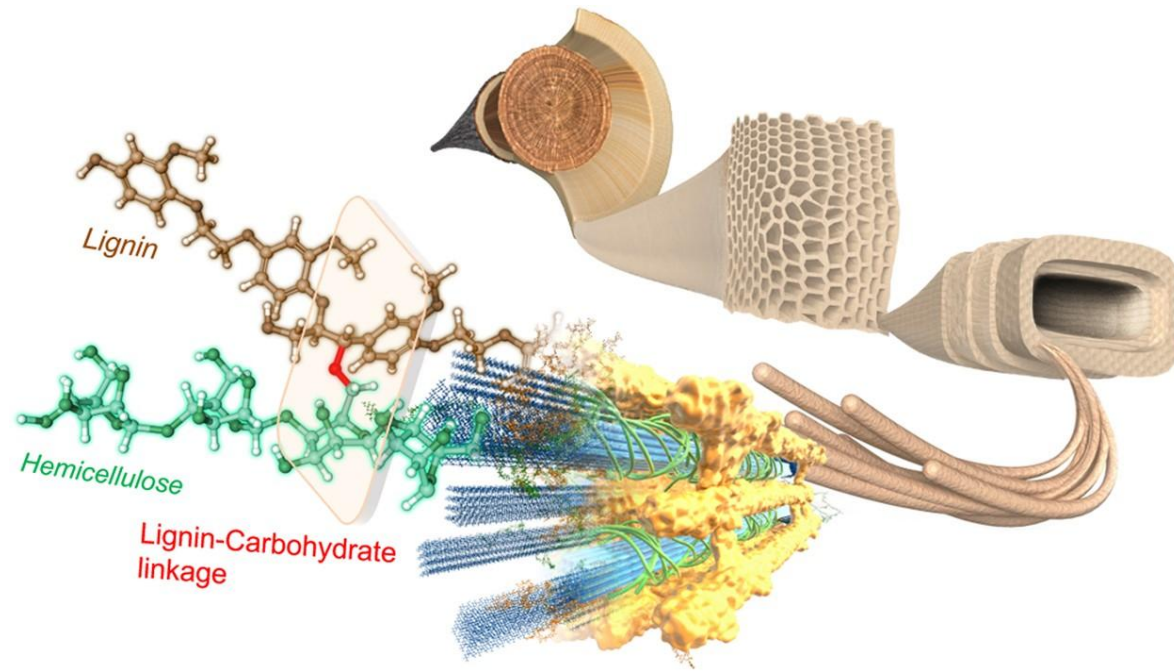


© Per Hoffmann, Oskar Faix and Ralph Lehnen



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 ^{1/} | 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.

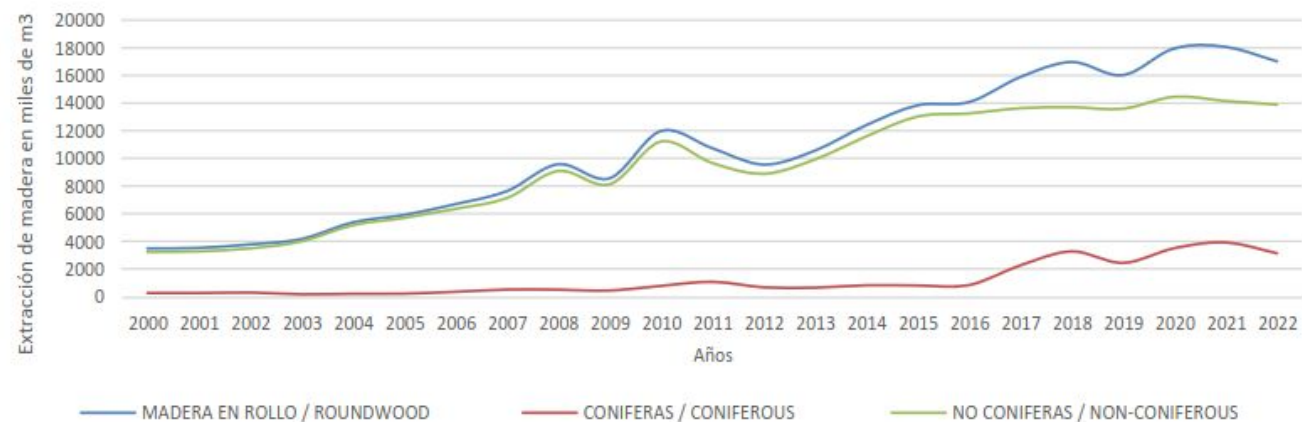
| Especie | Superficie Plantada Estimada (ha.) | % |
|------------------|------------------------------------|--------------|
| E.dunnii | 35.693 | 42,4 |
| E.grandis | 30.506 | 36,3 |
| Otros Eucalyptus | 9.290 | 11,0 |
| E. smithii | 7.915 | 9,4 |
| E.globulus sp | 413 | 0,5 |
| Pinus | 315 | 0,4 |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

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 m³



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 m³/ha.año
Cosecha entre los 8 y 10 años

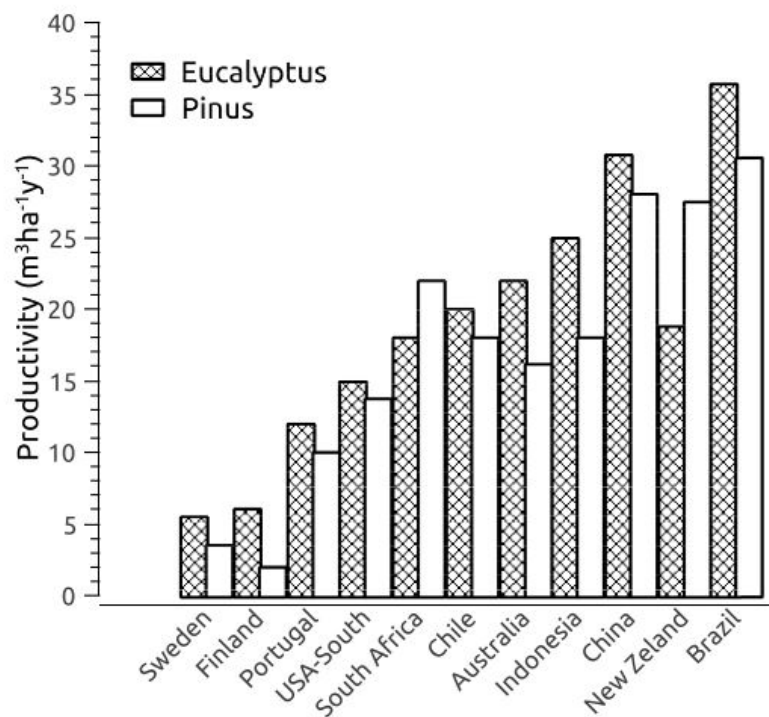


Tabela 2.4: Produtividade Florestal ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ com casca)

| 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

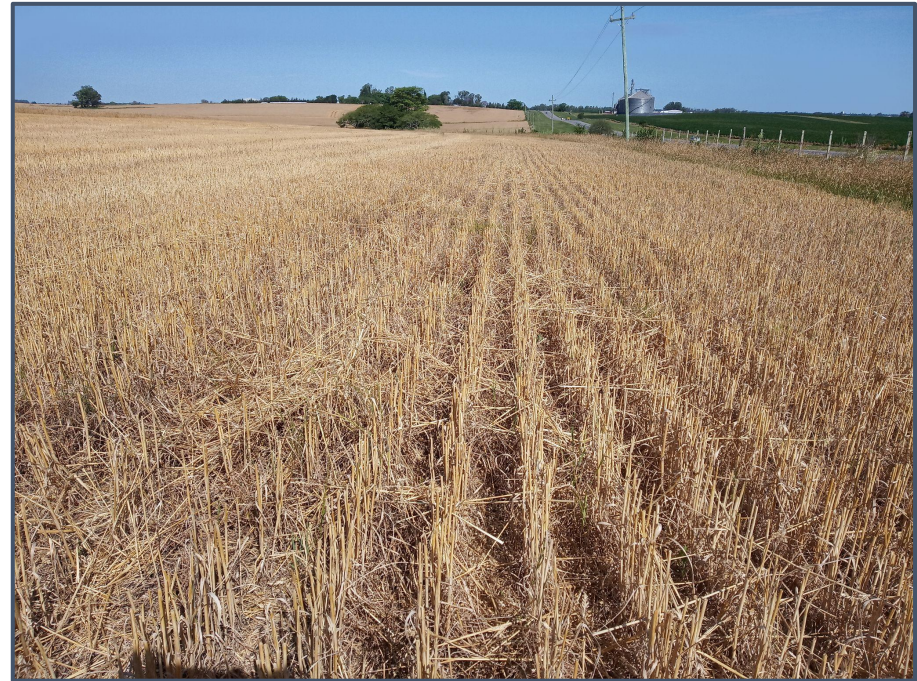


Fuentes / Producción de biomasa

Residuos Agrícolas



Soja



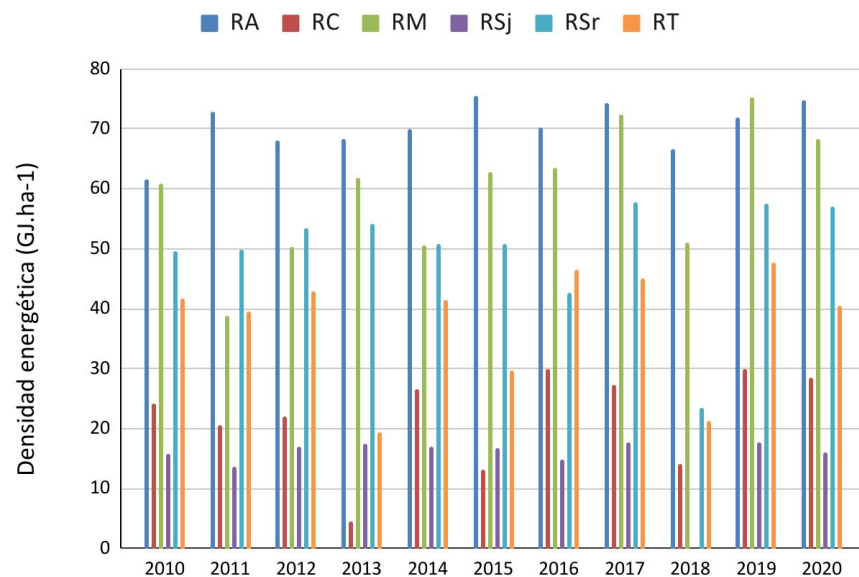
Trigo

Fuentes / Producción de biomasa

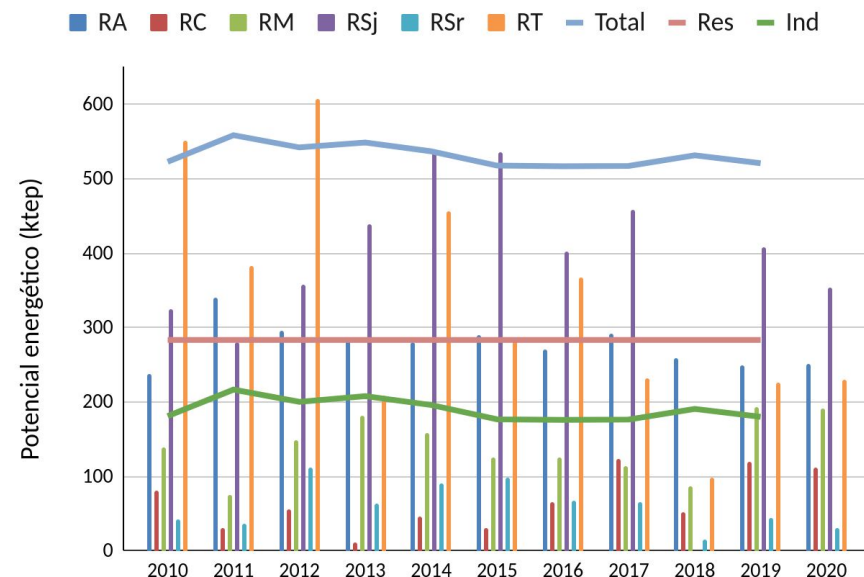
Residuos Agrícolas

Principales cultivos:

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



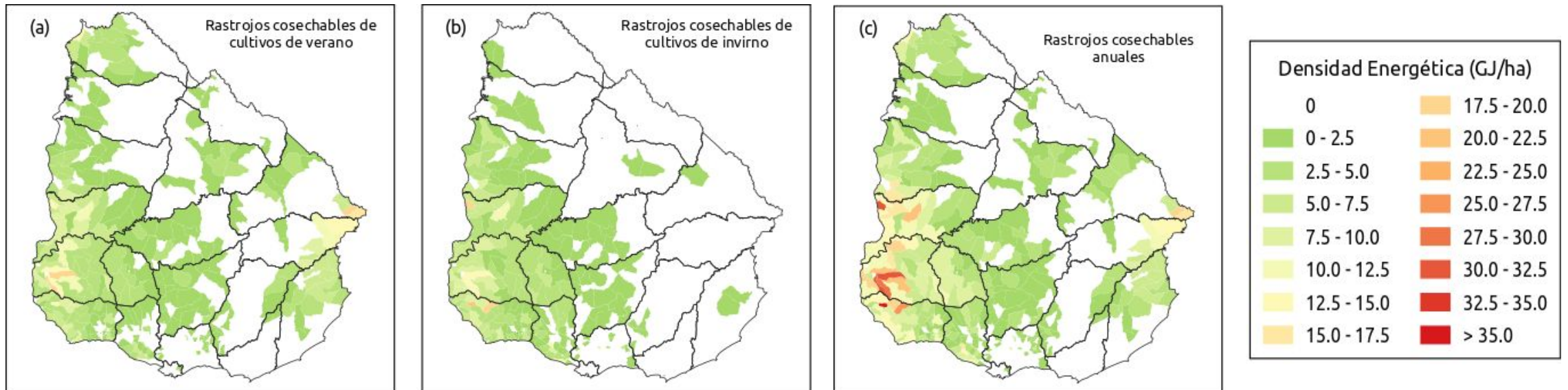
Densidad energética (GJ.ha⁻¹)



Potencial total (ktep)

Fuentes / Producción de biomasa

Residuos Agrícolas: Distribución del potencial



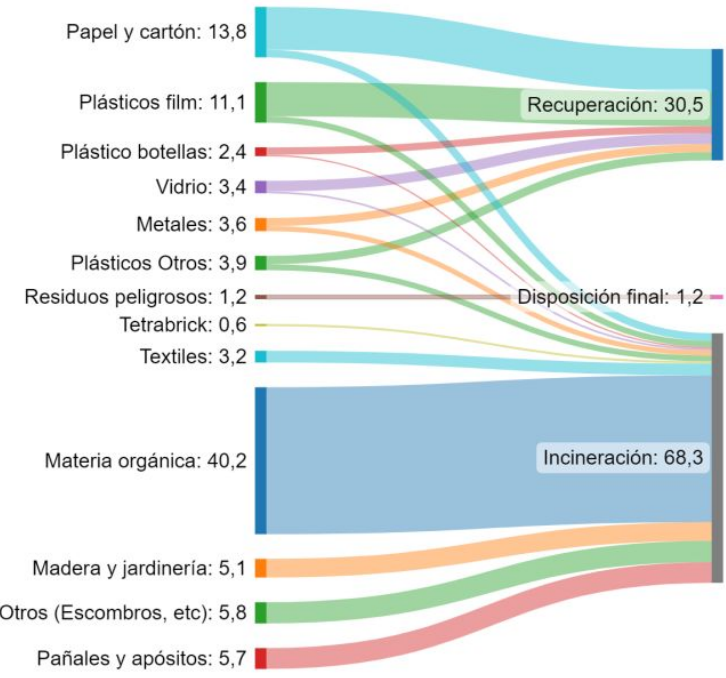
Fuentes / Producción de biomasa

Residuos Sólidos Urbanos

1,27 kg.dia⁻¹.habitante⁻¹



| 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

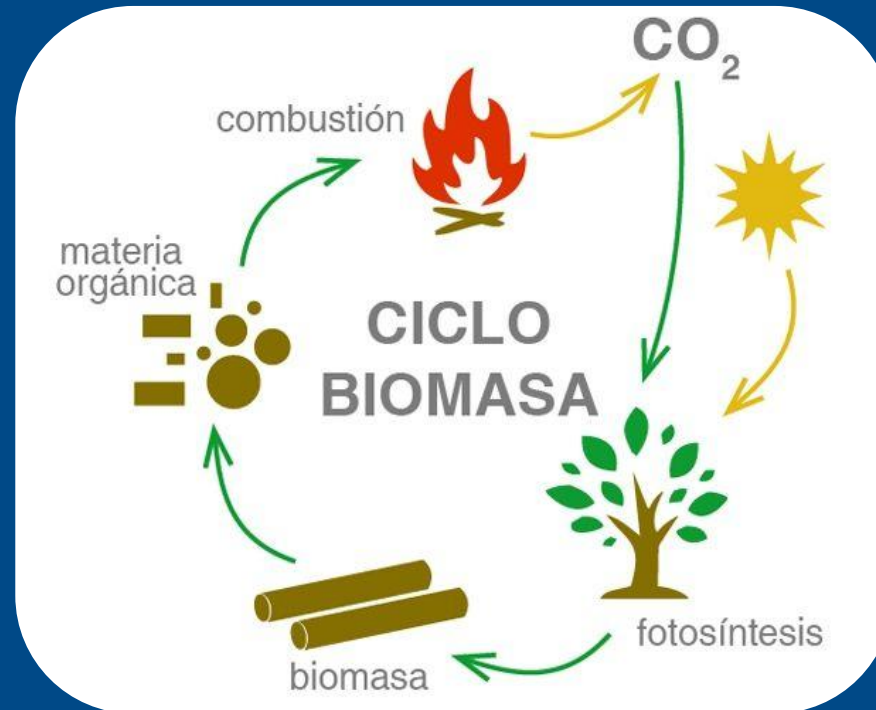
Granos



Caña de azúcar



Análisis de Ciclo de Vida

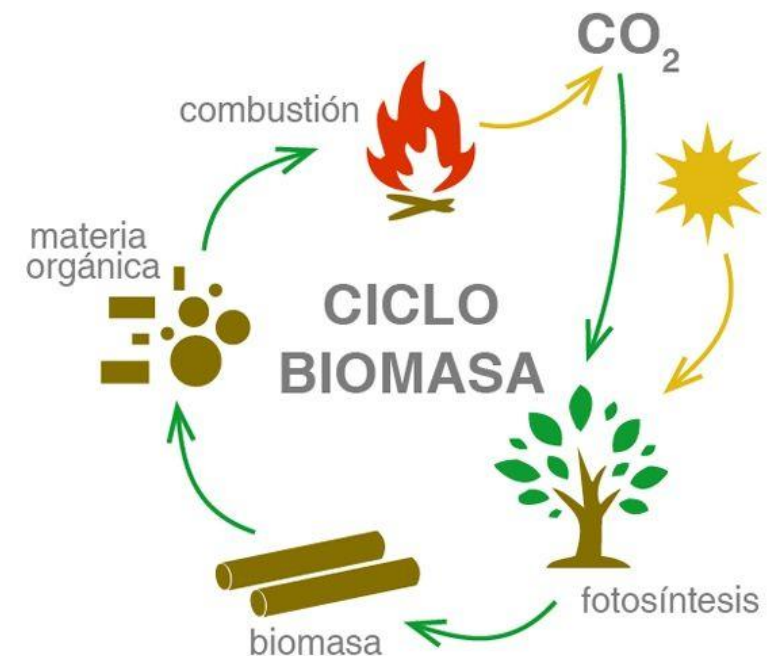


Análisis de Ciclo de Vida

Renovable?

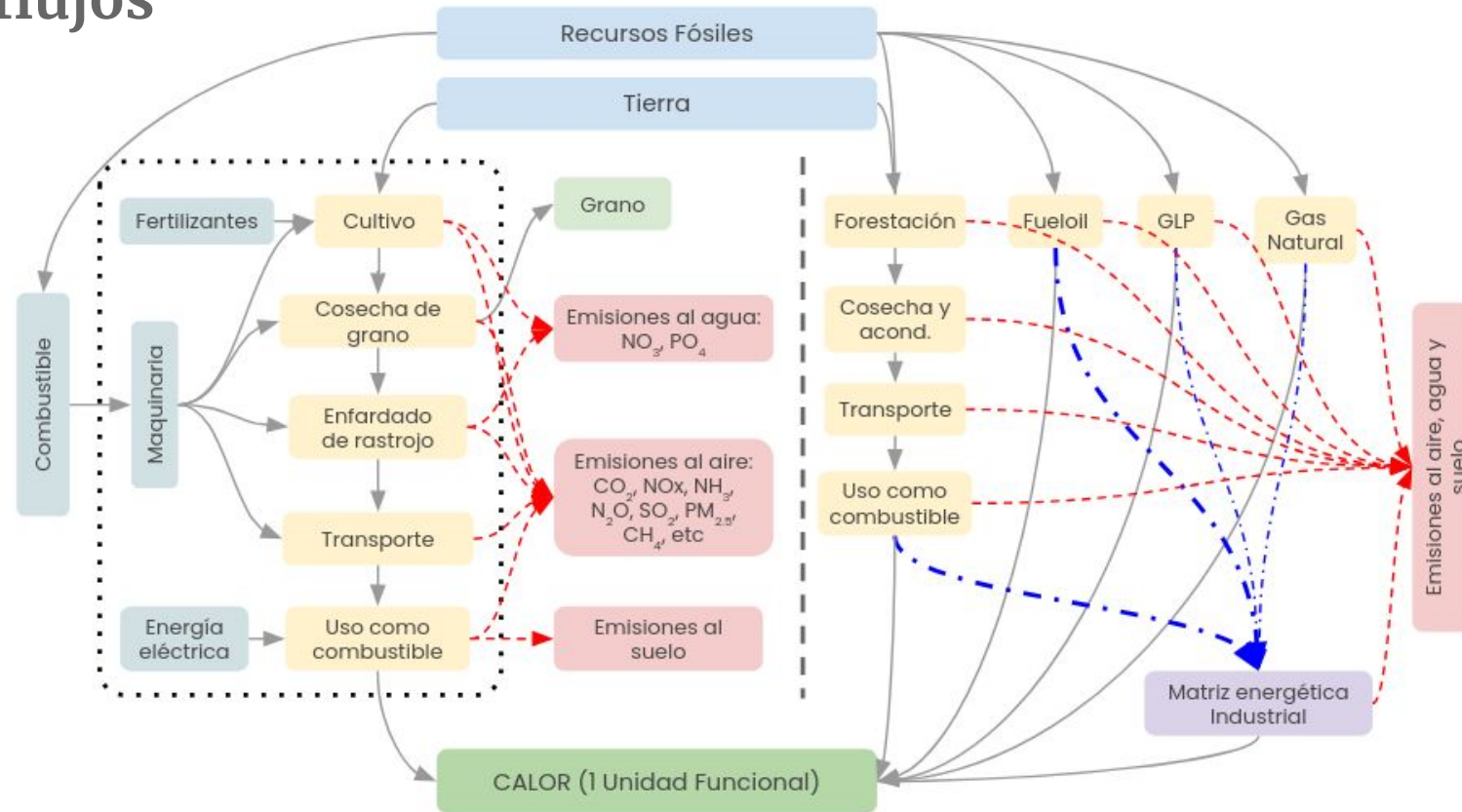
La **biomasa natural** puede considerarse renovable, mientras que la **biomasa como combustible** no es puramente renovable debido al uso de fuentes de energía no renovable para su generación.

- Las **emisiones netas** de CO_2 del ciclo de vida **no** son nulas.
- Además genera otros impactos negativos sobre el ambiente.



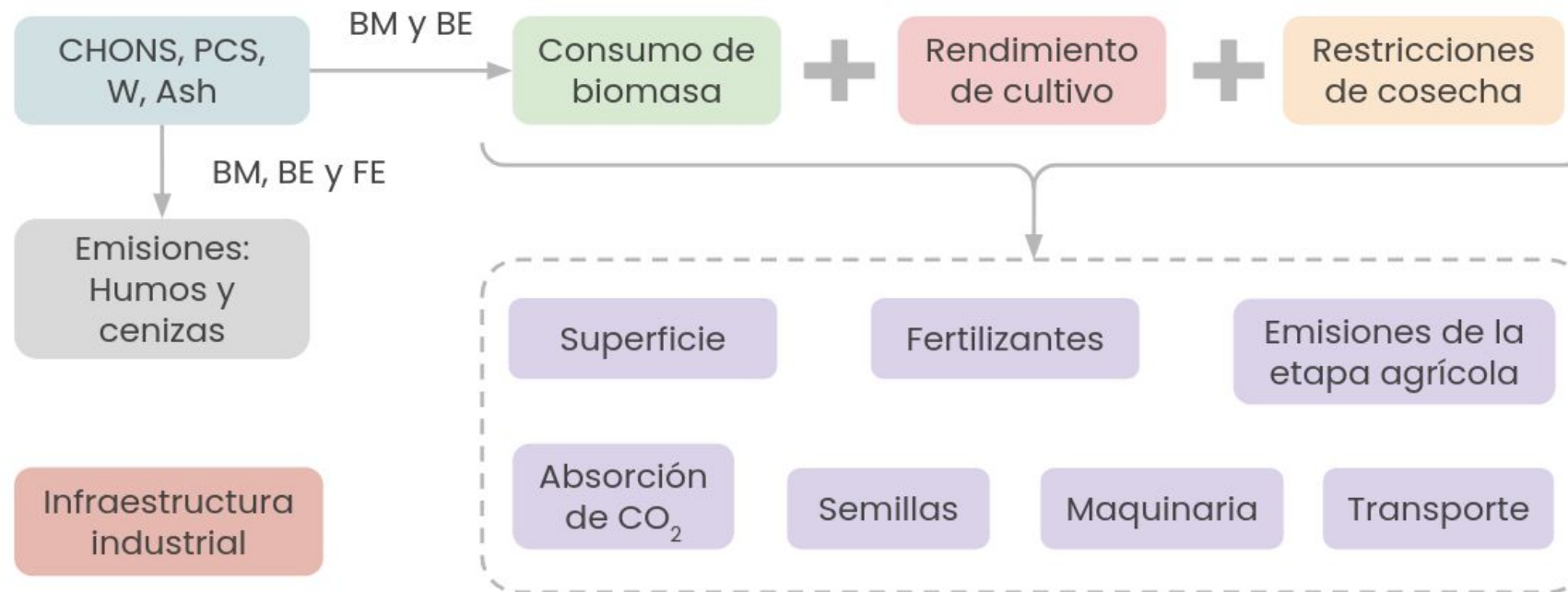
Análisis de Ciclo de Vida

Diagrama de flujos



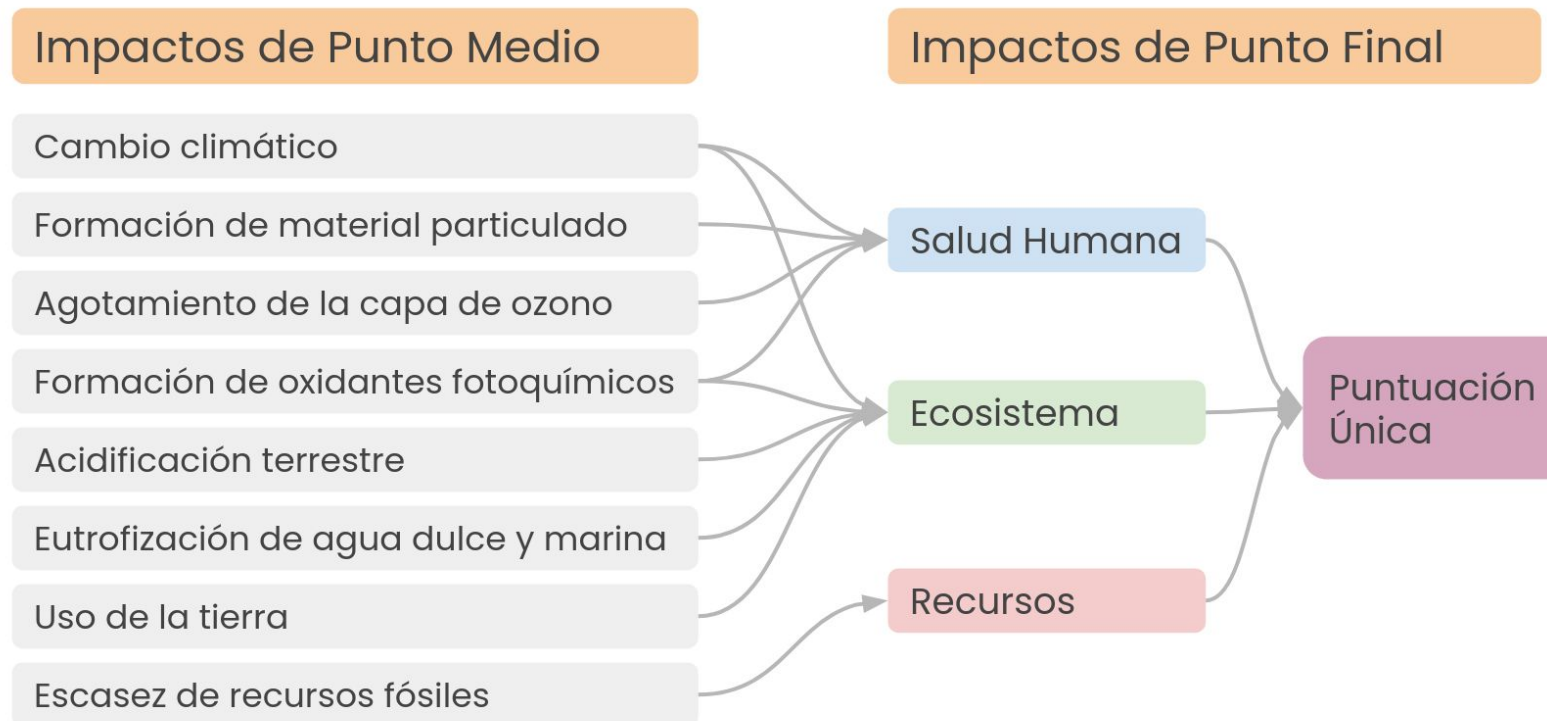
Análisis de Ciclo de Vida

Inventario de extracciones y emisiones



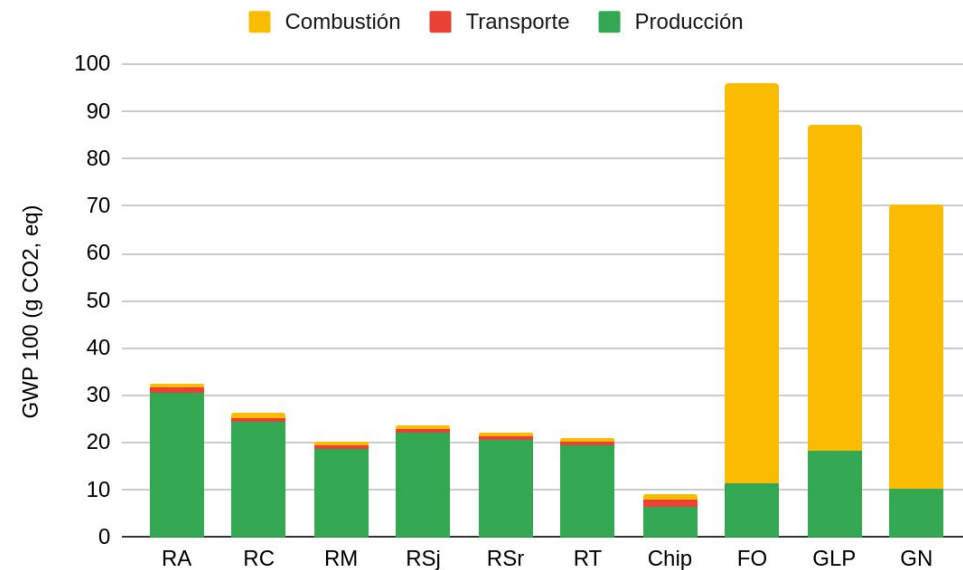
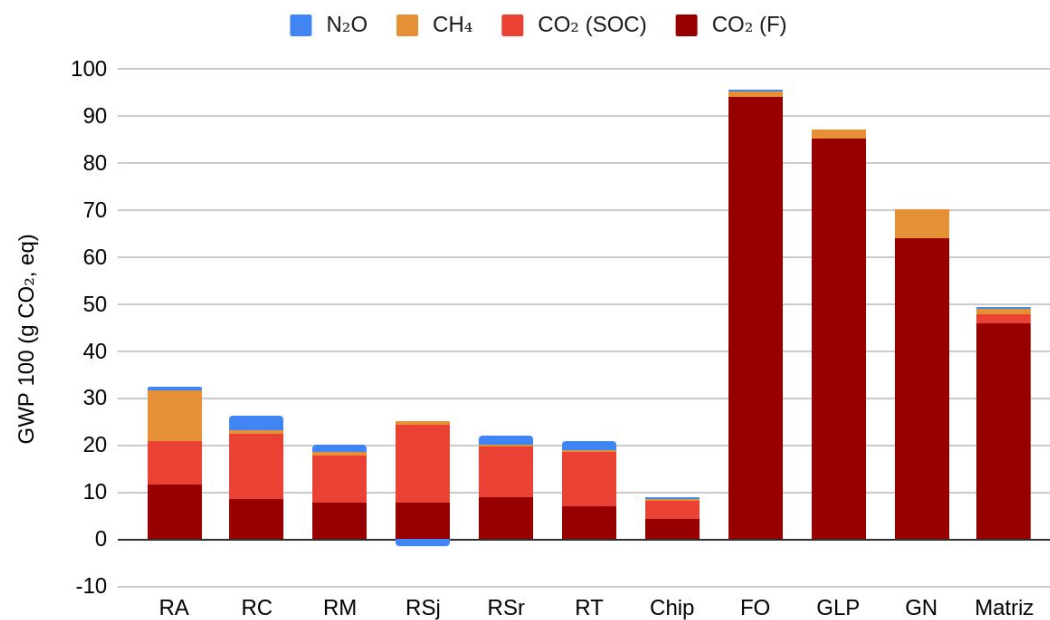
Análisis de Ciclo de Vida

Impactos: ReCiPe 2016



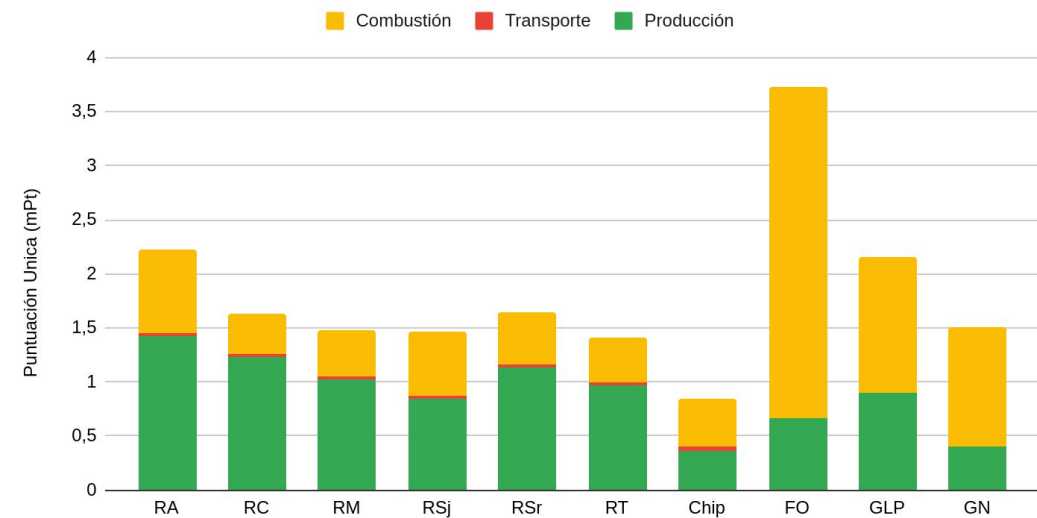
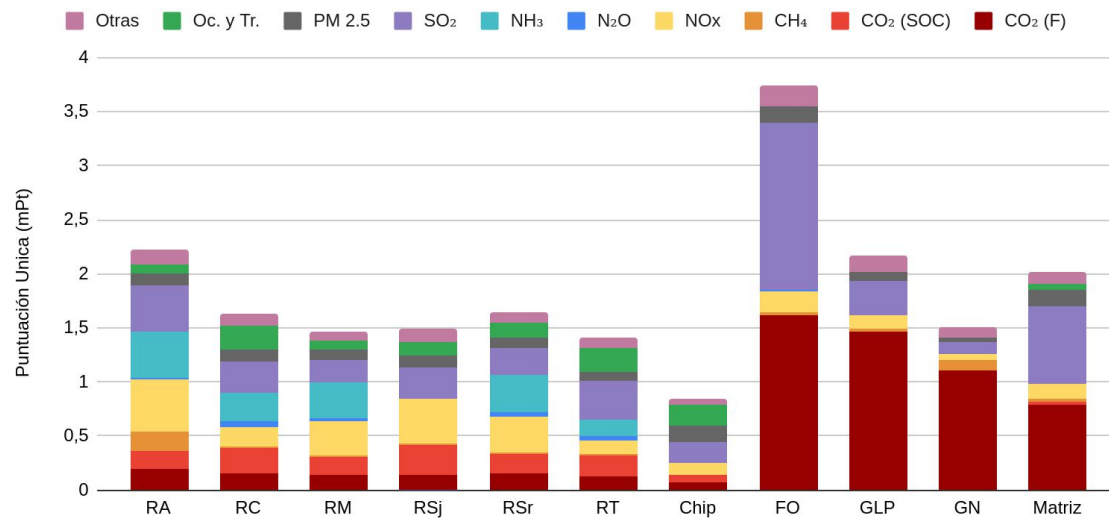
Análisis de Ciclo de Vida

Impactos: Cambio climático

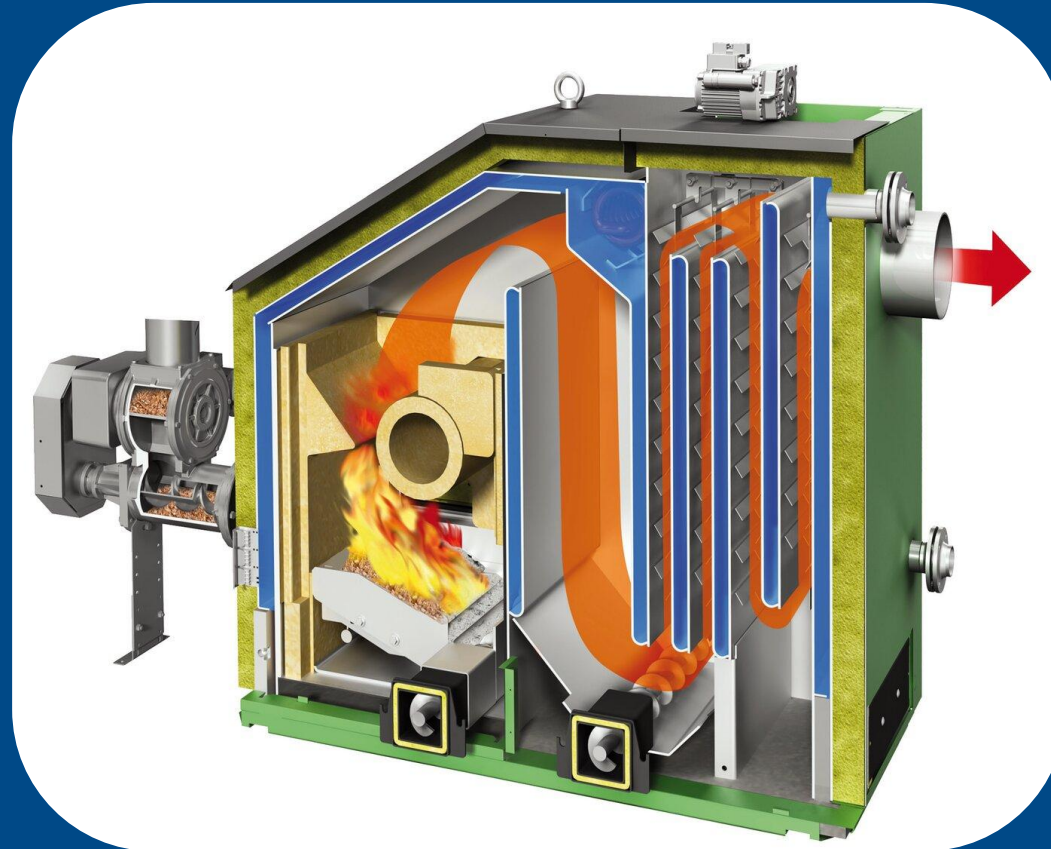


Análisis de Ciclo de Vida

Impactos: Puntuación Unica



Usos de la biomasa con fines energéticos

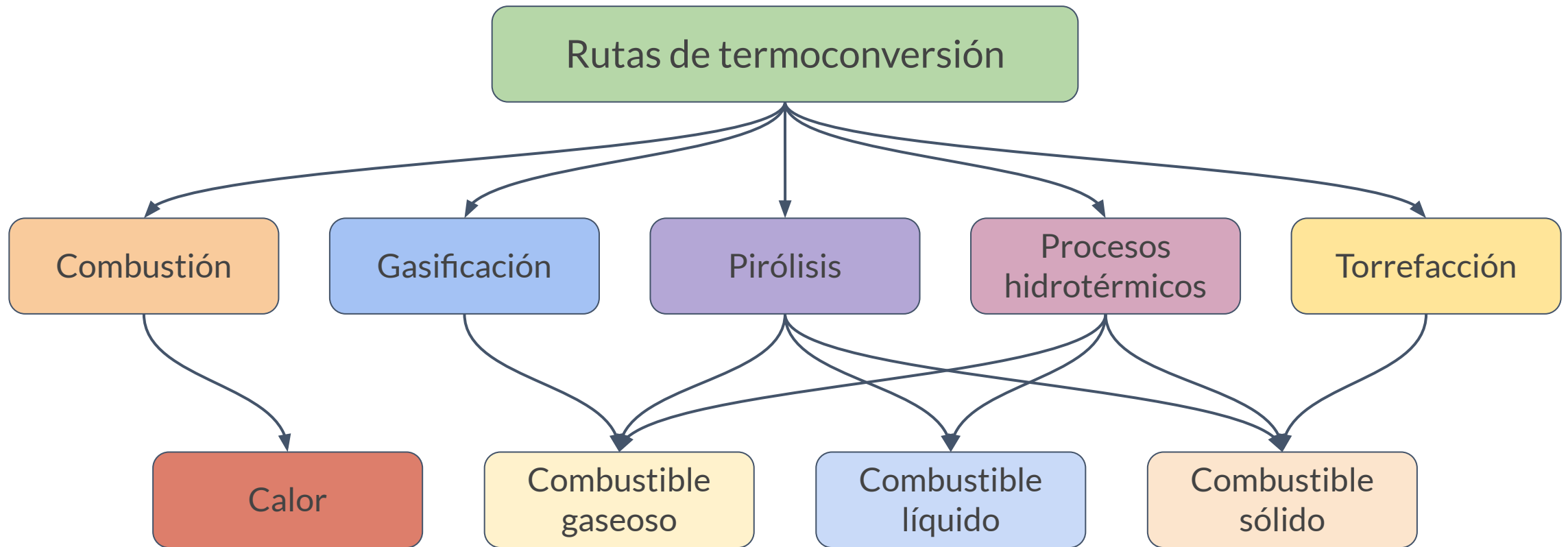


Usos de la biomasa con fines energéticos

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 ₂ 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 ₄ , CO ₂ , NO _x , SO _x , 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

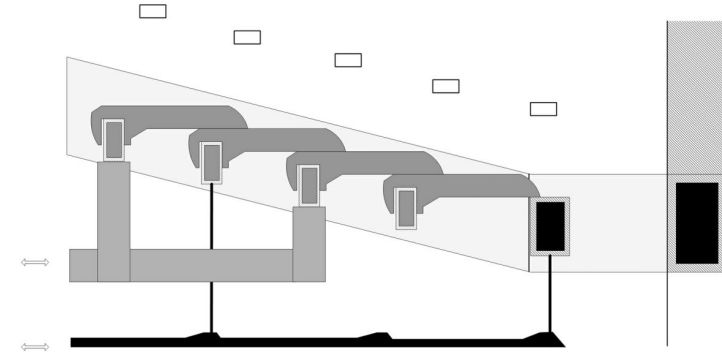
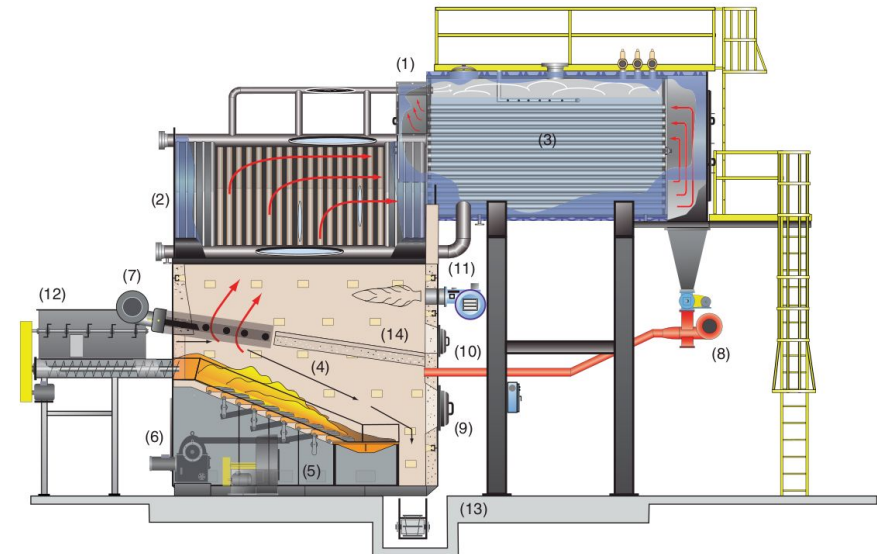
Combustión

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.



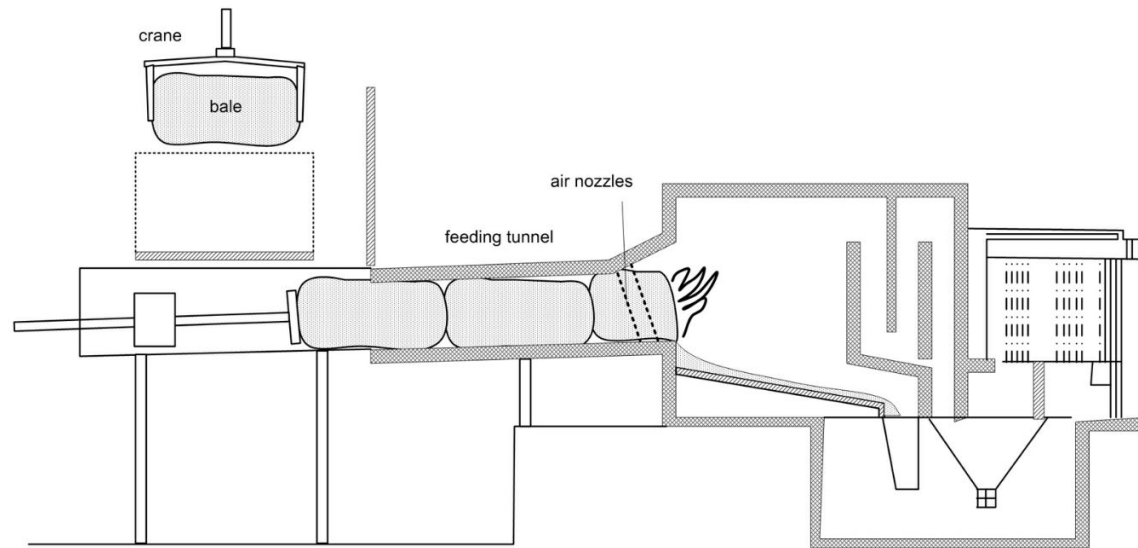
Usos de la biomasa con fines energéticos

Sistemas de combustión: Lecho fijo



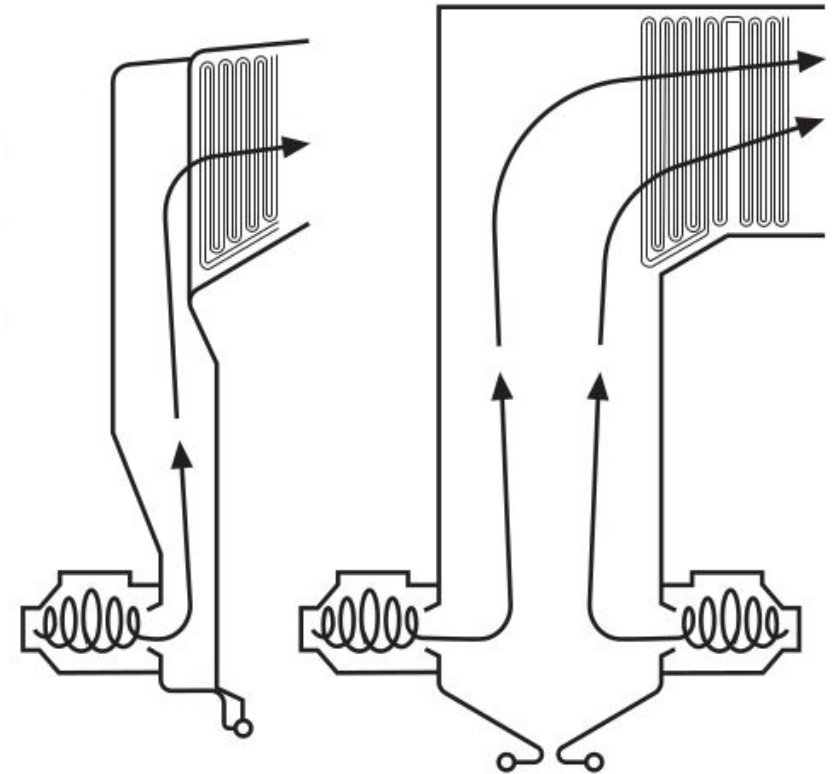
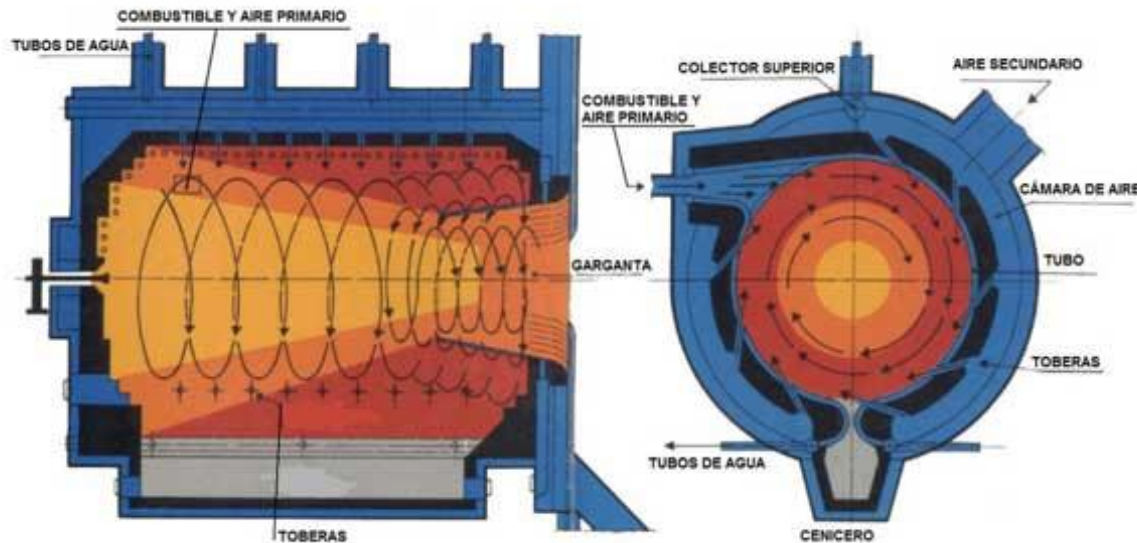
Usos de la biomasa con fines energéticos

Sistemas de combustión: Quemador tipo cigarro



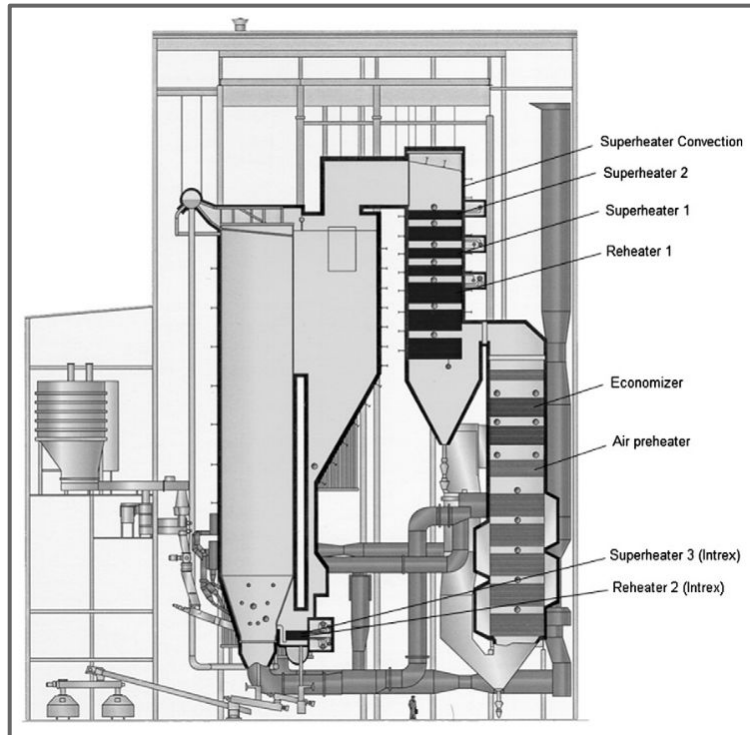
Usos de la biomasa con fines energéticos

Sistemas de combustión en suspensión



Usos de la biomasa con fines energéticos

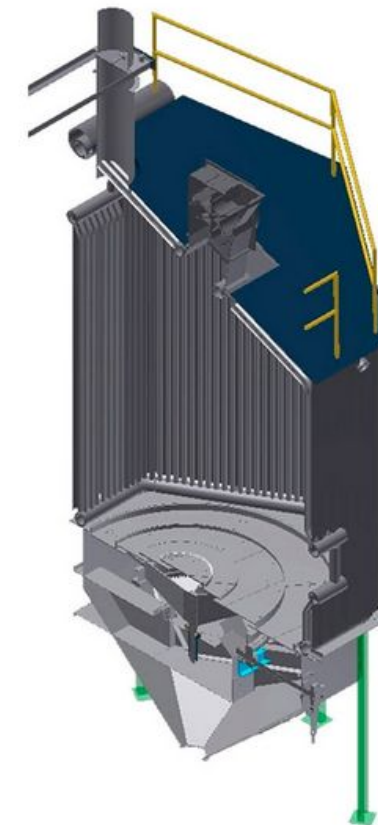
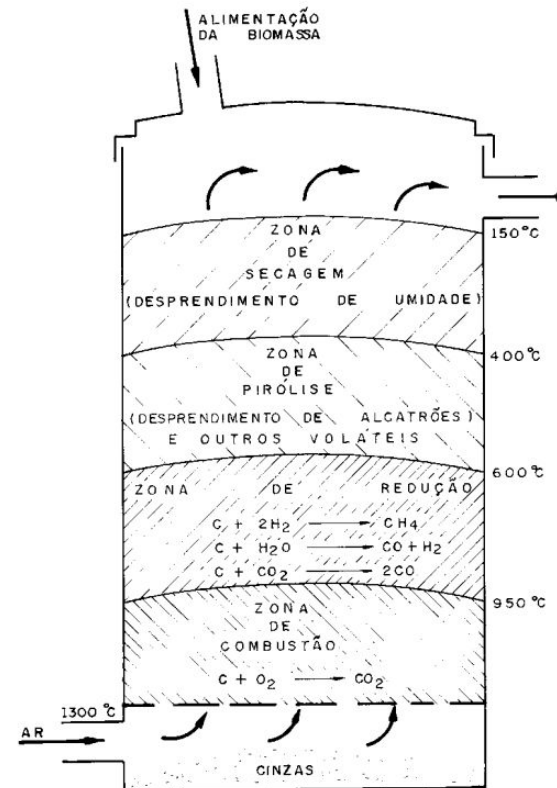
Sistemas de combustión: Lecho fluidizado



Usos de la biomasa con fines energéticos

Gasificación

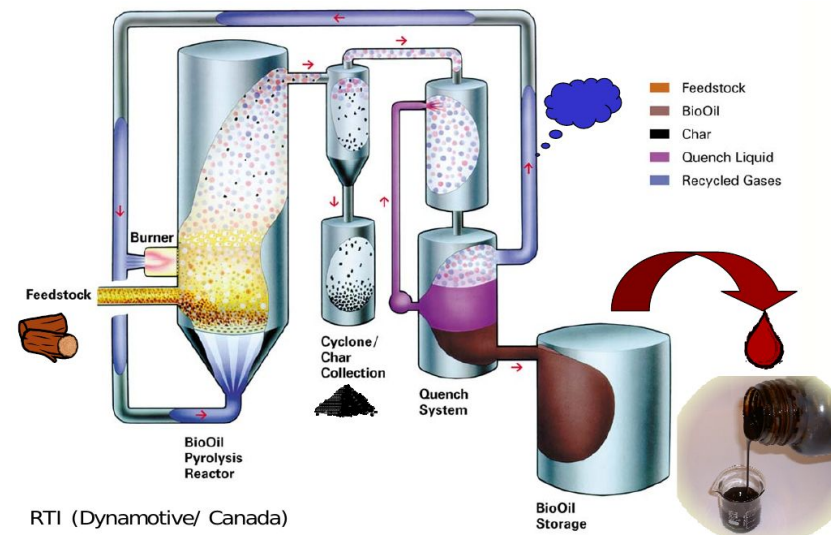
Oxidación de sólidos carbonosos rica en combustible (**exceso de aire negativo**), en un rango específico de temperatura (600 a 1200°C), teniendo como principales **productos combustibles gaseosos** como CO, H₂, CO₂ y CH₄. Los gases tienen la versatilidad de ser empleados como combustible en MCI, turbinas de gas o combustión directa.



Usos de la biomasa con fines energéticos

Pirólisis

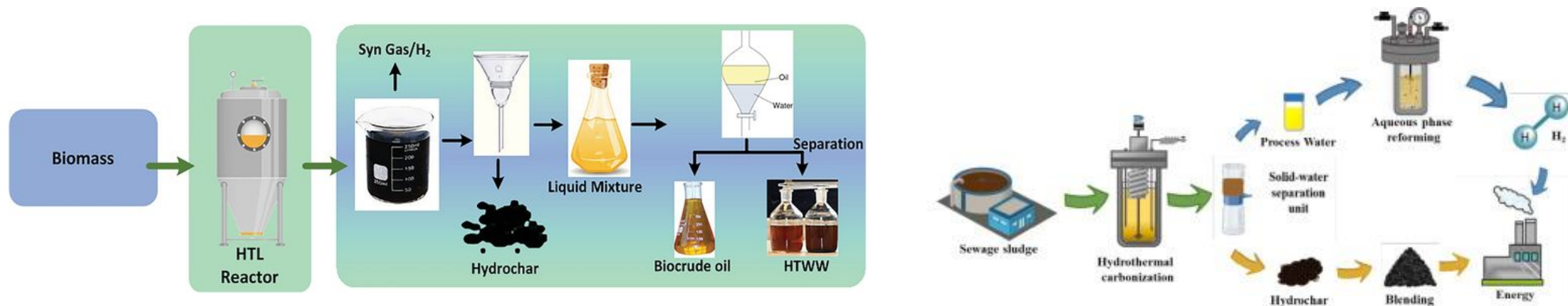
Es el proceso de **descomposición termoquímica en ausencia de oxígeno** en un rango específico de temperaturas (300 a 650°C). Los principales productos son **carbón vegetal**, gases condensables y no condensables. Los principales gases no condensables son CO , CO_2 , CH_4 y H_2 . Los gases condensables 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.