



*Liberté • Égalité • Fraternité*

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

COOPERACIÓN REGIONAL  
PARA LOS PAÍSES ANDINOS

*SEMINARIO INTERNACIONAL*

# **LAS ENERGÍAS RENOVABLES HOY**

## **PERSPECTIVAS DE COLABORACIÓN ENTRE AMÉRICA LATINA Y EUROPA**

*Sede de la Secretaría General de la Comunidad Andina  
Av. Andrés Aramburú cdra. 4 ,San Isidro  
Lima, 1 y 2 de Marzo del 2012*

**COMUNIDAD  
ANDINA**



**Apoyando**



Institut de recherche  
pour le développement



UNIVERSIDAD  
PERUANA  
CAYETANO  
HEREDIA

*“Las energías renovables hoy: perspectivas de  
colaboración entre América Latina y Europa”*

Lima, 1 y 2 de marzo de 2012

# Biomasa, energía y calentamiento global

Javier Verástegui  
Profesor UNI y UPCH  
Consultor Internacional

# Contenido

- Conceptos de Energía de Biomasa
- Tecnologías energéticas de la biomasa
- Avances en Energía de Biomasa
- Calentamiento global y biomasa
- Iniciativas de cooperación en Bioenergía

# Algunas definiciones conceptuales

- **Biomasa:** Material de origen biológico, como los cultivos energéticos, desechos y subproductos agrícolas y forestales, estiércol o biomasa microbiana. Excluye el material incrustado en formaciones geológicas y transformado en fósil.
- **Biocombustible:** Combustible producido directa e indirectamente con biomasa, como la leña, el carbón, bioetanol, biodiesel, biogás (metano) o biohidrógeno.
- **Bioenergía:** Energía producida con biocombustibles. La bioenergía incluye toda la energía procedente de la madera y de todos los recursos agroenergéticos.
- **Dendroenergía:** Todo tipo de energía obtenida de los árboles (e.g. leña, carbón vegetal, residuos forestales, licor negro).

# Ciclo de vida de la bioenergía

## PRODUCCIÓN DE BIOENERGÍA

### Producción de Biomasa:

- Cultivo
- Cosecha
- Almacenamiento
- Transporte



### Procesamiento de Biomasa:

- Preparación para transformación
- Transporte de productos intermedios
- Transformación de la biomasa en un producto final de bioenergía

## DISTRIBUCION DE BIOENERGIA

Distribución de biocombustibles

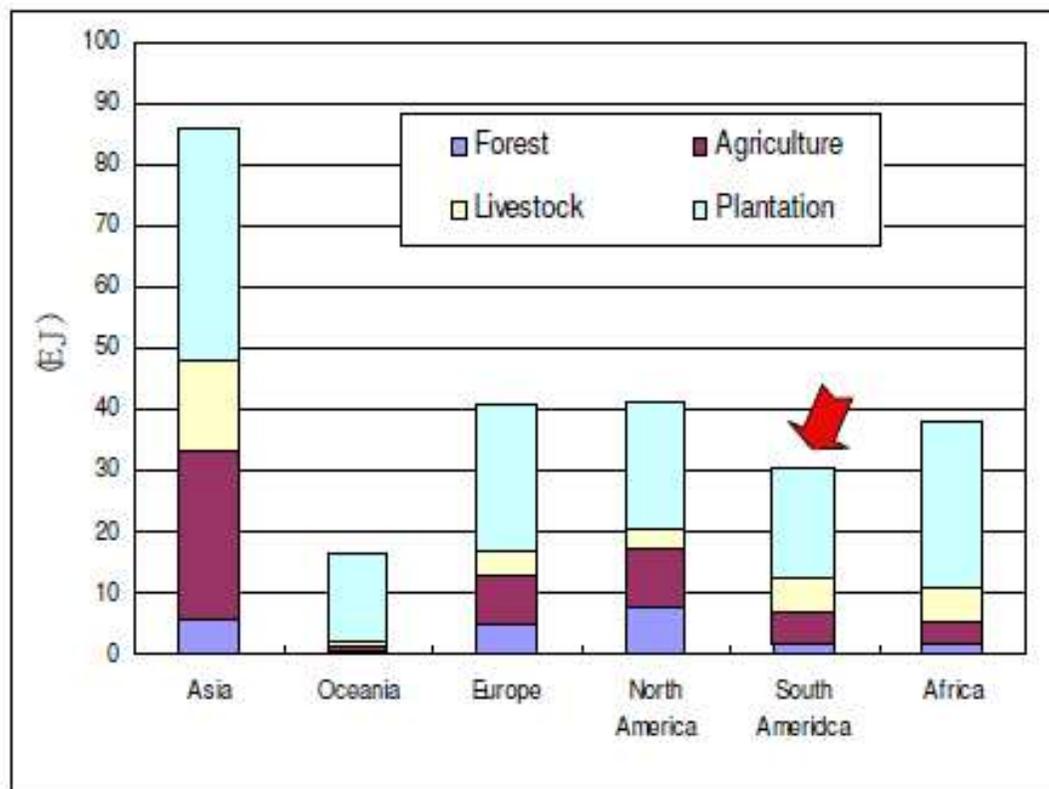
Transmisión y distribución de electricidad

## USO FINAL DE LA BIOENERGIA

# ¿Porqué es importante desarrollar la energía de biomasa?

- Los 2400 millones más pobres dependen de la leña como fuente principal de energía
- Como todo ser vivo, la biomasa contiene Carbono, Nitrógeno, Oxígeno e Hidrógeno, con potencial de combustión y generación de energía en forma de calor y electricidad
- La moderna tecnología de producción y uso de la energía de biomasa puede ayudar a reducir la pobreza y los riesgos para la salud en el sector rural
- El futuro rol de la biomasa para producir energía en el mundo es importante (UN-Energy, IPCC, IEA, otros)
- La enorme brecha tecnológica en bioenergía debe reducirse
- El uso de combustibles fósiles acumula CO<sub>2</sub> en la atmósfera. La energía de biomasa, y la energía renovable en general, puede reducir las emisiones de GEIs y atenuar el cambio climático.

# Potencial de la energía de biomasa



EJ = exa joule =  $10^{18}$ J, 1 EJ =  $2.6 \times 10^7$  KL (equivalente de petróleo crudo)

Provisión total de energía primaria (mundial):

**420 EJ/y** (equivalente de petróleo crudo – 11 mil millones KL, 2000)

Potencial de la energía de biomasa (mundial):

**253 EJ/y** (approx. 60% de la provisión de energía primaria)

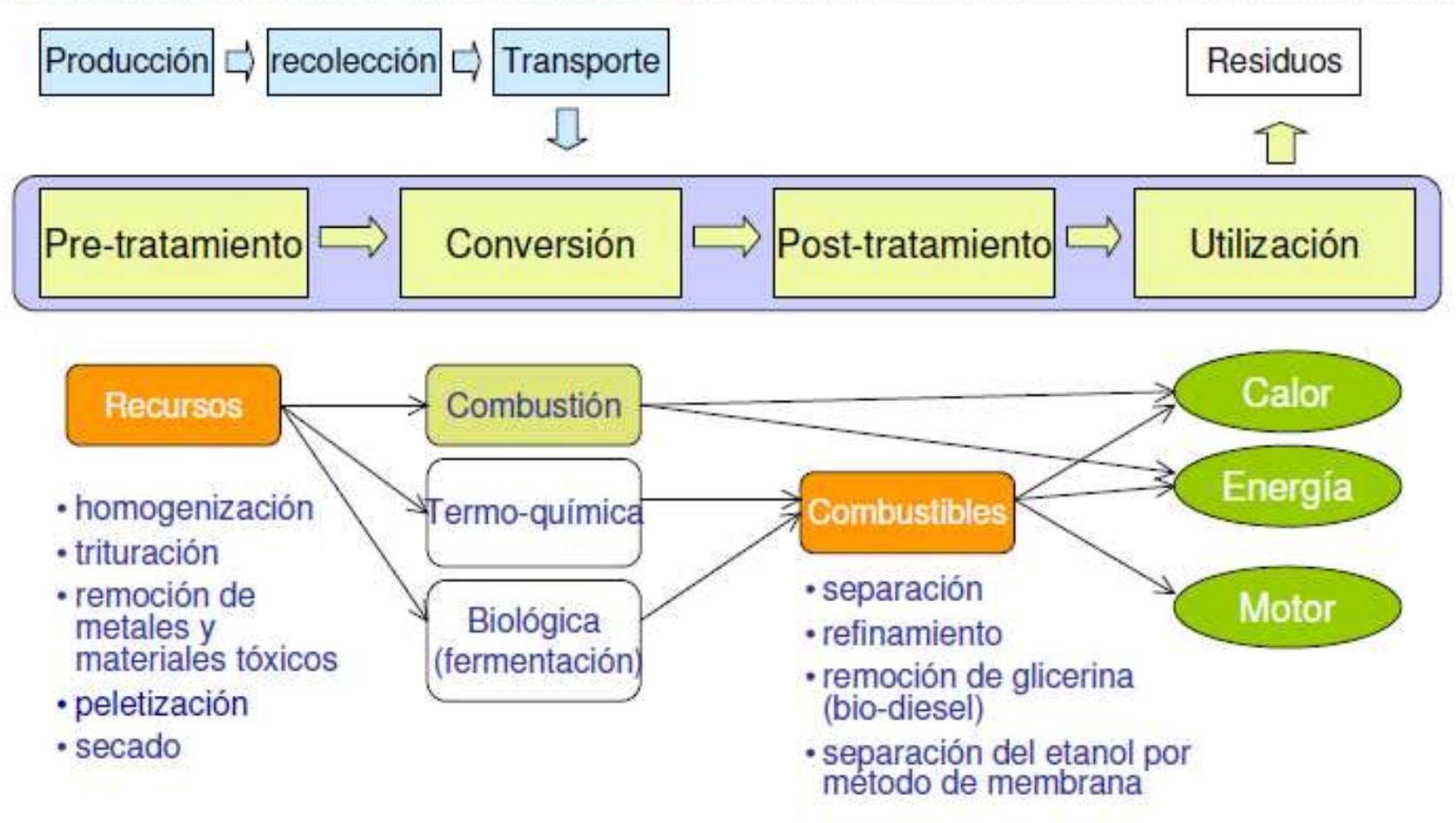
# Recursos para energía de biomasa

Recurso	Biomasa	Mayor items
Recurso no utilizado	Biomasa de madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De bosques (Árboles descartados, árboles no aprovechados, residuos de raleo)</li> <li>• Residuos de aserradero</li> <li>• Residuos de construcción</li> </ul>
	Biomasa del proceso de fabricación de papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de papel</li> <li>• Lodo</li> <li>• Líquido negro</li> </ul>
	Residuos de agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de cultivos de arroz (paja, cáscaras)</li> <li>• Paja de trigo</li> <li>• Bagazo</li> </ul>
	Estiércol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias excretadas por ganado (vacuno, porcino, aves)</li> <li>• Residuos domésticos</li> </ul>
	Biomasa de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos del procesamiento de alimentos</li> <li>• Residuos de cocina</li> <li>• Aceite de cocina usado</li> </ul>
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases provenientes de relleno sanitario</li> </ul>
Recursos productivos	Biomasa de madera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultivo de árboles de corto tiempo</li> </ul>
	Biomasa de herbáceas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasturas y forraje, plantas acuáticas, algas marinas</li> </ul>
	Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azúcar y almidón</li> <li>• Aceite vegetal (aceite de palmera, aceite de colza)</li> </ul>

# Tecnologías para obtener energía de la biomasa

1. Combustión directa
2. Gasificación
3. Fermentación anaeróbica
4. Fermentación aeróbica
5. Extracción

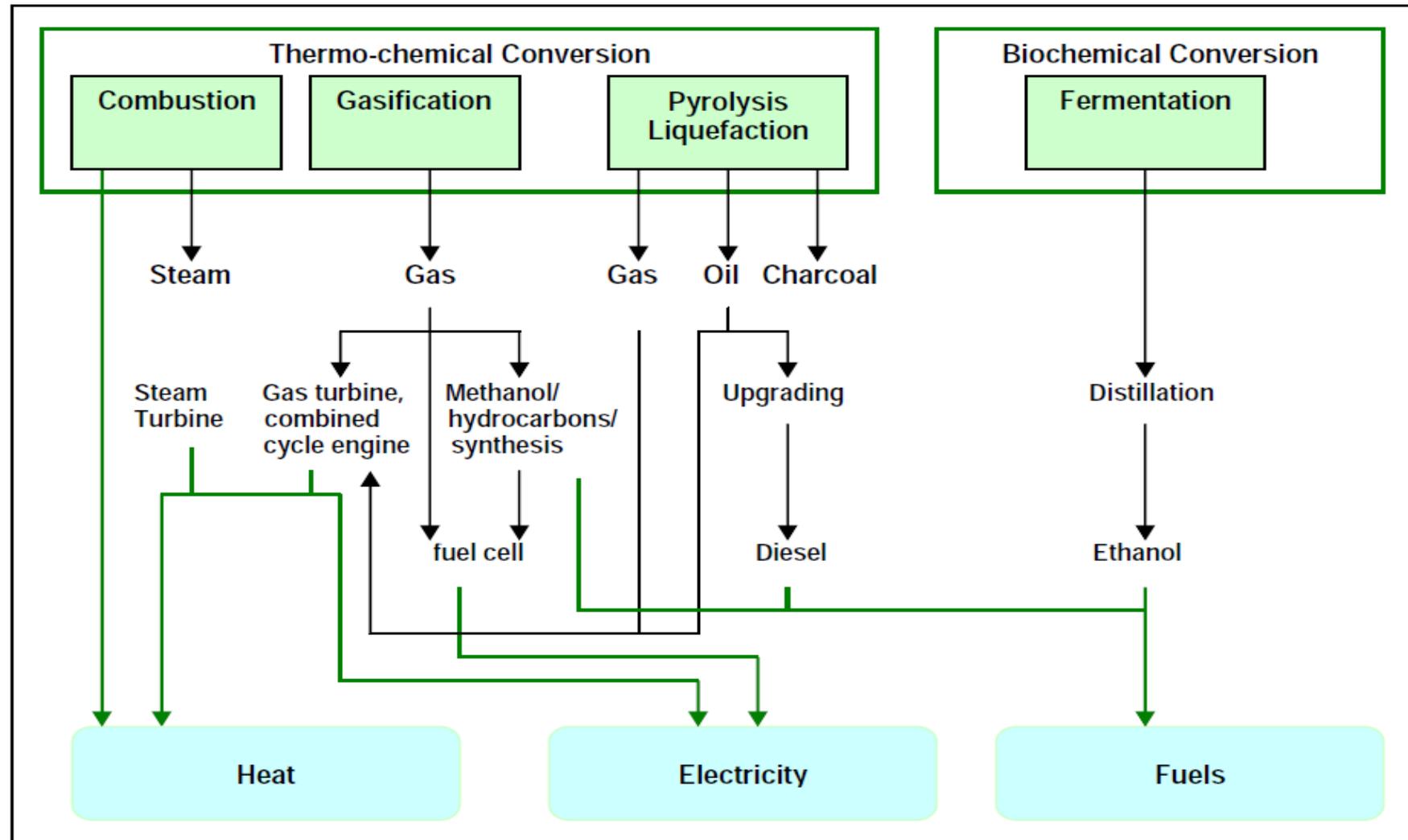
# Conversión de energía de biomasa



# Conversión de desechos de biomasa celulósica a energía

TECNOLOGIA	PROCESO DE CONVERSION	DESECHO DE BIOMASA	ENERGIA O COMBUSTIBLE PRODUCIDO
Producción de Biodiesel	Químico	Soya, piñón, aceite vegetal usado	Biodiesel (comb. líquido)
Combustión directa	Termoquímico	Rastrojos agrícolas, desechos diversos	Calor, vapor, electricidad
Producción de etanol	Bioquímico (aeróbico)	Cultivos sacaríferos o amiláceos, desechos de madera, licor negro, rastrojos de arroz y maíz	Etanol (comb. líquido)
Gasificación	Termoquímico	Rastrojos leñosos, desechos diversos	Gas pobre y medio (low & medium BTU gas)
Producción de metanol	Termoquímico	Rastrojos leñosos, desechos diversos	Metanol (comb. líquido)
Pirólisis	Termoquímico	Rastrojos leñosos, residuos sólidos municipales	Fuel oil sintético (biocrudo líquido), carbón vegetal

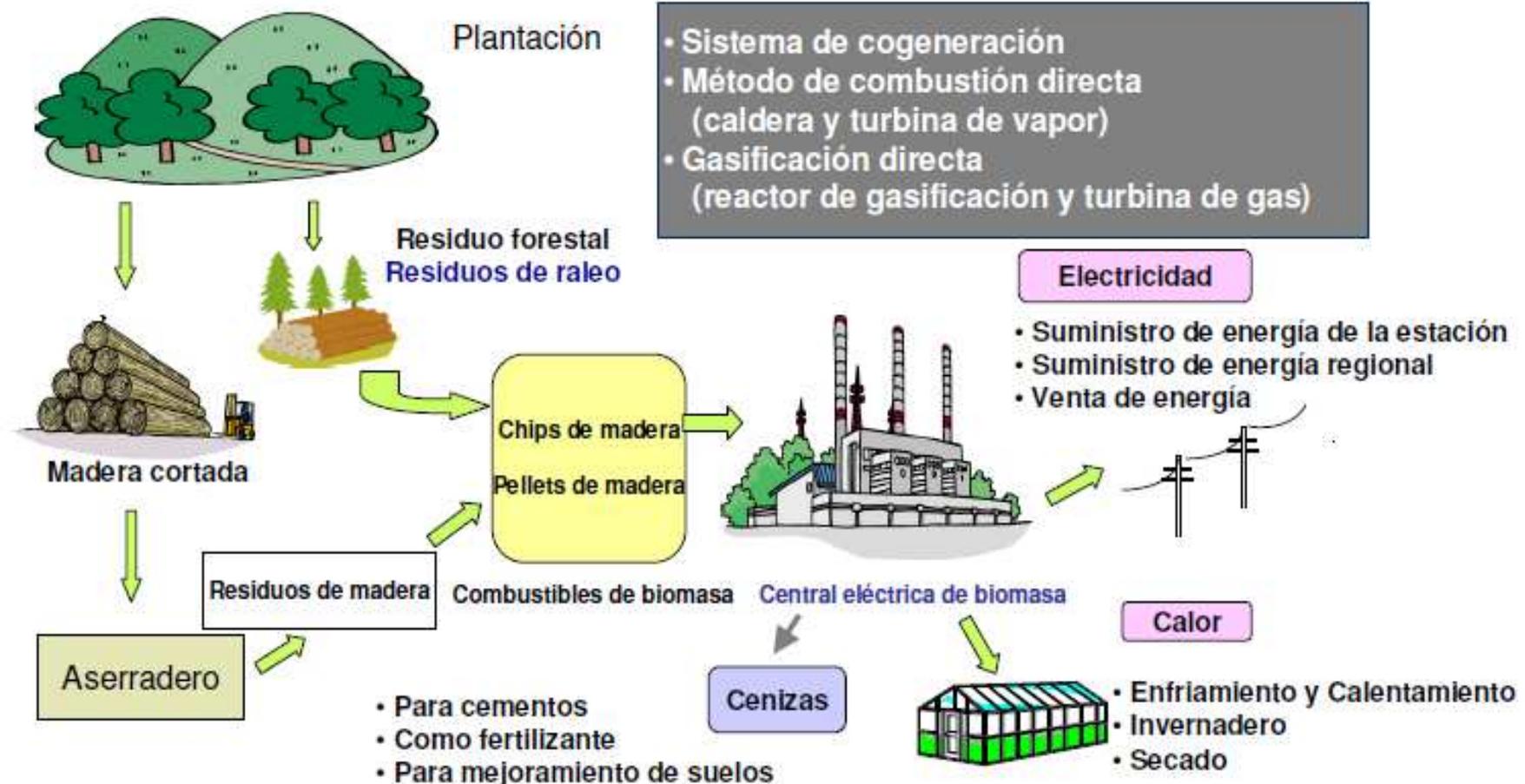
# Rutas tecnológicas para convertir la biomasa en energía



# Nivel de desarrollo de las tecnologías de conversión de biomasa a energía

<b>doméstica</b>		<b>Energía</b>  <b>Briqueteado</b> <b>Carbonización</b> <b>Combustión</b>
	<b>Pirólisis</b>  <b>Bio-petróleo</b>	<b>Gasificación</b>
<b>Prod. Bioquímicos</b> <b>Investigación</b>	<b>Planta Piloto</b>	<b>Comercial</b>

# Generación de electricidad y calor de biomasa

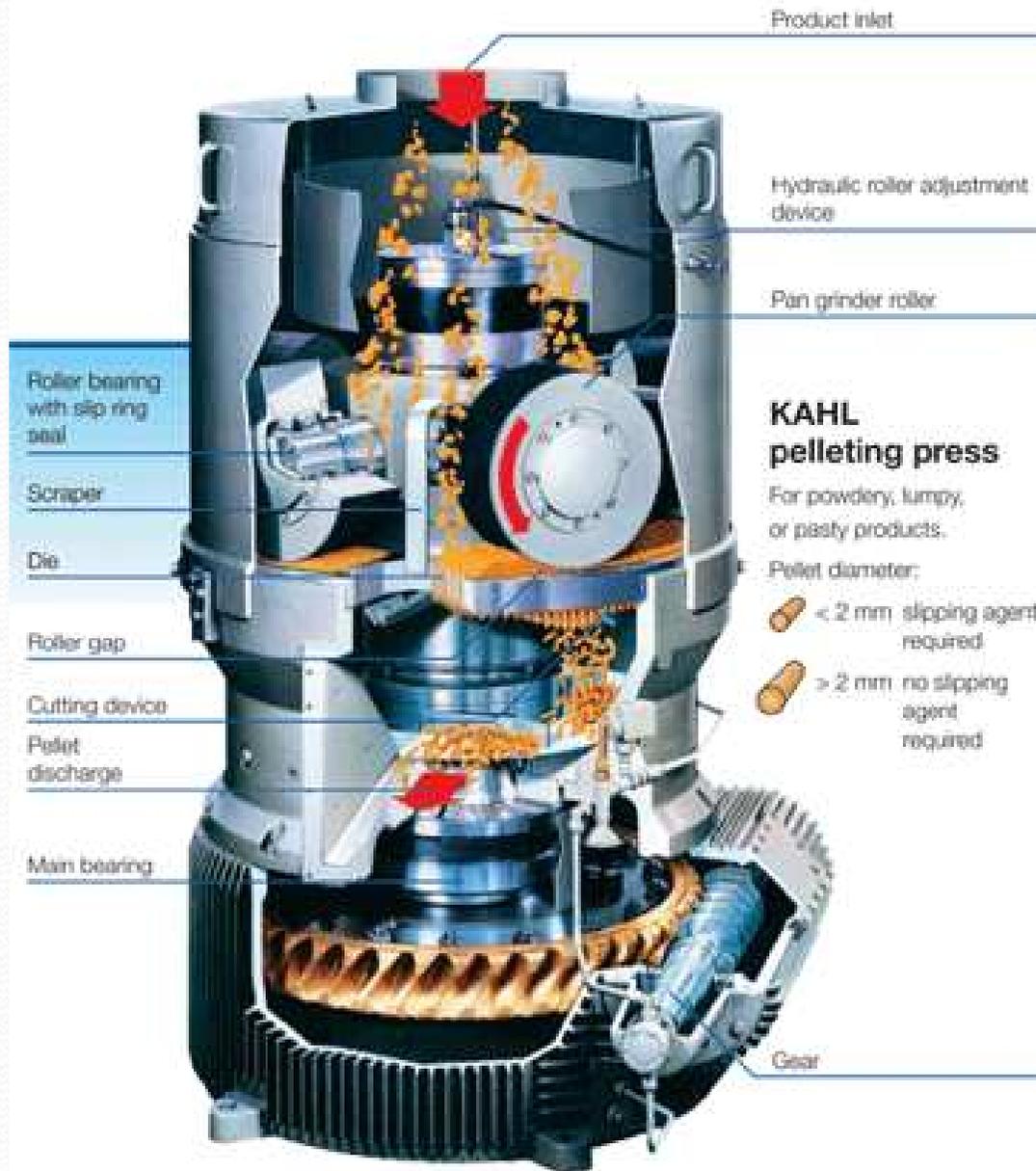


# Tecnologías de combustión directa

## a) Transformación física de la biomasa

- **Astillado de madera:** trituración en fragmentos de 2-10 cm y baja densidad (250-350 kg/m<sup>3</sup>); trituración in-situ o ex-situ.
- **Peletización:** comprime materia vegetal (astillas, serrín) por acción de rodillos contra matriz de agujeros (0.5-2.5 cm) en pequeños cilindros (pelets) de 2-7 cm de alta densidad (1000-1300 kg/m<sup>3</sup>), con un valor calorífico de 21-22 MJ/kg.
- **Briqueteado:** compresión de materia vegetal superior a 200 MPa elevando temperatura hasta 100°-150°C que plastifica la lignina y permite formar unidades cilíndricas de 3-20 diámetro y 15-50 cm largo, de alta densidad (1000-1300 kg/m<sup>3</sup>) y baja humedad (8-10%).

# Prensa peletizadora



# Generación de energía por combustión directa

<b>Calor</b>	$[\text{Calor generado (GJ/año)}] = [\text{Posible cantidad de biomasa (t/año)}] \times 1,000 \times [\text{Valor de calor (kJ/kg)}] \times [\text{Eficiencia de calor}] \times 10^{-3}$
<b>Energía</b>	$[\text{Energía generada (kWh/año)}] = [\text{Posible cantidad de biomasa (t/año)}] \times 1,000 \times [\text{Valor de calor (kJ/kg)}] \times [\text{Eficiencia de energía}] / 3,600 \text{ (kJ/kWh)}$

Biomasa	Items principales	Contenido de humedad (%)	Valor de calor (kJ/kg)	Eficiencia de calor	Eficiencia de energía
Biomasa de madera	Residuos forestales (coníferas)	15	19,780	0.85	0.10 - 0.20
	Residuos forestales (árboles de hoja ancha)	15	18,800		
	Chips de aserradero	4	15,600		
Residuos de agricultura	Paja de arroz	13	13,600		

Fuente: NEDO

# Generación de energía por fermentación anaerobia

<b>Calor</b>	$[\text{Calor generado (GJ/año)}] = [\text{Posible cantidad de biomasa (t/año)}] \times 1,000 \times [\text{factor de generación de gas}] \times [\text{Contenido de metano (60\%)}] \times [\text{valor de calor del metano (kJ/kg)}] \times [\text{eficiencia de calor}] \times 10^{-3}$
<b>Energía</b>	$[\text{Energía generada (kWh/año)}] = [\text{Posible cantidad de biomasa (t/año)}] \times 1,000 \times [\text{Contenido de metano (60\%)}] \times [\text{Valor de calor del metano (kJ/kg)}] \times [\text{Eficiencia de energía}] / 3,600 \text{ (kJ/kWh)}$

Biomasa	Items principales	Contenido de humedad (%)	Factor de generación de gas (m <sup>3</sup> /kg)	Contenido de metano (%)	Valor de calor del metano (kJ/m <sup>3</sup> )	Eficiencia de calor	Eficiencia de energía
Biomasa de ganado	Ganado lechero	86	0.025	60	37,180	0.90	0.25
	Vacuno para producción de carne	78	0.030	60			
Biomasa de alimentos	Residuos de cocina	80	0.740	62			
Estiércol	Estiércol (lodo)	60 - 80	0.550	62			

Fuente : Métodos de cálculo de la energía generada por biomasa (NEDO)

# Potenciales problemas al formular proyectos de energía de biomasa

- Los recursos biomásicos existen en áreas amplias, pero la cantidad potencial/ posible de los mismos es, a veces, difícil de estimar con exactitud.
- **Los costos de recolección/ transporte** de los materiales biomásicos son altos, lo cual lleva a una menor viabilidad de los proyectos propuestos.
- **El suministro estable y continuo** de los materiales de biomasa es clave para el éxito de los proyectos.
- En algunos casos, la generación de energía por sí sola no es bien paga por lo que se requiere localizar una demanda de calor.
- Se debe tener en cuenta la disposición de los residuos antes que la vena de energía.

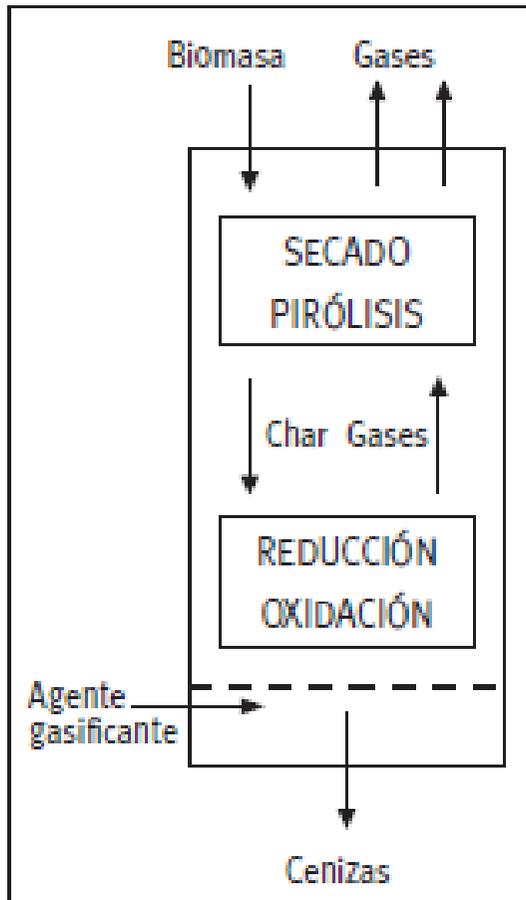
# La I+D y la innovación en bioenergía

- Los sistemas bioenergéticos son complejos, requieren enfoques inter-disciplinarios, intersectoriales y específicos del lugar
- Transformar los actuales sistemas insostenibles de uso de la bioenergía en zonas rurales
- Evaluar los potenciales impactos adversos del uso de la bioenergía a la seguridad alimentaria
- Resolver las barreras técnicas principales:
  - baja eficiencia de conversión,
  - gran consumo energético en la operación,
  - dependencia de tecnología comercial no probada

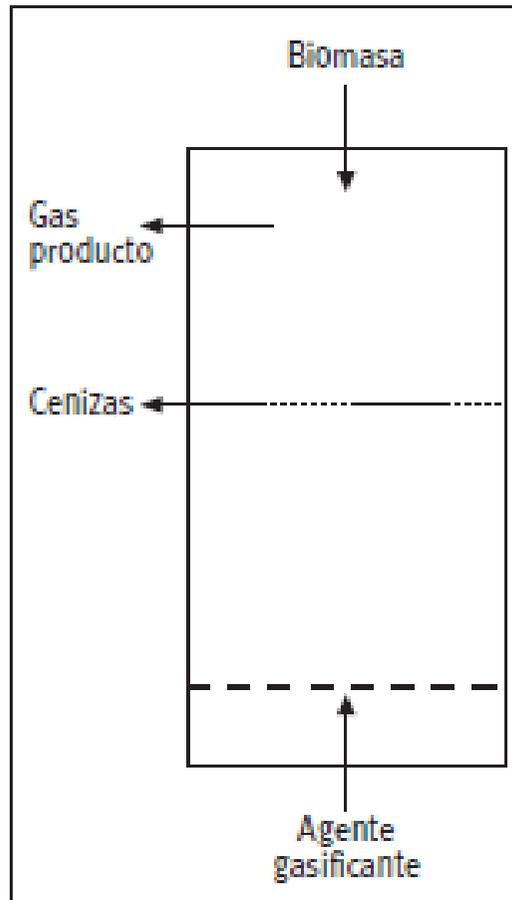
# Perspectivas en gasificación

- Reacciones termoquímicas con catalizadores transforman la celulosa de la biomasa en syngas o gas de síntesis, una mezcla hidrocarburos gaseosos ligeros (CO, H<sub>2</sub>, otros)
- El syngas tiene 1/6 del poder calorífico del gas natural, pero permite obtener altos rendimientos eléctricos a partir de biomasa (30-32%)
- Según la tecnología usada, el syngas debe cumplir requisitos en partículas, alquitranes, poder calorífico, etc.
- La gasificación permite sintetizar combustibles líquidos de alta calidad (proceso Fischer-Tropsch)
- La gasificación está en estado semi-comercial, pero la licuefacción de biomasa es aún experimental.

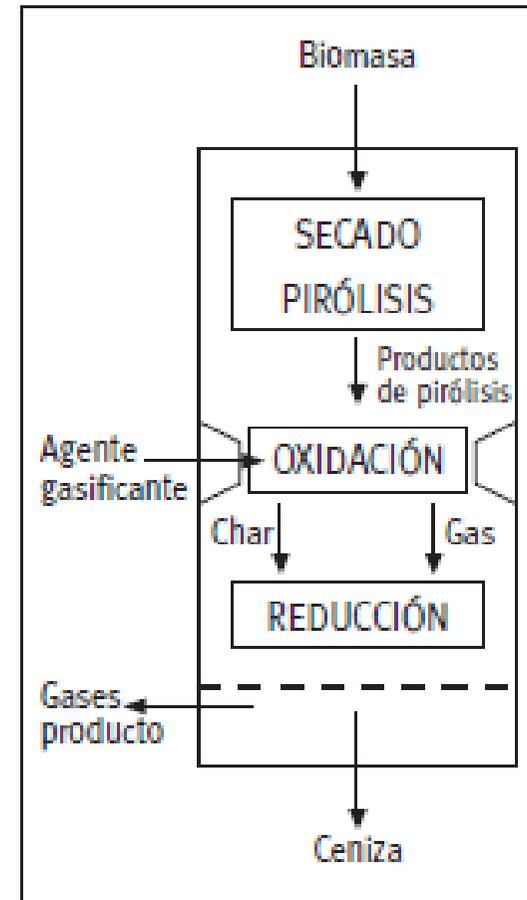
# Esquemas de funcionamiento de gasificadores



**Updraft**



**Lecho fluidizado**



**Downdraft**

# Perspectivas en fermentación anaeróbica

- Biodigestores semi-contínuos de uso rural
  - Modelo Chino
  - Modelo Hindú
  - Modelo Tubular de Plástico
- Biodigestores contínuos de alta eficiencia
  - Modulares de carga por lotes “batch”
  - De contacto
  - Modelo UASB
  - De retención de metanobacterias en films

# Características del biogás

El BIOGAS está compuesto en un 50 a 70% de METANO y un 30 a 50% de dióxido de carbono, además de contener hidrógeno sulfurado y otros gases de menor importancia.

## Produccion y composicion teórica del biogas:

SUBSTRATO	PRODUCCION DE GAS (L/Kg. de materia seca)	CONTENIDO DE METANO (CH <sub>4</sub> ) %	CONTENIDO DE CO <sub>2</sub> %
Carbohidratos	800	50	50
Proteínas	700	70	30
Grasas	1,200	67	33

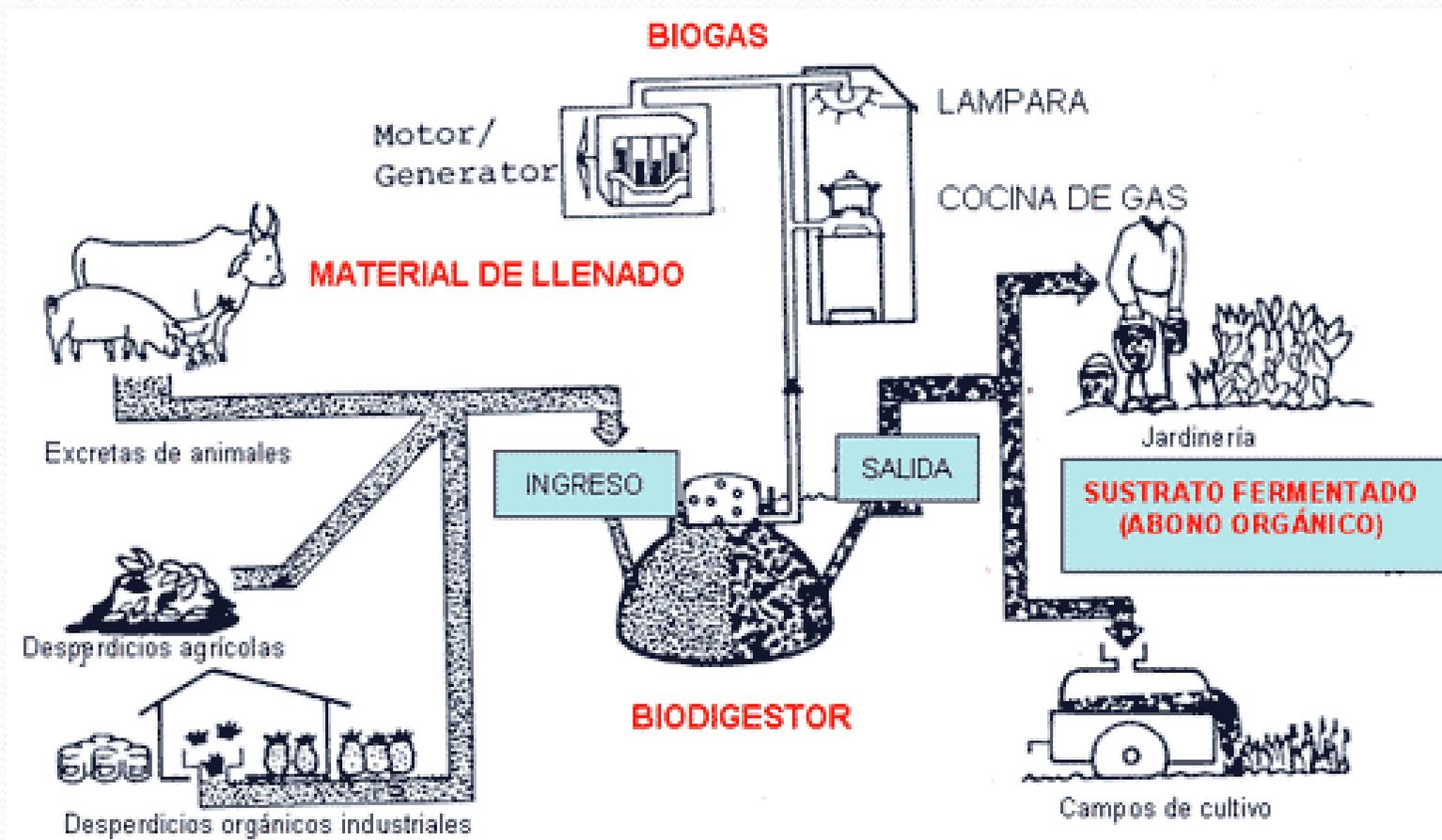
# Energía equivalente (valor energético) del biogas vs otras fuentes

VALORES	BIOGAS*	GAS NATURAL	GAS PROPANO	GAS METANO	HIDROG.
Valor Calórico (Kwh/ m3)	7.0	10	26	10	3
Densidad (Kg/m3)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m3/m3)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

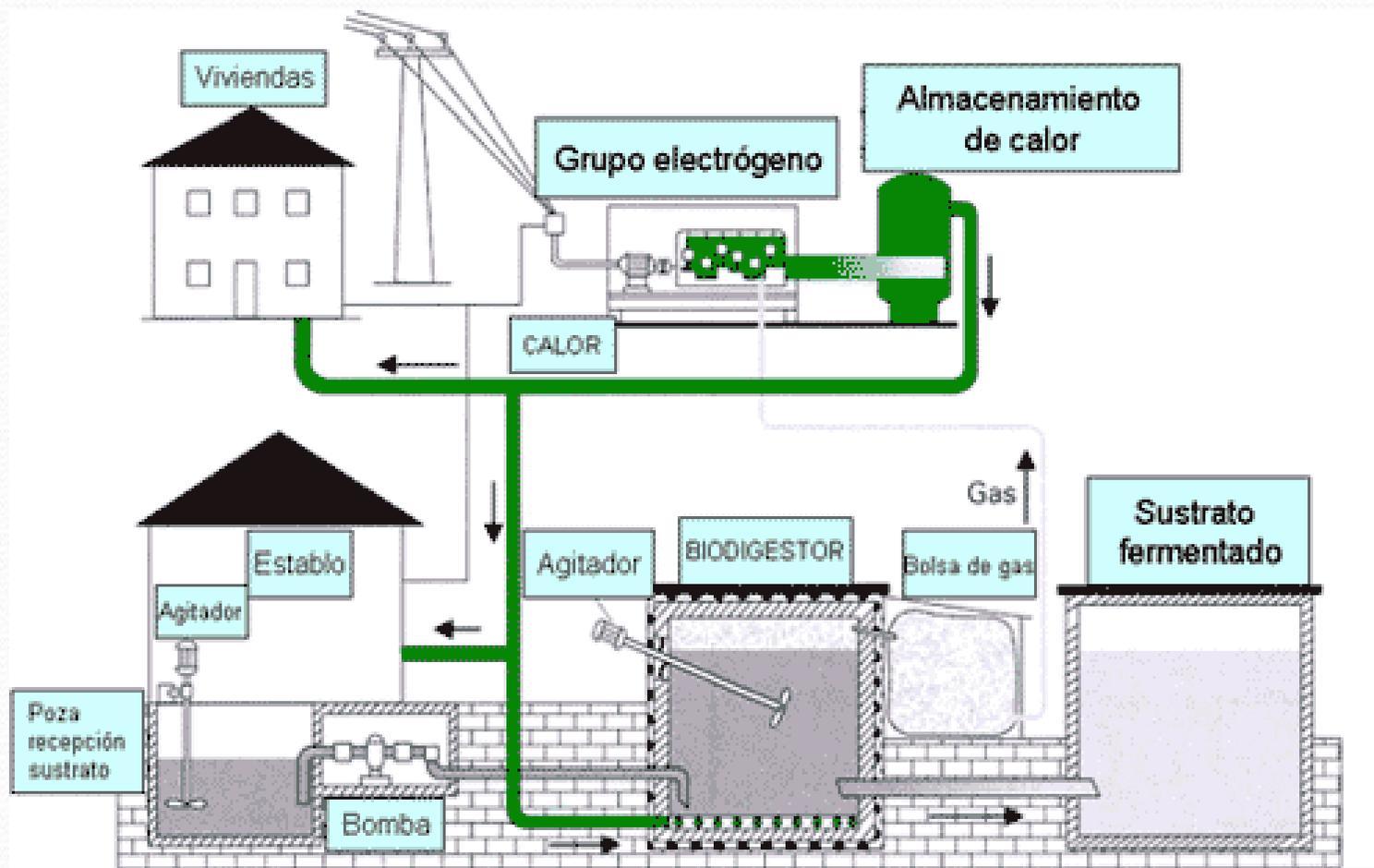
Fuente: Lipp / GMBH

\* Biogas: 70% CH<sub>4</sub>, 28% CO<sub>2</sub> y “% otros gases

# Biodigestor “chino”



# Modelo clásico de un biodigestor europeo actual



# Perspectivas en etanol de madera

- Actualmente no existe producción comercial: su costo de producción es mucho mayor que el de la gasolina, y aún del bioetanol de caña de azúcar o maíz
- Los avances en I+D están enfocados en:
  - árboles GM con menor contenido de lignina
  - tecnologías de pretratamiento rentables (a baja temperatura y presión),
  - mejoras en la actividad enzimática y en los costos de producción de las enzimas celulasas
  - co-fermentación de glucosa (de la hidrólisis de celulosa) y xilosa (de la hidrólisis de hemicelulosa), e.g. con ayuda de microorganismos GM

# Impactos del Calentamiento Global

## Agricultura



**Rendimiento en cosecha**  
**Demanda de Irrigación**

## Biodiversidad



**Perdida de habitad y de especies**

## Recursos Hídricos



**Abastecimiento de Agua**  
**Calidad de agua**  
**Competencia por el agua**

## Áreas Costeras



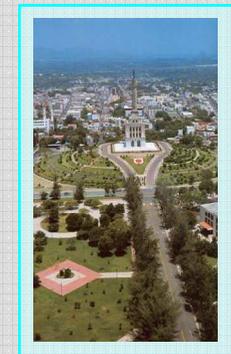
**Erosión de playas**  
**Inundación de tierras Costeras**  
**Costos adicionales en protección de Comunidades Costeras**

## Salud



**Mortalidad por clima**  
**Enfermedades Infecciosas**  
**Enfermedades Respiratorias**

## Ciudades



**Las inundaciones provocan perturbacion es sociales y económicas**

# Principales gases de efecto invernadero (GEI) y el calentamiento global

Gases	Permanencia en la atmósfera	Fuentes de emisión	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono	500	Quema de combustible fósiles, deforestación, producción de cemento	1
Metano	7 - 10	Producción y quema de combustibles fósiles, agricultura, ganadería, manejo de residuos	21-23
Óxido Nitroso	140 - 190	Quema de combustibles fósiles, Agricultura, explotación de la tierra.	230-310
Perfluoro carbono	65 - 110	Actividades Industriales (Refrigerantes, aerosoles, espumas plásticas)	6200-7100
Hidrofluoro carbono	12	Actividades Industriales (Refrigerantes líquidos)	1300-1400
Hexafluoruro de azufre	3200	Actividades Industriales (Aislantes eléctricos)	23900

# MDL y el mercado de “bonos de carbono”

Los proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) se orienta a reducir emisiones de carbono en un país en desarrollo.

“Bonos de carbono” es un conjunto de instrumentos generados por diversas actividades de reducción de emisiones de carbono (proyectos MDL), dependiendo de la forma como fueron generados:

- **Certificados de Reducción de Emisiones (CERs)**
- Montos Asignados Anualmente (AAUs)
- Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs)
- Unidades de Remoción de Emisiones (RMUs)

En 2010, el mercado global de los bonos de carbono llegó a los **€ 142,000 millones de Euros**, 84% en la Unión Europea

En 2011, el precio promedio fue **€ 11.4 por CER** o ton de Carbono.

# Portafolio de Proyectos MDL aprobados en el Perú

<i>Tipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Inversión (US\$ millones)</i>	<i>TCO2e reducidas al año</i>
<i>Hidroeléctricas</i>	23	876.95	2,983,980
<i>Viento</i>	2	38.80	40,450
<i>Residuos Municipales</i>	4	46.40	794,310
<i>Transporte</i>	2	333.20	399,744
<i>Biomasa</i>	8	90.00	873,252
<i>R y F</i>	11	56.50	6.5 M de toneladas en 20 años
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>1,441.85</b>	<b>5,091,736 sin contar RyF</b>



# Proyectos MDL Perú: Reforestación y Forestación

11 Proyectos

40,760 has

US\$ 52.35 millones

9'261 mil tCO<sub>2</sub>e (en 30 años)



# Proyectos MDL en Perú: Gestión de Resíduos Sólidos Municipales

Nombre del proyecto	Empresa	Inversiones en millones de dólares	Reducción de emisiones anuales en tCO <sub>2</sub> e.
Proyecto de quema del gas metano en el Relleno Sanitario de Huaycoloro (Lima)	PETRAMAS SAC	2.0	303 697
Proyecto de quema de gas metano en el Relleno Sanitario de Portillo Grande (Lima)	Municipalidad de Lima	1.6	237 277
Manejo Sostenible de Resíduos Sólidos Municipales en la Ciudad del Cusco y Alrededores "RETAMA" (Cusco)	Municipalidad del Cusco	21.5	88 229
Generación de Energía usando Resíduos Sólidos Municipales (Iquitos)	Municipalidad de Iquitos	21.3	165 107
<b>TOTAL</b>		<b>46.4</b>	<b>794 310</b>

# Relleno sanitario de Petramas en Huaycoloro:



- Quema y conversión de metano (biogas) a CO<sub>2</sub>, generado por 9 M toneladas de residuos sólidos almacenados en relleno.
- Reduce 300,000 ton CO<sub>2</sub>/año y genera \$300,000/año en CERs

# Proyectos MDL en Perú: Programa Sembrando de Cocinas Mejoradas

- Sembrando difunde las cocinas mejoradas con mayor eficiencia de combustión de biomasa (reduce uso de leña, bosta) en la sierra peruana
- Mejora la salud familiar
- Costo de una cocina: S/. 200
- Programa genera US\$ 9 / cocina en 7 años en bonos de carbono ; permite financiar inspecciones y mantenimiento
- Meta: 500,000 cocinas mejoradas hasta diciembre 2011



# Algunas conclusiones

- En el Perú existe un amplio campo de investigación, desarrollo y comercialización en energía de la biomasa para aplicaciones rurales familiares y comunales, con el objetivo de contribuir al alivio de la pobreza, la mejora de la productividad agrícola y la preservación del medio ambiente.
- Asimismo, las aplicaciones de energía de biomasa en el sector industrial son inmensas, sobre todo para el tratamiento de residuos lignocelulósicos y agropecuarios.
- Las aplicaciones de la fermentación alcohólica (etanol) y la producción de biodiesel son potencialmente importantes a condición de garantizar la seguridad alimentaria.
- Se recomienda centrar en I+D en eficiencia de combustión de biomasa, en gasificación a pequeña escala y en fermentación anaerobia para pequeña y mediana escala.

# Iniciativas globales de cooperación en Energía de la Biomasa

- Global Bioenergy Partnership (GBEP) [www.globalbioenergy.org/](http://www.globalbioenergy.org/)
- FAO's BioEnergy and Food Security Criteria & Indicators project (BEFSCI) [www.fao.org/bioenergy/foodsecurity/befsci/es/](http://www.fao.org/bioenergy/foodsecurity/befsci/es/)
- Plataforma Internacional de Bioenergía de la FAO (IBEP) [www.fao.org/sd/dim\\_en2/en2\\_060501\\_es.htm](http://www.fao.org/sd/dim_en2/en2_060501_es.htm)
- Global Methane Initiative (GMI) [www.globalmethane.org/](http://www.globalmethane.org/)
- International Partnership for the Hydrogen Economy (IPHE) [www.iphe.net/](http://www.iphe.net/)
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) [www.ren21.net/](http://www.ren21.net/)
- Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership (REEEP) [www.reeep.org/](http://www.reeep.org/)
- UNCTAD BioFuels Initiative [www.unctad.org/Templates/Page.asp?intItemID=4344&lang=1](http://www.unctad.org/Templates/Page.asp?intItemID=4344&lang=1)
- Bioenergy Implementing Agreements and related tasks of the IEA [www.ieabioenergy.com/](http://www.ieabioenergy.com/)



**Gracias,**

**[verastegui.javier@gmail.com](mailto:verastegui.javier@gmail.com)**

# Javier VERASTÉGUI

El señor Javier Verastegui es diplomado de la Universidad Pierre et Marie Curie (París VI) en París, en Francia, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en Lima, Perú, y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) en Lima, Perú. Es consultor independiente en la área de las biotecnologías y participa en el proyecto regional de bioseguridad LAC Biosafety. También se desempeña como docente en la UPCH. Anteriormente, fue consultor en el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), presidente de la sección peruana de la Red de Investigadores sobre Cambio Técnico e Innovación (CamBioTec Perú) o Secretario General de la Asociación BioEuroLatina, asociación de cooperación internacional en materia de biotecnologías.

Contacto : [verastegui.javier@gmail.com](mailto:verastegui.javier@gmail.com)

- La Universidad Nacional de Ingeniería de Lima (UNI) participa desde años en el esfuerzo nacional de transición energética a través de su contribución a la innovación energética en el Perú. En particular, su Laboratorio de Energías Renovables se destaca por su acción a favor de la implementación de renovables básicos en áreas rurales y aisladas.
- La Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) es la principal universidad peruana de investigación en campo de ciencias puras.
- Para Mayor información ver [www.upch.edu.pe/](http://www.upch.edu.pe/) y [www.uni.edu.pe](http://www.uni.edu.pe)



La Corporación Andina de Fomento y la Cooperación Regional para los Países Andinos dan las gracias a los expositores por haber compartido su peritaje, al público por su presencia y a todas las personas que trabajaron para que este acontecimiento tuviera el éxito que conoció.

Corporación Andina de Fomento  
(CAF)

[IGARCIA@caf.com](mailto:IGARCIA@caf.com)

[www.caf.com/](http://www.caf.com/)

Cooperación Regional  
para los Países Andinos

[clement.larrauri@diplomatie.gouv.fr](mailto:clement.larrauri@diplomatie.gouv.fr)

<http://www.franceamsud.org/site/>