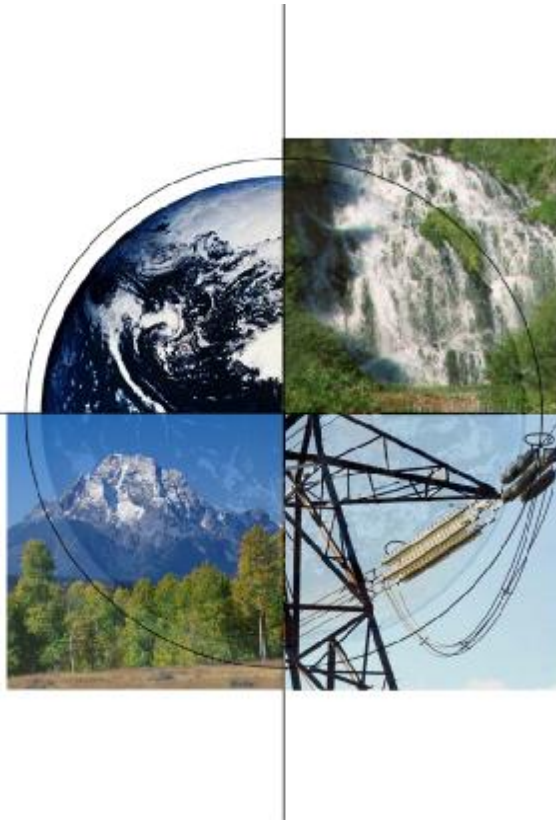


“Análisis de Ciclo de Vida de Tecnologías Energéticas

CIE

Abril de 2007

**Edgar Botero García
Ingeniero Mecánico
Ph. D. Eficiencia Energética**



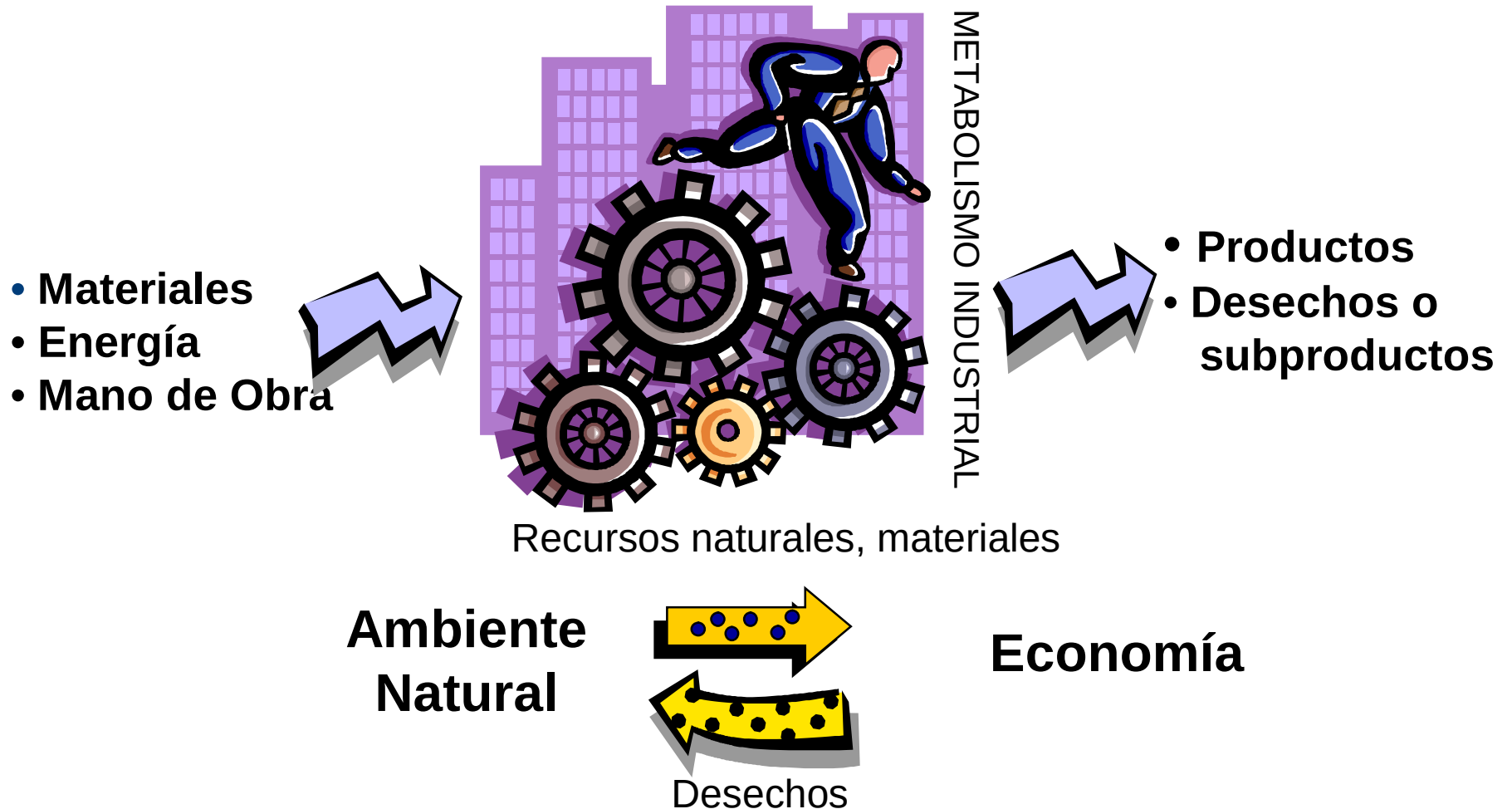
**Grupo de Investigaciones Ambientales
Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín - Colombia**

Contenido del curso

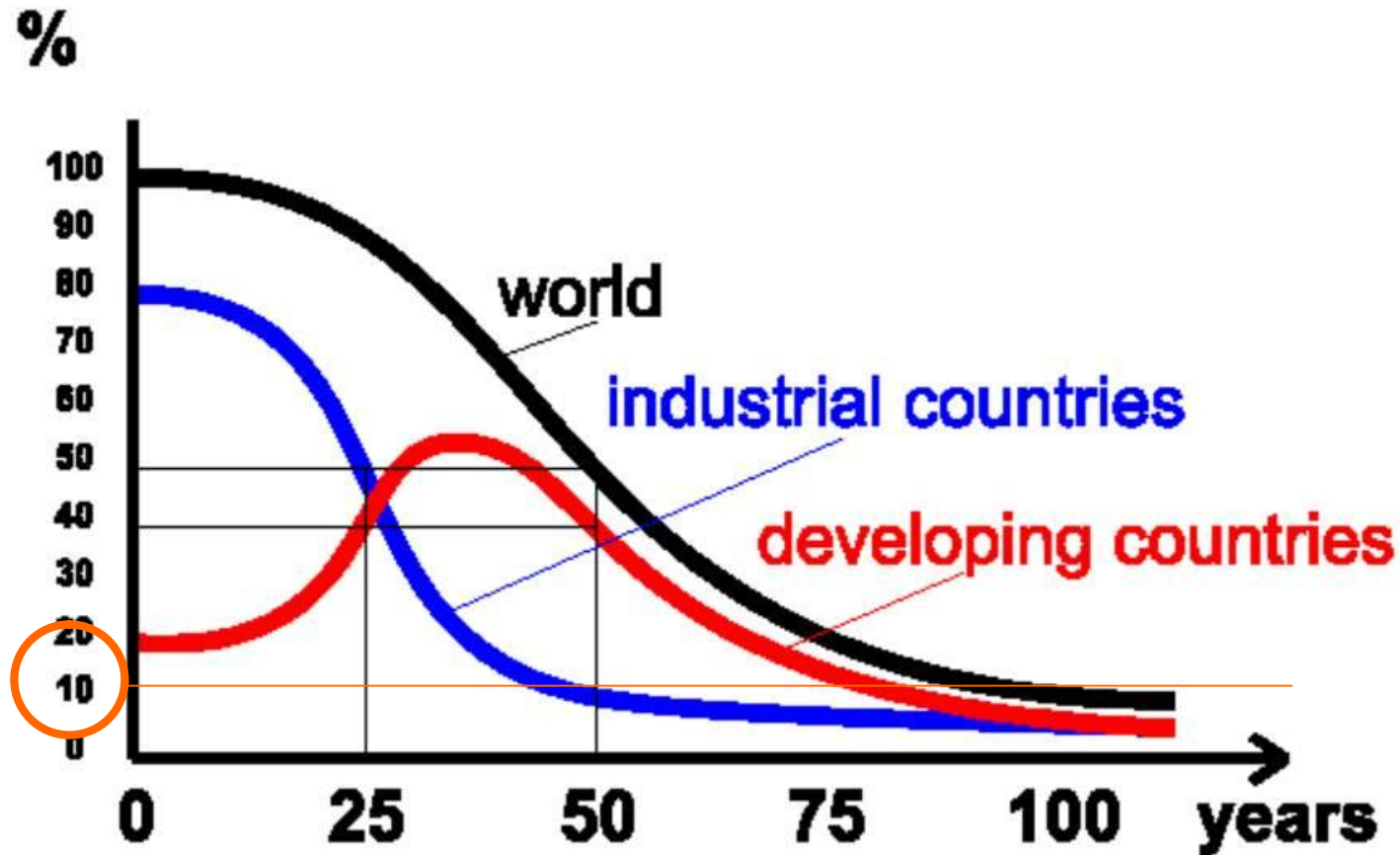
- **Conceptos fundamentales del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).**
- **Valoración del impacto ambiental.**
- **Aplicación de la metodología de ACV a los sistemas energéticos.**
- **Tecnologías de generación de energía e impactos ambientales.**
Análisis de sostenibilidad



Sistema Económico visto como un sistema ecológico

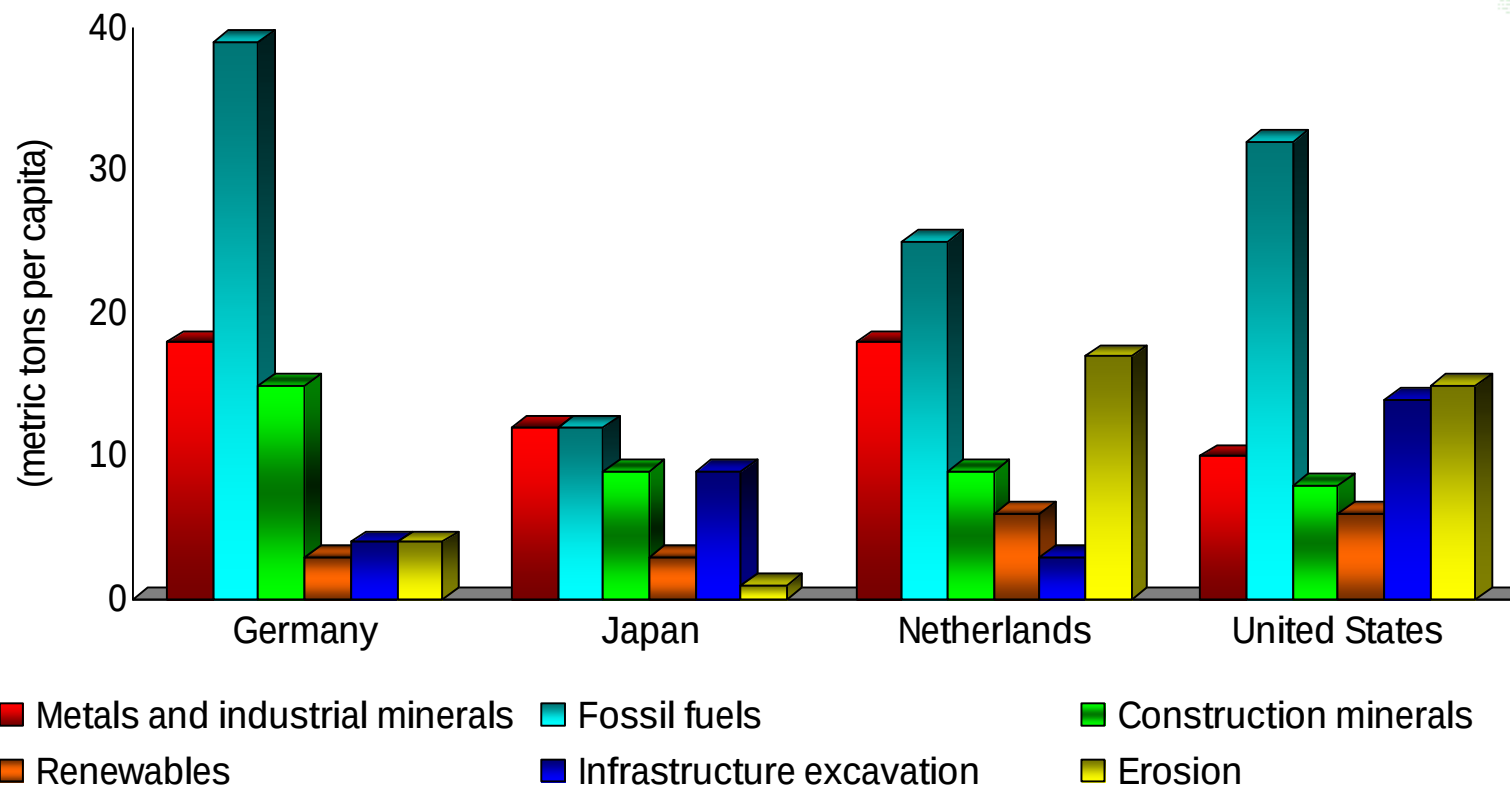


NECESIDAD DE LOS FLUJOS DE MASA DE Y HACIA EL AMBIENTE PARA LOGRAR EL DESARROLLO SOSTENIBLE

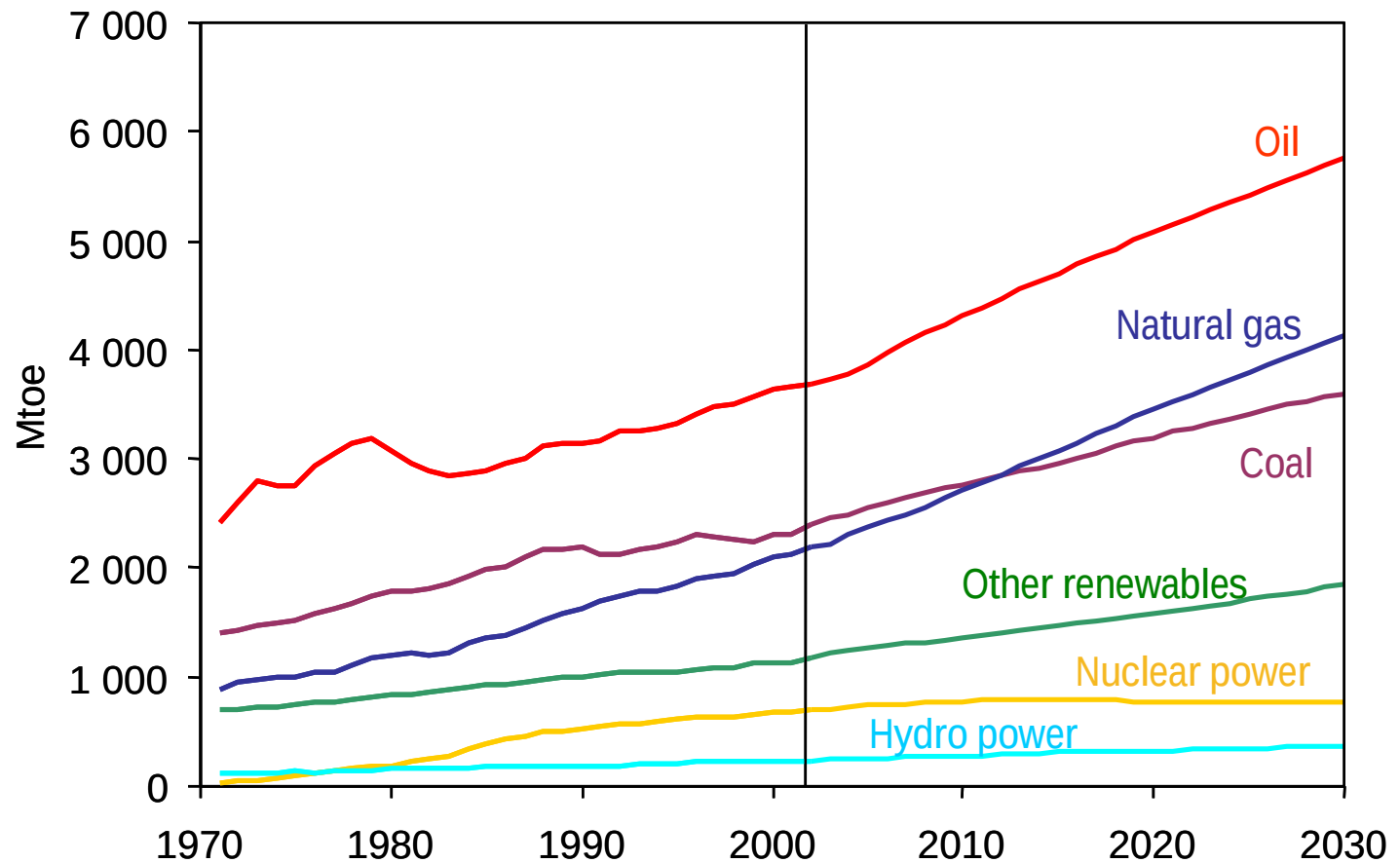


TOMADO DE: Technological and market developments
relevant for Environmental Best Practices

Qué consumimos hoy?

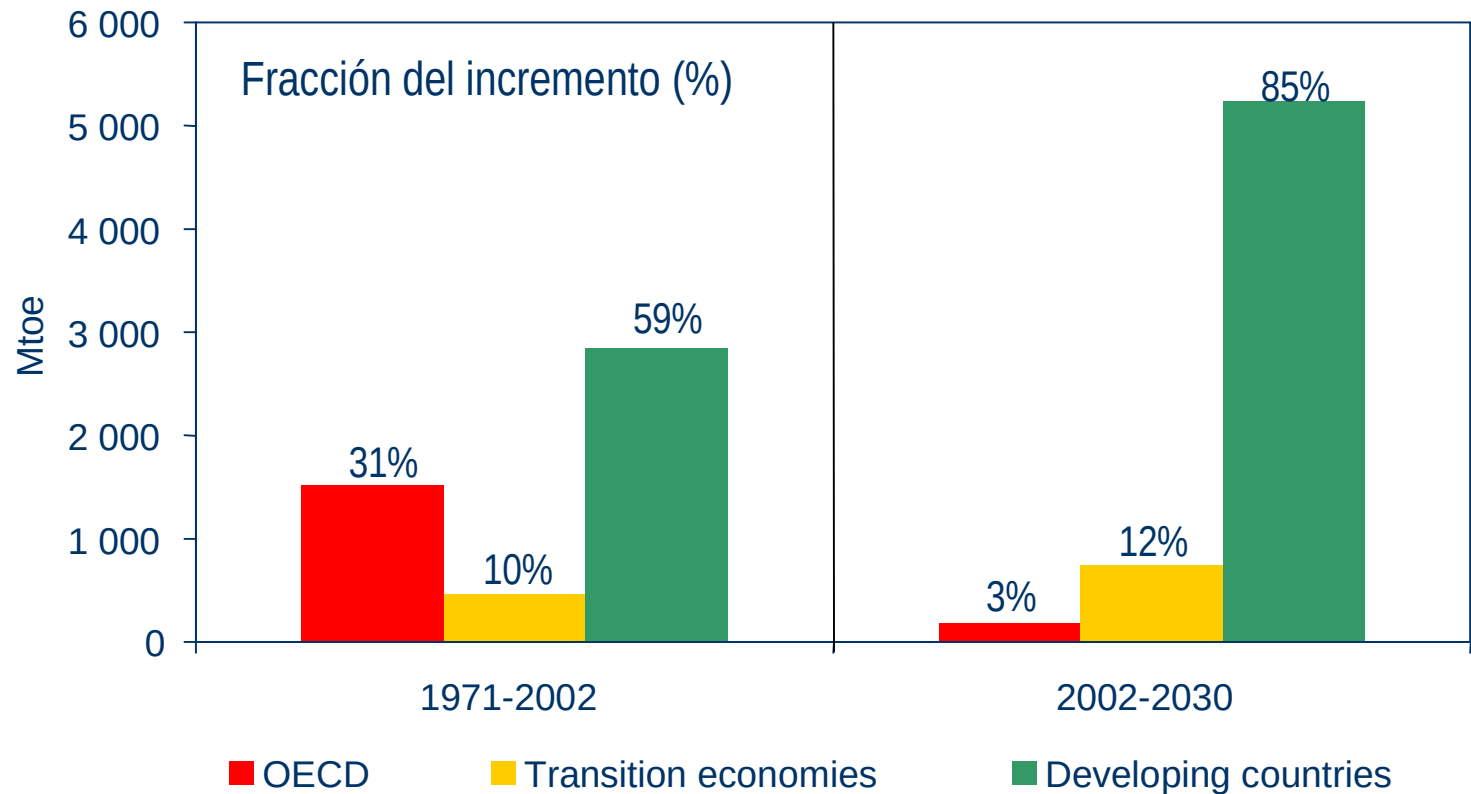


Demanda de Energía Primaria

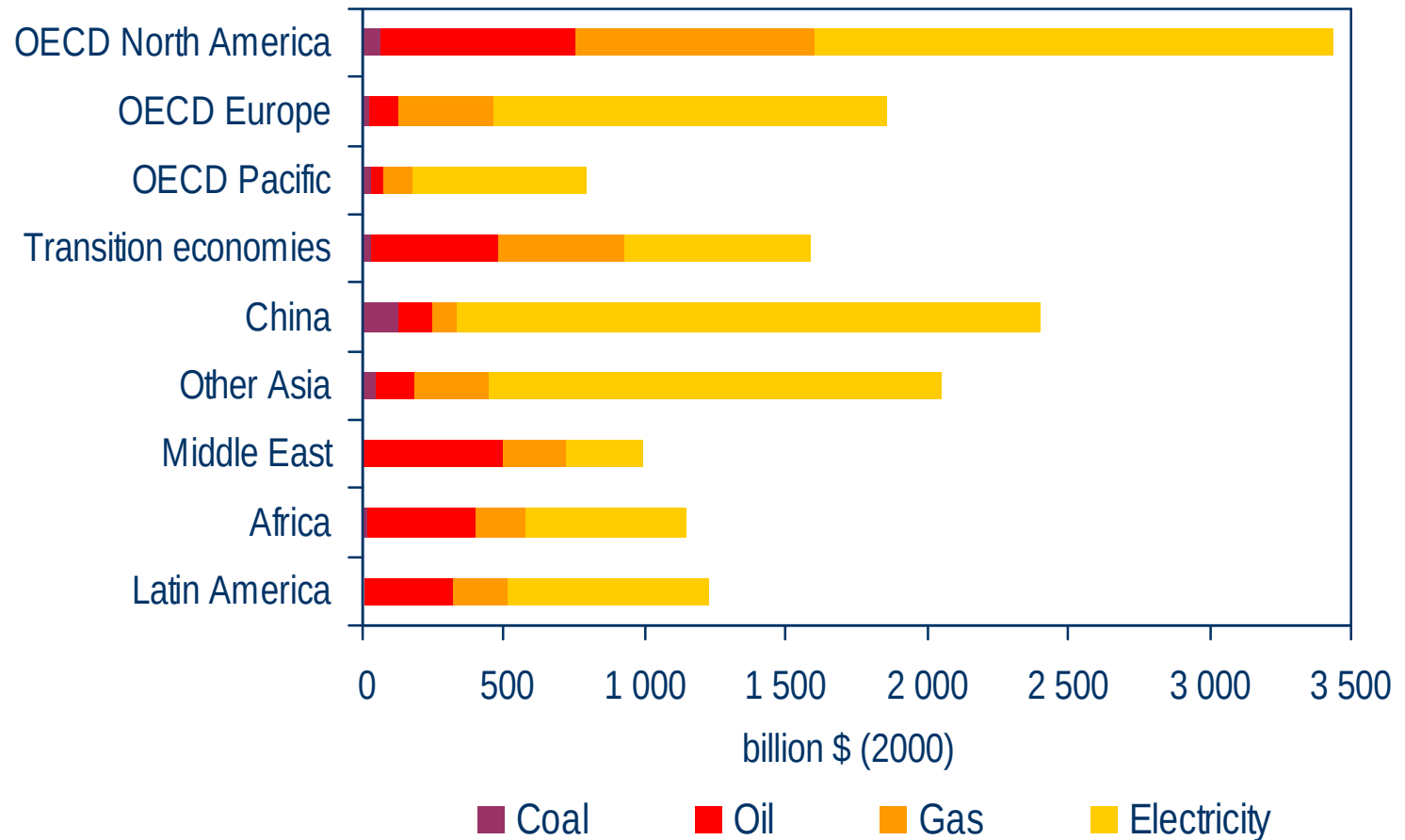


Combustibles fósiles cubrirán el 90 % del crecimiento energético hasta el 2030 (Fuente: IEA)

Incremento en la demanda de energía primaria por región

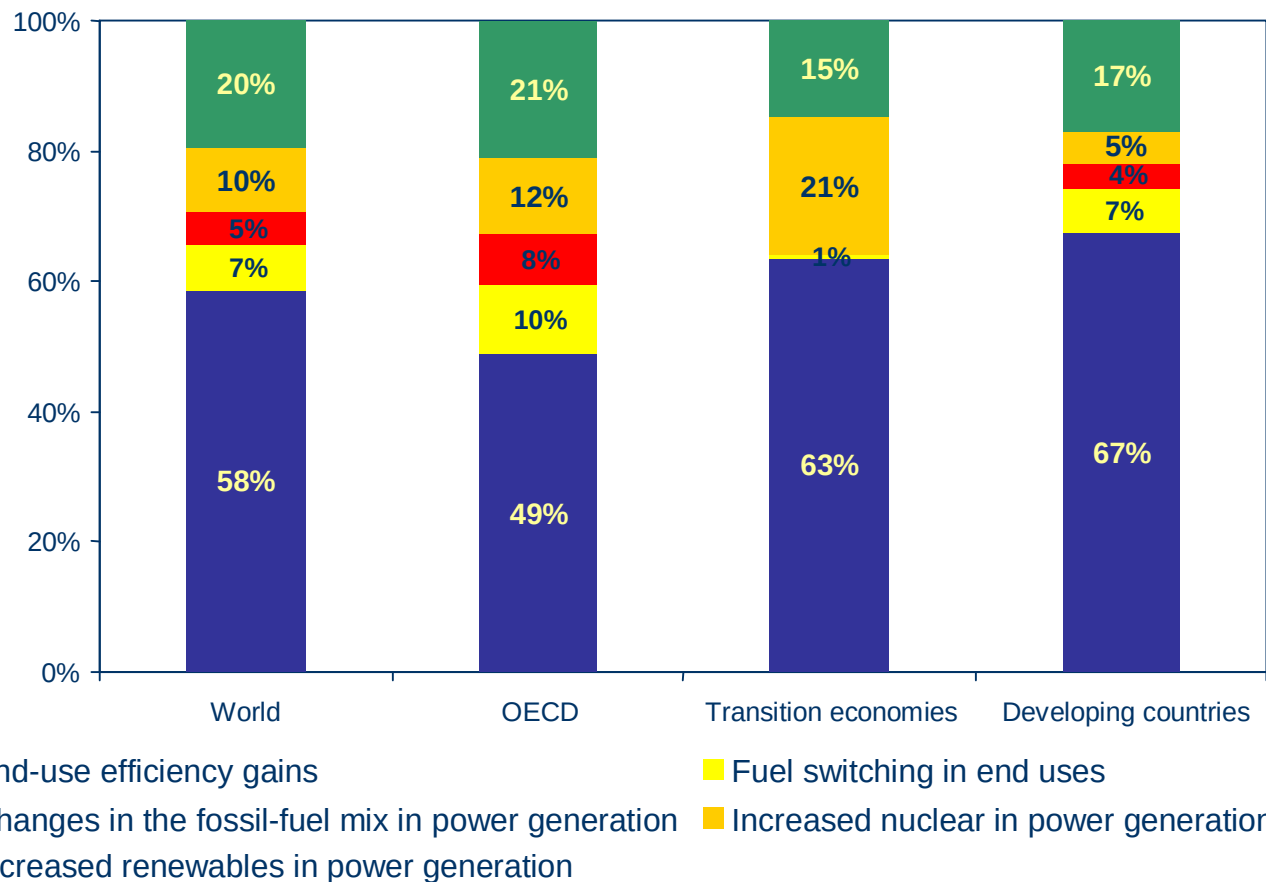


Inversiones acumulativas estimadas 2003-2030



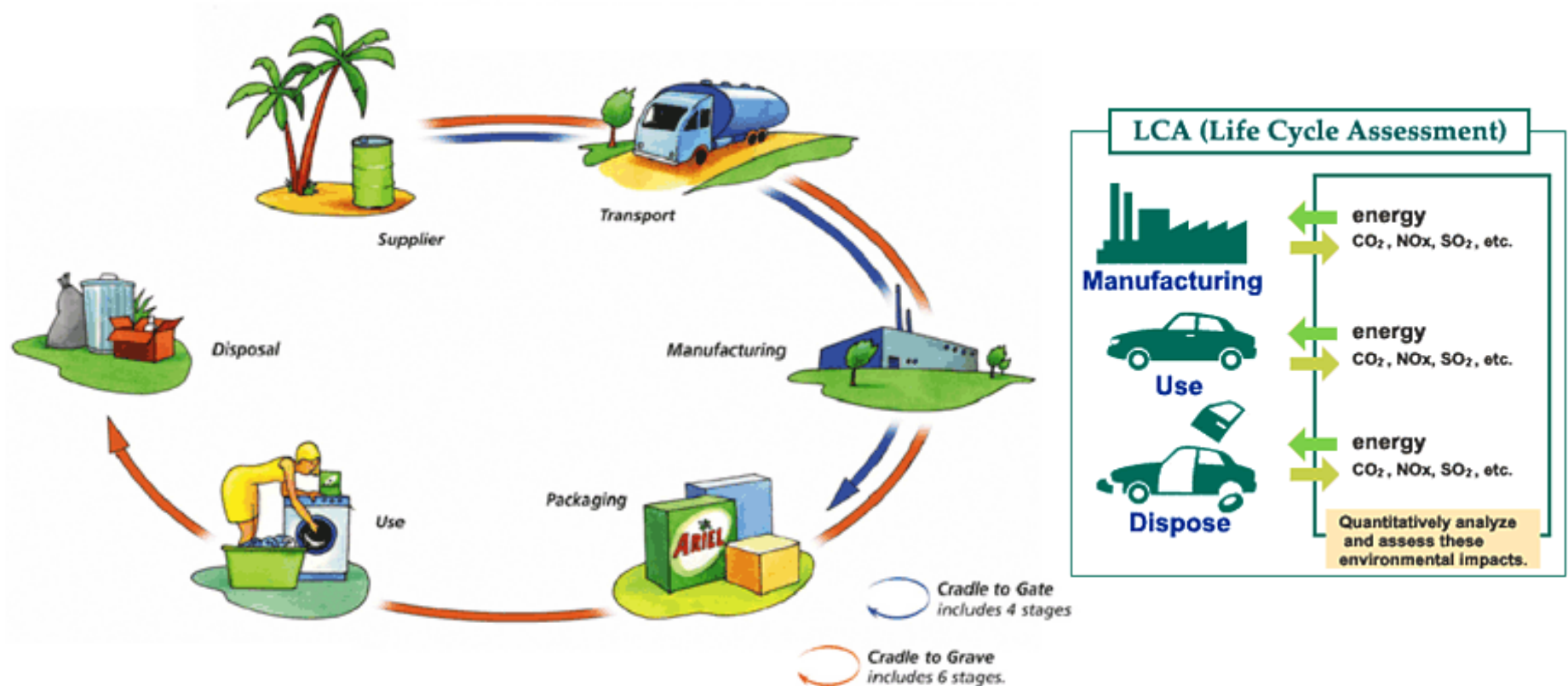
El sector de energía eléctrica absorberá el 62 % de las inversiones mundiales en energía. (Fuente EIA)

Aspectos que contribuirían a reducir las emisiones de CO2 entre el 2002 y el 2020.

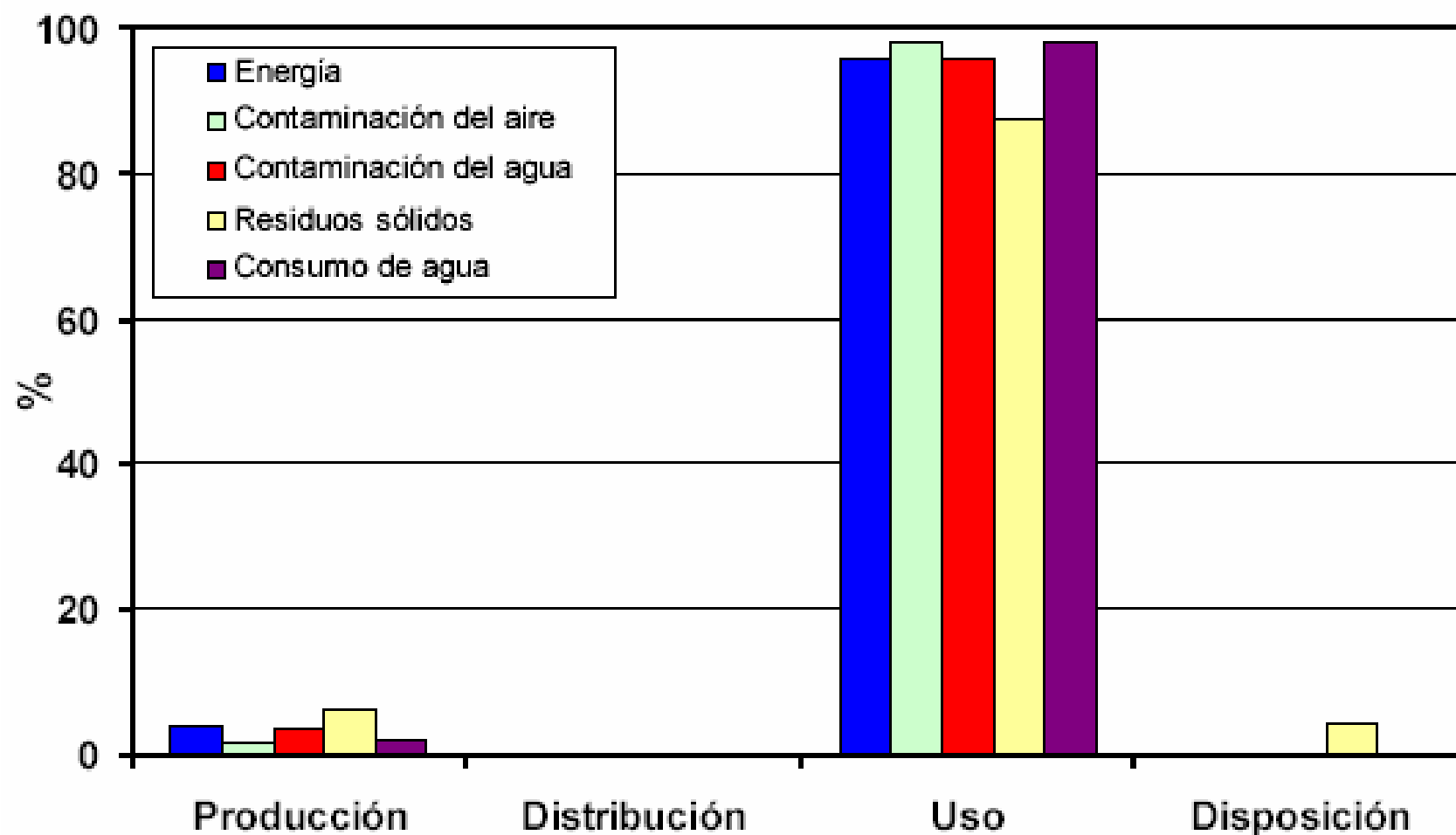


Mejoras en la eficiencia en el uso final contribuirá con más de la mitad de la reducción de emisiones (Fuente: EIA).

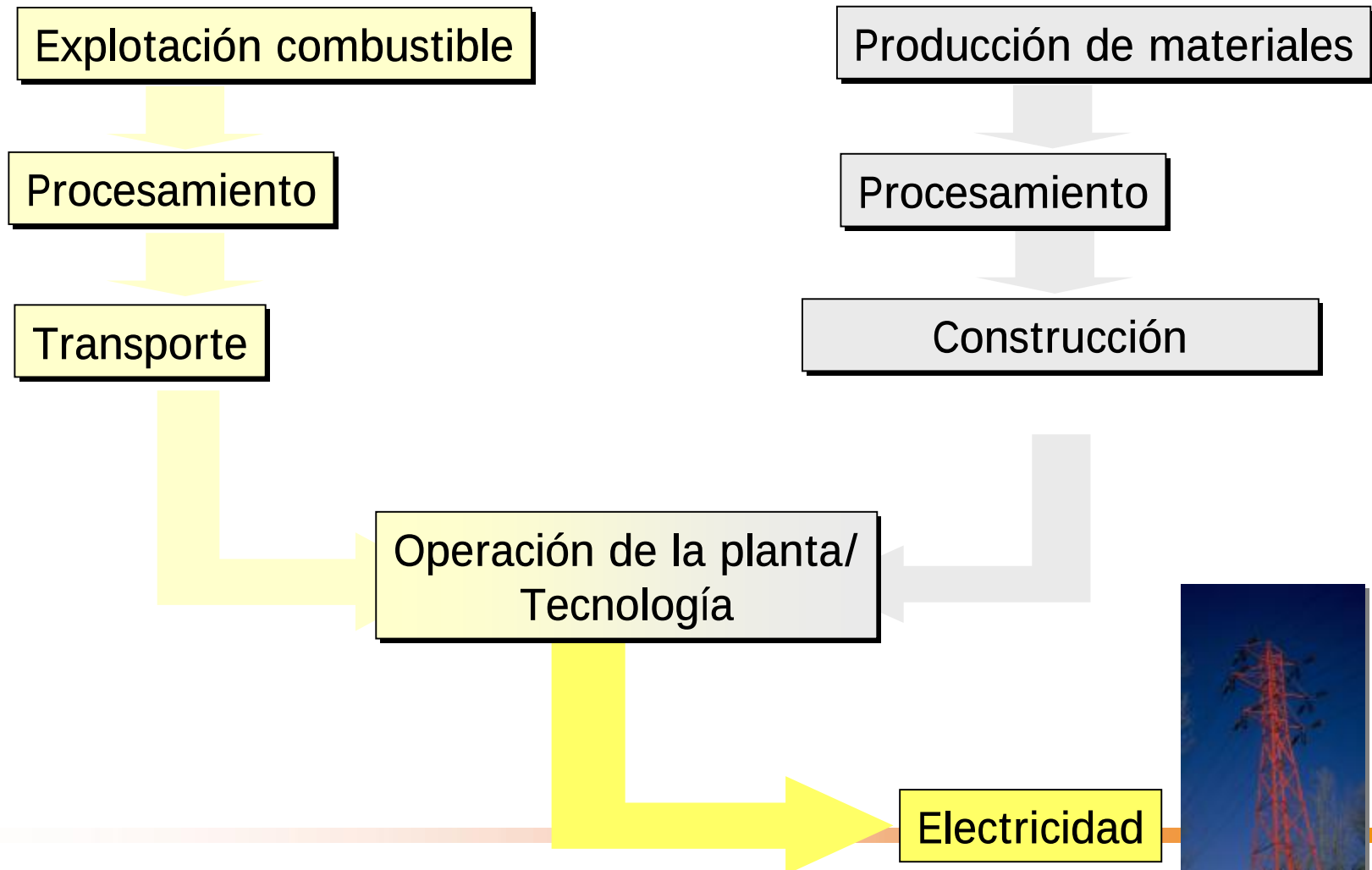
Todo producto o servicio tiene un ciclo de vida, desde la cuna hasta la tumba



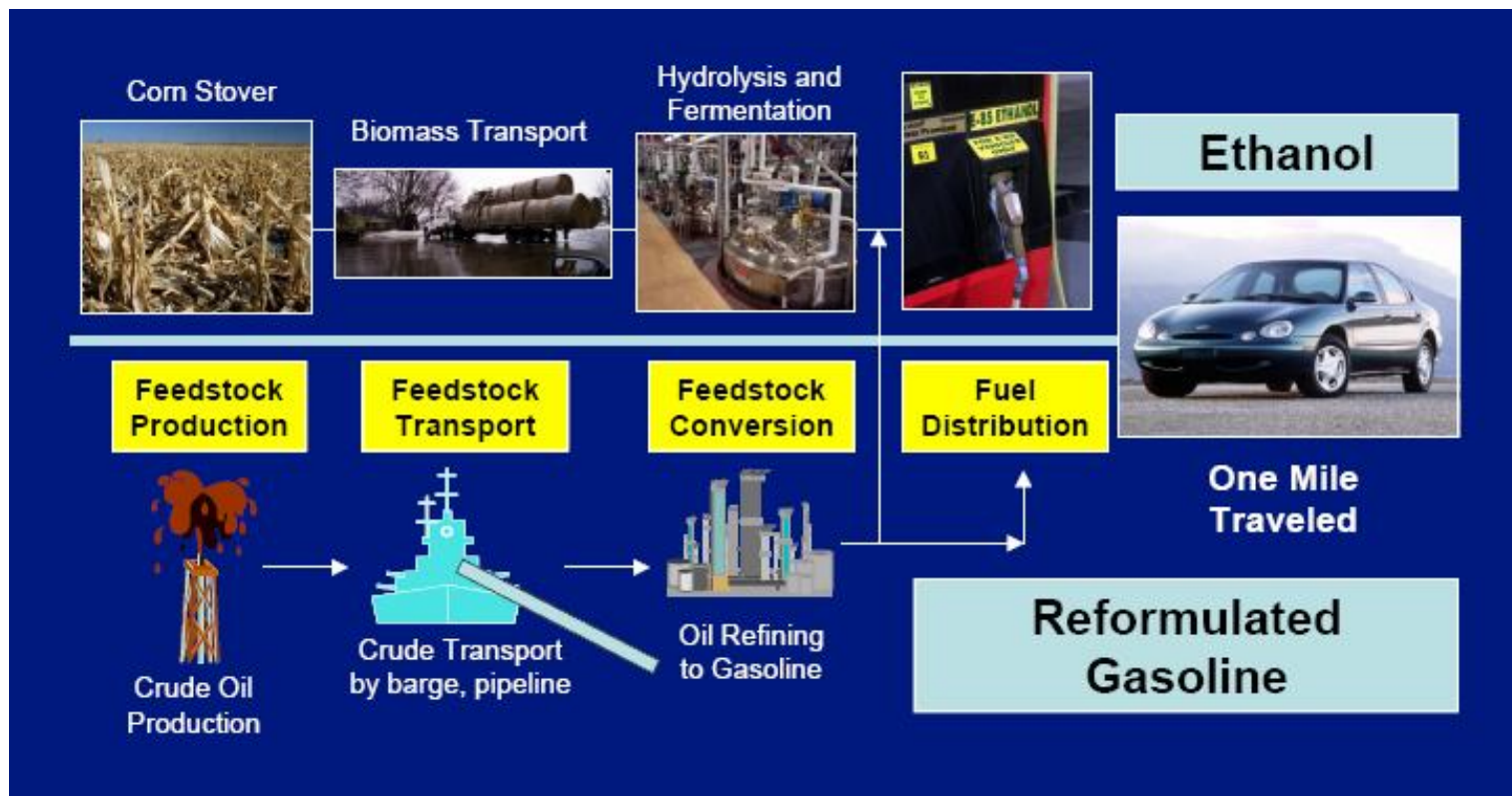
Impactos ambientales en el ciclo de vida de una lavadora



Ciclo de vida para las tecnologías de generación eléctrica: **Condiciones de Frontera. Ciclo del combustible.**



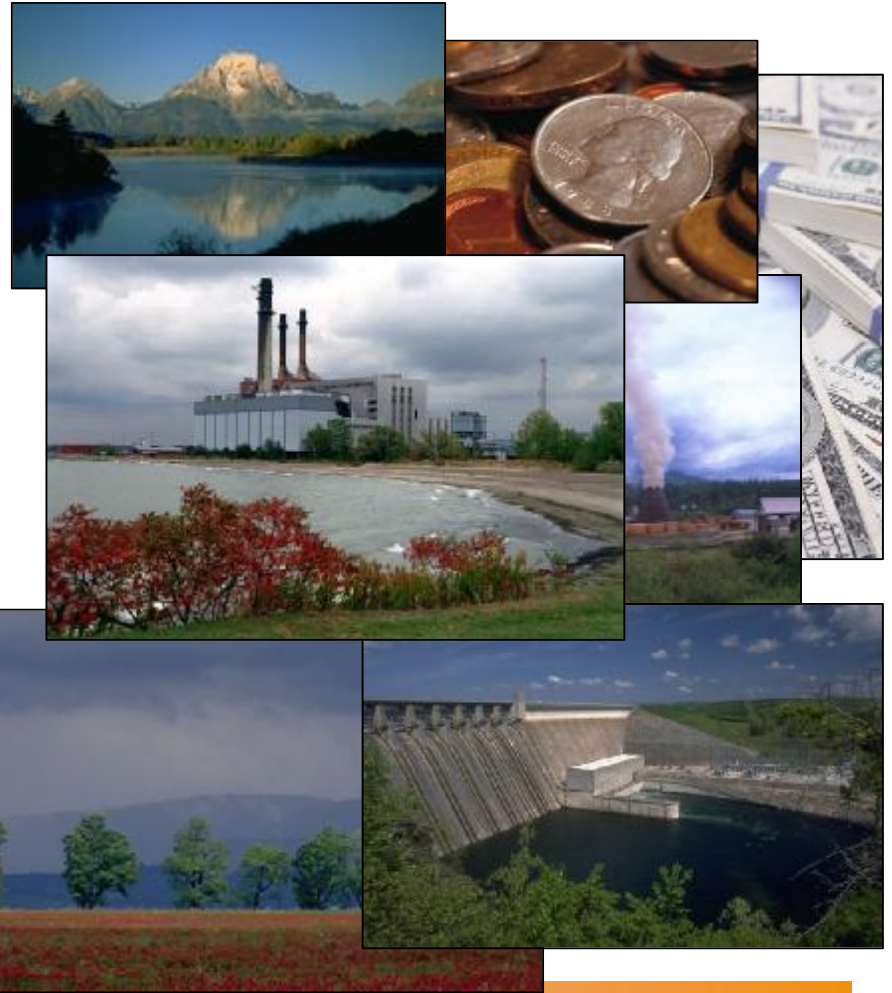
Ciclo de vida para Etanol a partir de maíz.



Aspectos a evaluar en las tecnologías energéticas

- Aspectos relevantes

- Uso eficiente de los recursos naturales.
- Impactos sobre el aire y el agua.
- Disponibilidad y usos de la tierra.
- Económicos y sociales.



Medida de los aspectos relevantes

- **Aspecto**

- Uso eficiente de los recursos naturales.
- Impactos sobre el agua y el aire.
- Disponibilidad y usos de la tierra.
- Impactos económicos y ambientales.

- Medida para el ACV

Net Energy Ratio

External Energy Ratio

Global Warming Potential

Acidification Potential

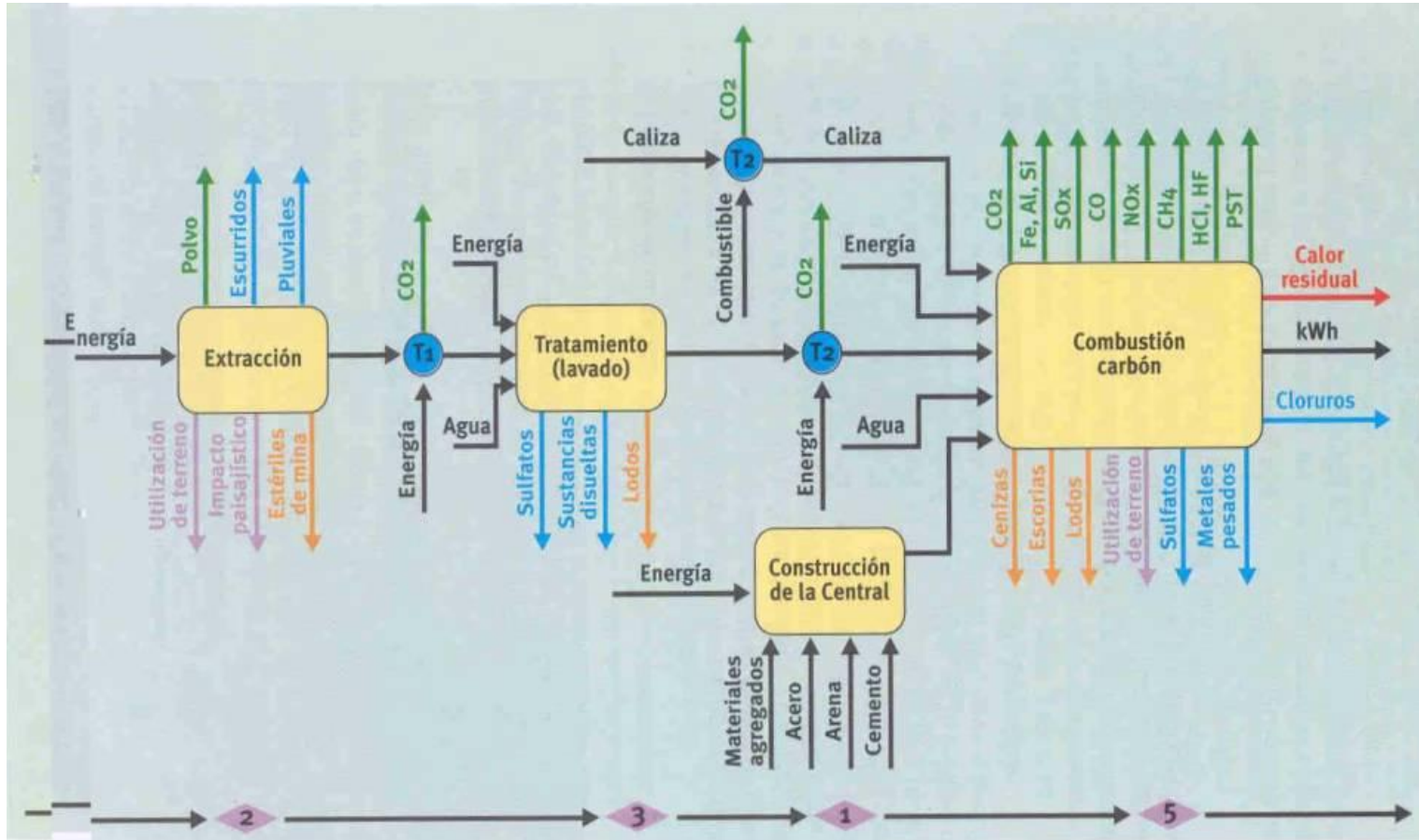
Land Use

Fuel Costs

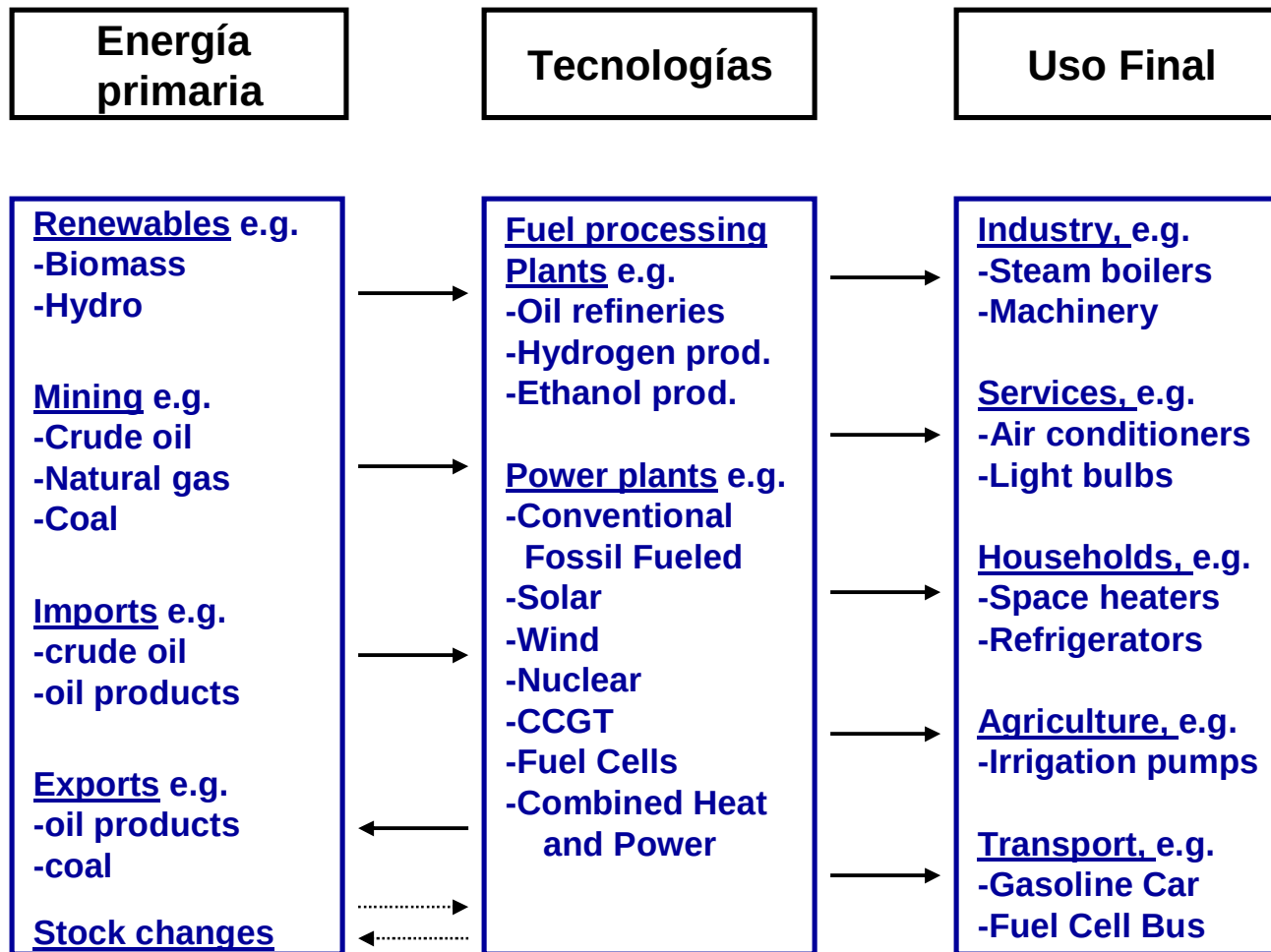
Cost of Electricity

Societal Costs

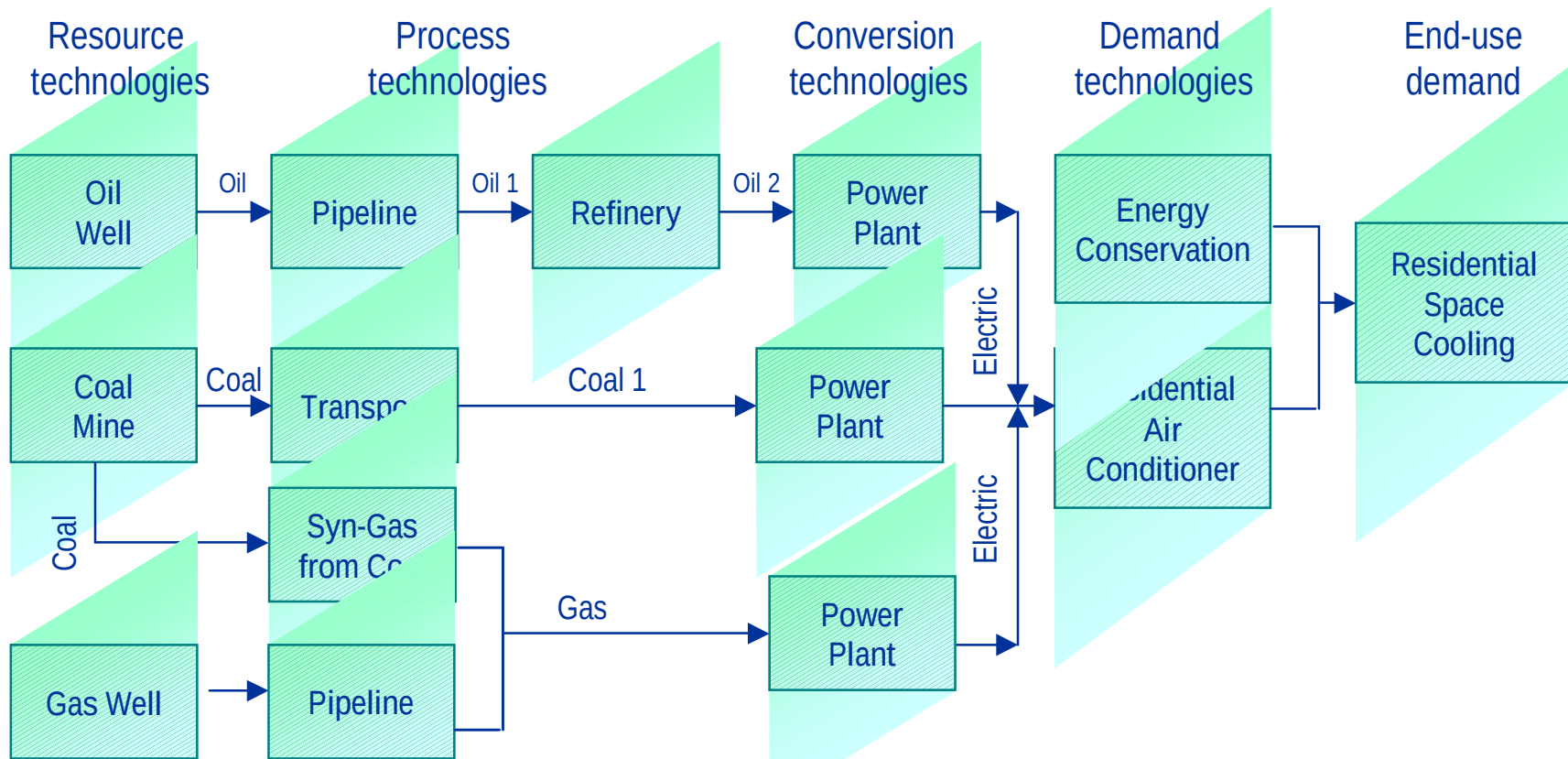
Ciclo de vida del combustible para la producción de energía a partir del carbón



Ciclo de Vida de las Tecnologías Energéticas



Ejemplo de los sistemas de generación de energía eléctrica



Antecedentes

- 8 Primeros estudios enfocados a la eficiencia energética.
- 8 En 1969 Coca Cola contrato el primer estudio con el Midwest Research Institute.
- 8 En 1972 se desarrollo en Europa el ECOBALANCE y Ian Boustead realizó sus primeros estudios sobre plásticos.
- 8 A mediados de los 80's se consolido el interes por el LCA teniendo en cuenta los impactos ambientales.
- 8 Gran avance en los últimos 10 años.
 - 8 SETAC (Guías metodológicas-1993)
 - 8 SPOLD (Asociación de compañías para la promoción-1992)
 - 8 CML (Universidad de Leiden)
 - 8 Desarrollo de bases de datos ambientales (información) y herramientas informáticas para el uso de la metodología.
- 1997-2000, ISO publica los estándares 14040-43, definiendo las diferentes etapas del LCA.
- 1998-2001, ISO publica los estándares y reportes técnico 14047-49
- 2000, UNEP y SETAC crean la iniciativa LCA.
- 2006 ISO publica las normas 14040 & 14044, con la que se actualiza la versión anterior.

Definición dada en las Guías Nórdicas para el ACV.

“ Es un proceso para evaluar las cargas ambientales asociadas con un sistema productivo o actividad identificando y describiendo cuantitativamente la energía y los materiales usados, los desechos vertidos al ambiente, y evaluando los impactos que tienen estos usos de materiales y energía. La evaluación incluye la totalidad del ciclo de vida del producto o servicio, como son la extracción y procesamiento de materias primas, manufactura, distribución, uso, reutilización, mantenimiento, reciclado y disposición final; así como todo los transportes involucrados.”

Definición del ACV dada por ISO.

El LCA es una técnica para evaluar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, mediante:

4 *La realización de un inventario de las entradas y salidas que son relevantes en el sistema. ECOBALANCE.*

4 *La evaluación del impacto ambiental potencial asociado con estas entradas y salidas. VALORACIÓN IMPACTO*

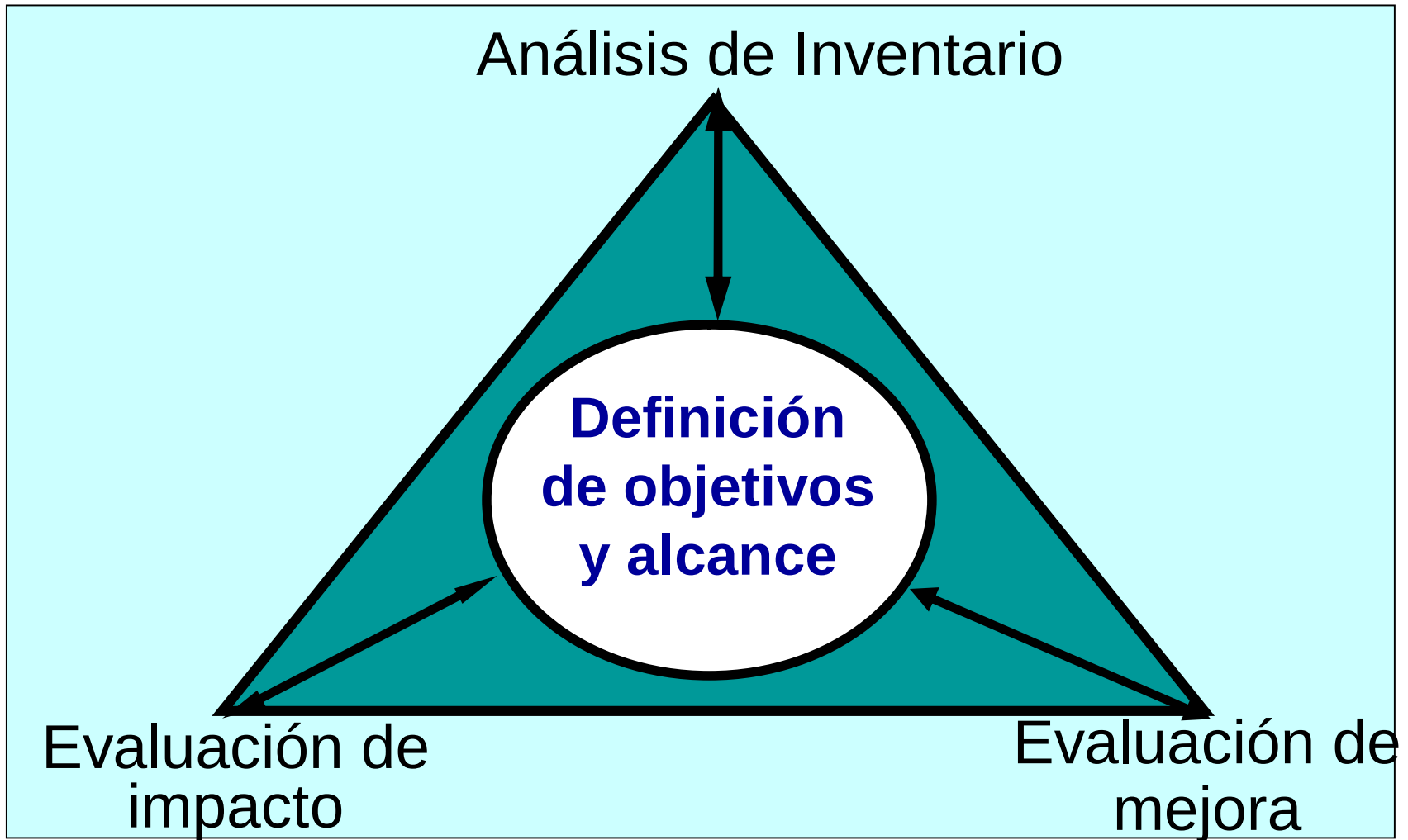
4 *La interpretación de resultados del inventario y las fases de impacto en relación con los objetivos del estudio. MEJORA DEL SISTEMA O EL PRODUCTO*

El LCA estudia los aspectos ambientales y los impactos potenciales a través de la vida del producto desde la adquisición de las materias primas, pasando por su producción uso y disposición. Las categorías generales de impacto ambiental tomadas en consideración incluye el uso de recursos, salud humana y consecuencias ecológicas.

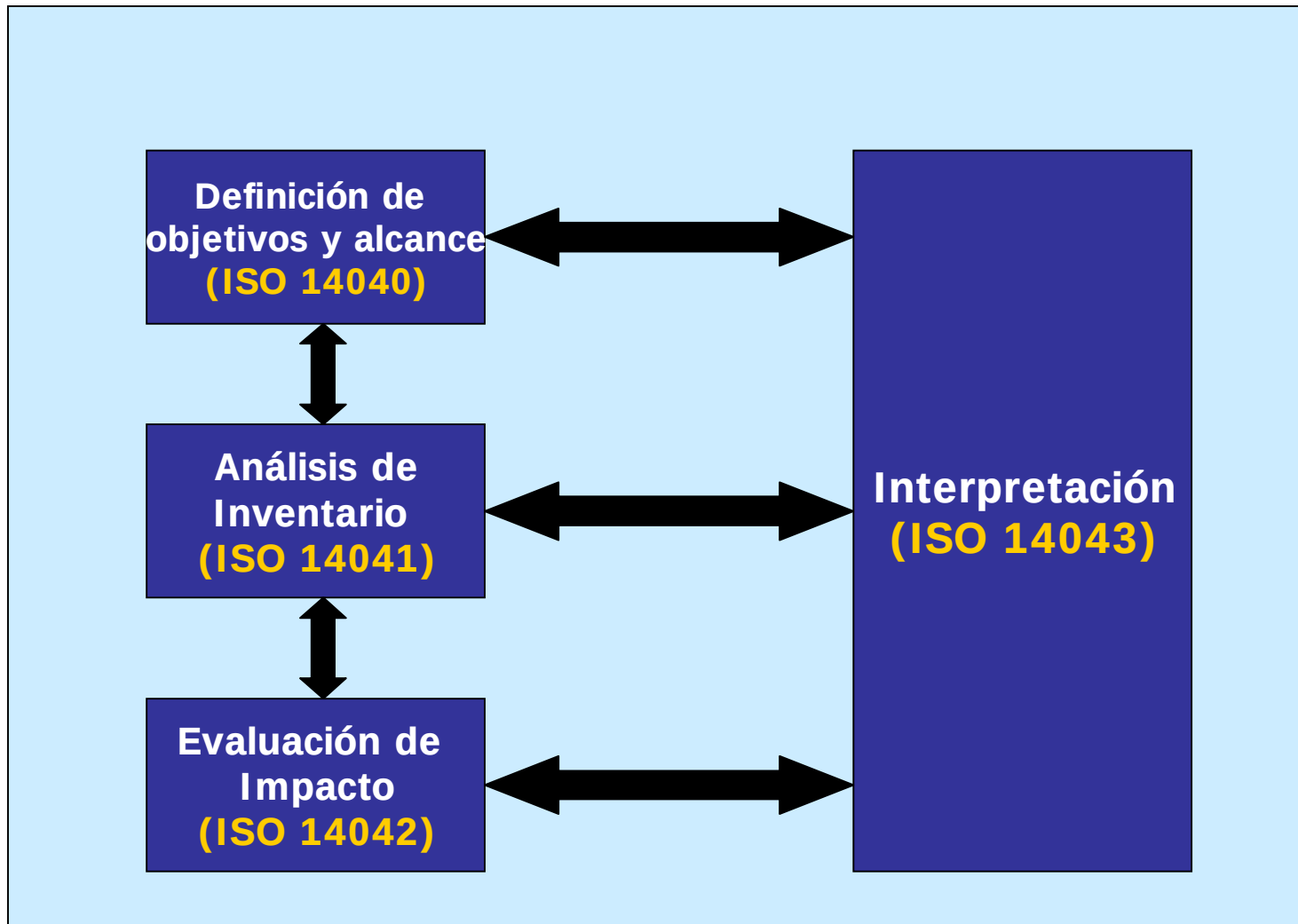
Marco General ACV – Ecobalances



LCA Marco Conceptual: Definición SETAC



El ACV dentro de ISO 1400x



Estructura del ACV - EDA



Definición de objetivos

Comparar dos o más productos diferentes que realizan completamente la misma función.

Identificar las posibilidades de mejoras en desarrollos futuros de productos existentes o en la innovación y diseño de nuevos productos.

Identificar, áreas o etapas en el ciclo de vida de un producto donde se generan mayores impactos ambientales.

Alcance

- + El sistema a ser estudiado.**
- + Función del sistema, o en caso de estudios comparativos, sistemas.**
- + La unidad funcional.**
- + Los límites del sistema.**
- + Procedimientos de asignación de cargas.**
- + Los tipos de impacto, la metodología de evaluación de impacto y de interpretación que será usada.**
- + Requerimientos de datos. (Bases de datos)**
- + Calidad requerida en los datos iniciales.**

Análisis de Inventario

- ØRecolección de los datos.
- ØRefinamiento de los límites del sistema.
- ØCálculos.
- ØValidación de los datos.
- ØRelación de los datos para el sistema específico.
- ØDefinición de los procedimientos de asignación.
- [..\SimaPro 7 Demo.Ink](#)

Evaluación de Impacto Ambiental

Selección de Categorías

Lista Nórdica

Energía y Materiales.
Agua
Tierra
Calentamiento Global
Disminución del ozono estratosférico.
Salud Humana
Impactos ecotoxicológicos.
Acidificación
Eutrofización
Alteración del hábitat.
Trabajo ambiental.

Lista ISO

Recursos Abióticos.
Recursos Bióticos.
Uso de la tierra.
Calentamiento global.
Cambio climático.
Disminución del ozono estratosférico.
Toxicidad humana.
Ecotoxicidad.
Acidificación.
Eutrofización.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

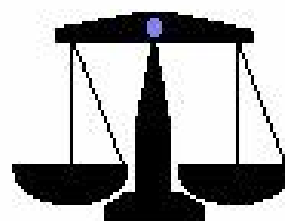
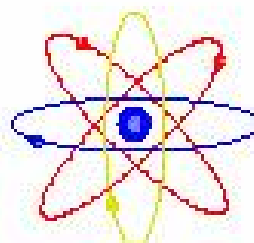
CLASIFICACIÓN. Dividir las categorías en tres grandes grupos: impactos globales, regionales o locales. Asignar los datos de inventario a las diferentes categorías.

CARACTERIZACION. Modelar los impactos en términos de indicadores para agregarlas dentro de la misma categoría de impacto. Cada categoría tiene un modelo específico para relacionar los datos.

C. EVALUACIÓN DEL IMPACTO

Inventario de Ciclo de Vida $\times$ Método de Evaluación/Valoración = Interpretación Análisis del Impacto

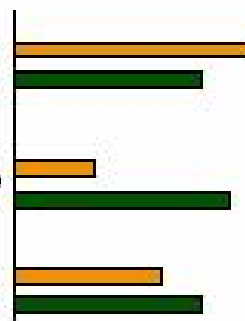
ENTRADAS		
Energía		
Electricidad	MJ	2 718 356
Gas	MJ	1 345 924
Diesel	MJ	206 789
Materiales		
Bauxita	kg	762
Roca de sal	kg	467
Caliza	kg	40
Arena	kg	222
Materiales auxiliares		
Aire comprimido	m3	65
Estabilizadores	kg	30
Acondic. de agua	kg	0
Agua	m3	10
Vapor	m3	2



Efecto Invernadero

Agotamiento Ozono

Acidificación



3) Volumen Crítico (Suiza)

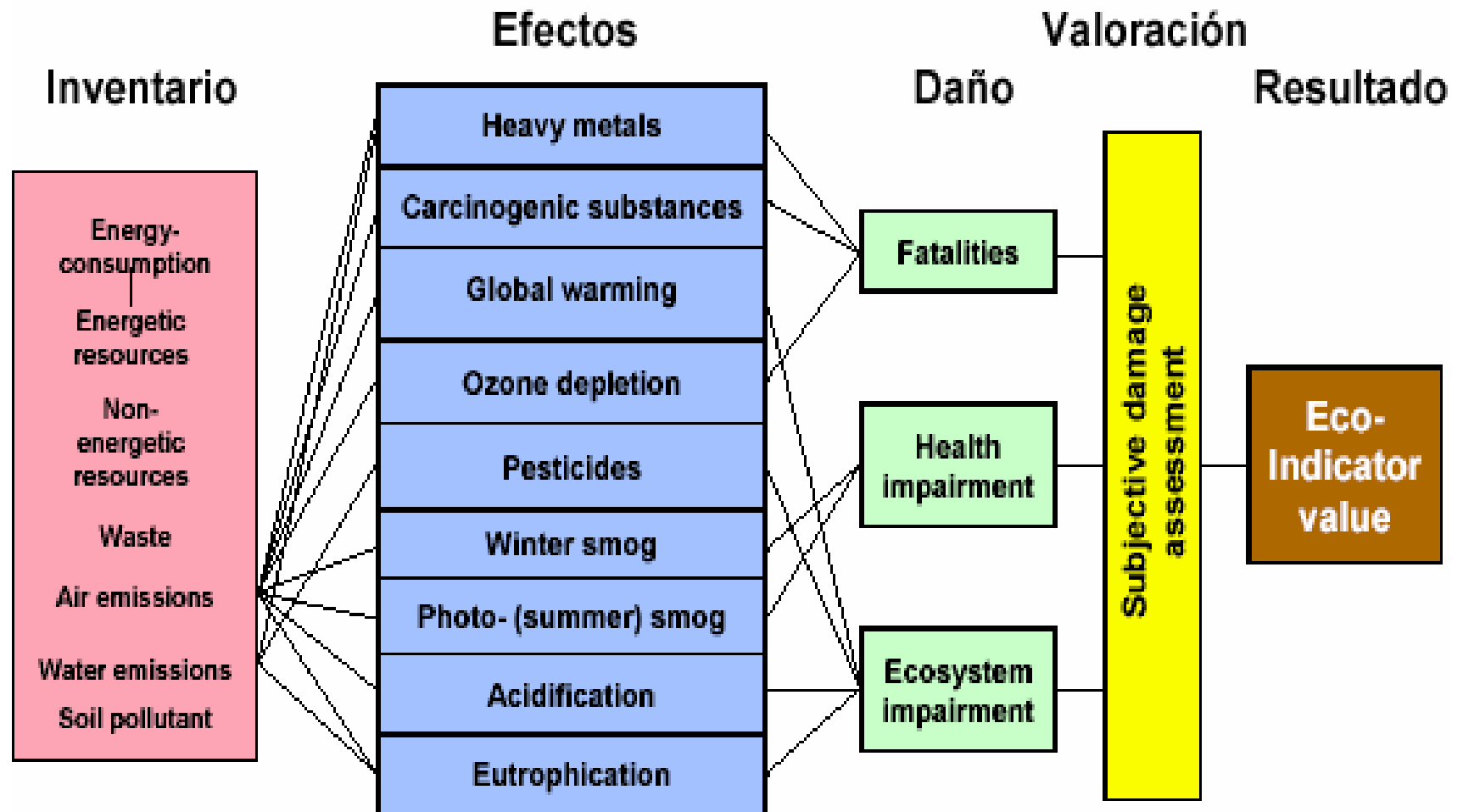
Los impactos ecológicos se presentan en las siguientes categorías:

Energía:	Energía térmica	(MJ)
Materiales:	Peso	(kg)
Emisiones al aire:	Volumen crítico	(m ³)
Emisiones al agua:	Volumen crítico	(m ³)
Residuos:	Volumen	(dm ³)

Volumen crítico: La cantidad de contaminante es dividido por el límite permitido legal correspondiente. Ejemplo:

Contaminante	Cantidad	Límite legal	Volumen Cr.
SO ₂	0.5 g	30 mg/m ³	16'667 m ³
DBO	120 g	20 mg/l	6 m ³

4) Eco-Indicator 95

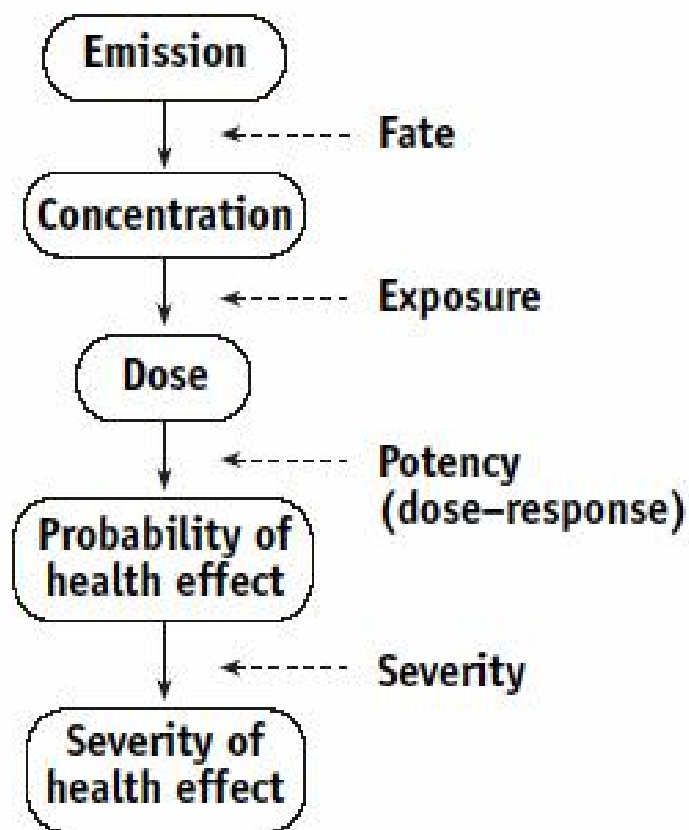


Valoración económica de los impactos ambientales: Externalidades

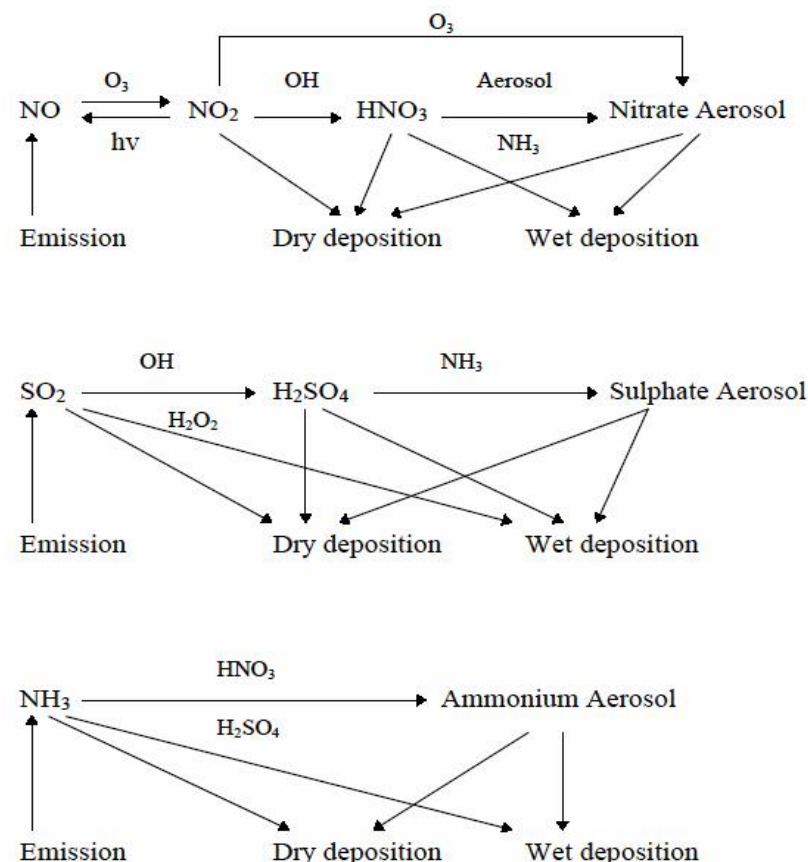
Costos en los que incurre la sociedad en general en detrimento de la economía, el desarrollo ambiental y social.

- **Impactos sobre la salud (\$) y el ambiente relacionados con la contaminación generada por la tecnología.**
- **Cobros de seguros debidos a accidentes o desastres “naturales”**
- **Políticas que no reflejan los precios de mercado.**
 - **Seguridad en el suministro**
 - **Aceptación social**
 - **Compromisos políticos**

Metodología Externe



Etapas para calcular los factores de caracterización de los impactos sobre la salud humana



Modelo químico para las emisiones al aire en la metodología externe

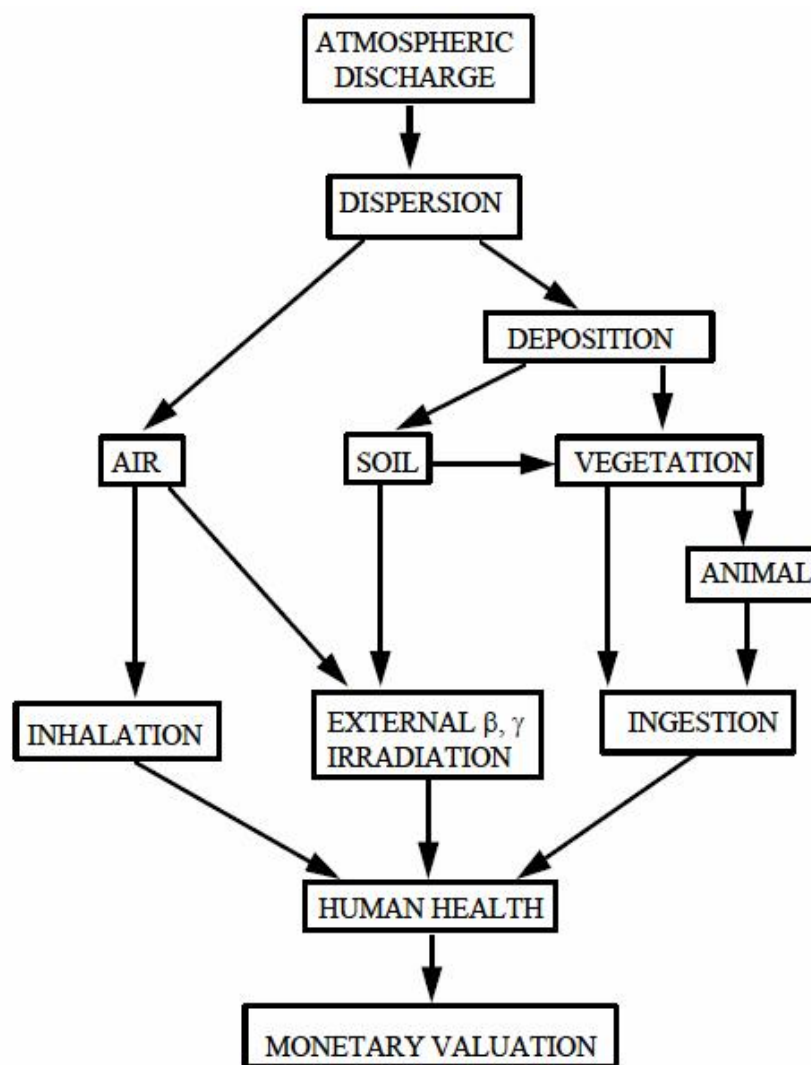


Fig. 16 Impact pathway for an atmospheric release of radionuclides into the terrestrial environment

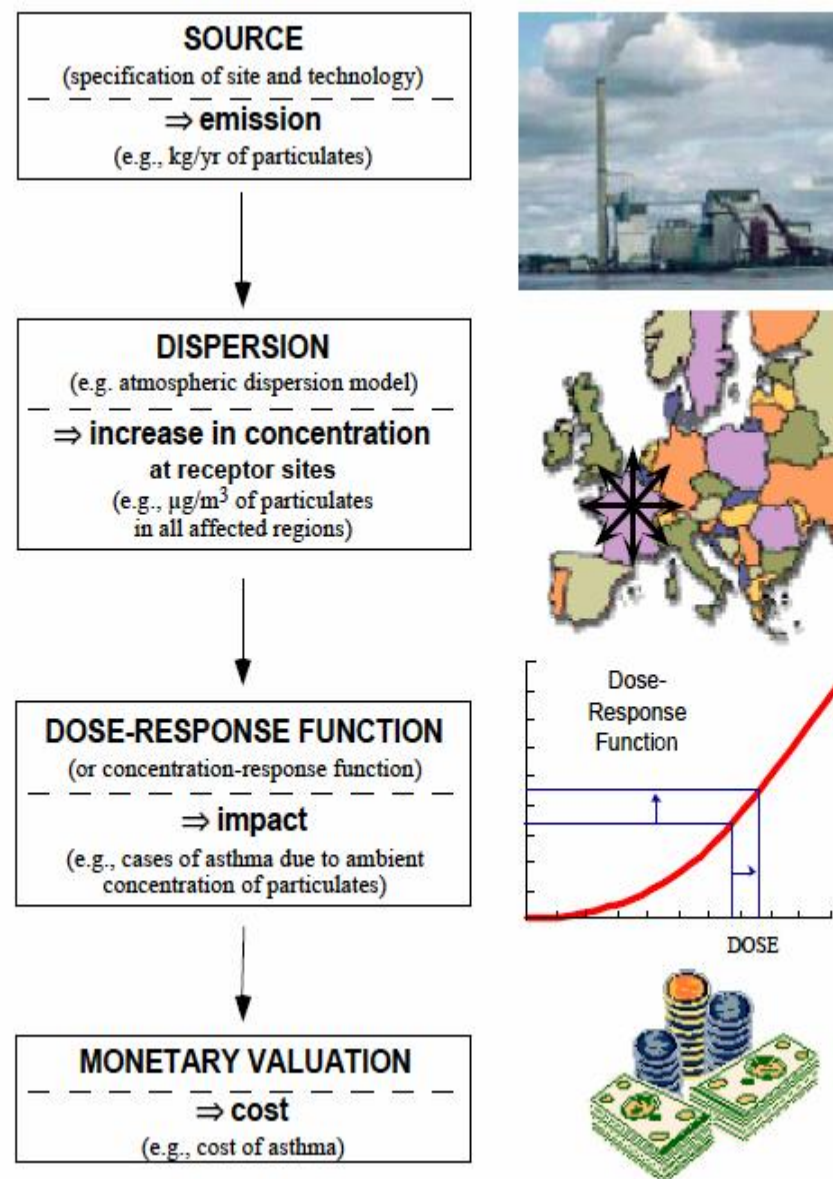


Fig. 17 The Externe Methodology, Ari Rabl [2003]

ACV de tecnologías tradicionales de generación eléctrica

Petróleo

Ciclo de vapor

Carbón

Ciclo de vapor

**Gasificación integrada
con ciclo combinado
GICC**

**GICC con captura de
CO₂**

Gas

Turbina de gas

**Turbina de gas con ciclo
combinado**



Eficiencia Energética y Rendimientos Energéticos

Eficiencia en el Ciclo de Vida (%): Incluye la energía consumida por todos los procesos.

$$h_{LC} = \frac{E_G - E_U - E_F}{E_F}$$

Eficiencia Energética Externa (%): No incluye la energía contenida en el combustible que se alimenta a la planta

$$h_{EXT} = \frac{E_G - E_U}{E_F}$$

Razón Energética Neta: Muestra cuanta energía es producida por cada unidad de energía fósil consumida.

$$h_{FF} = \frac{E_G}{E_{FF}}$$

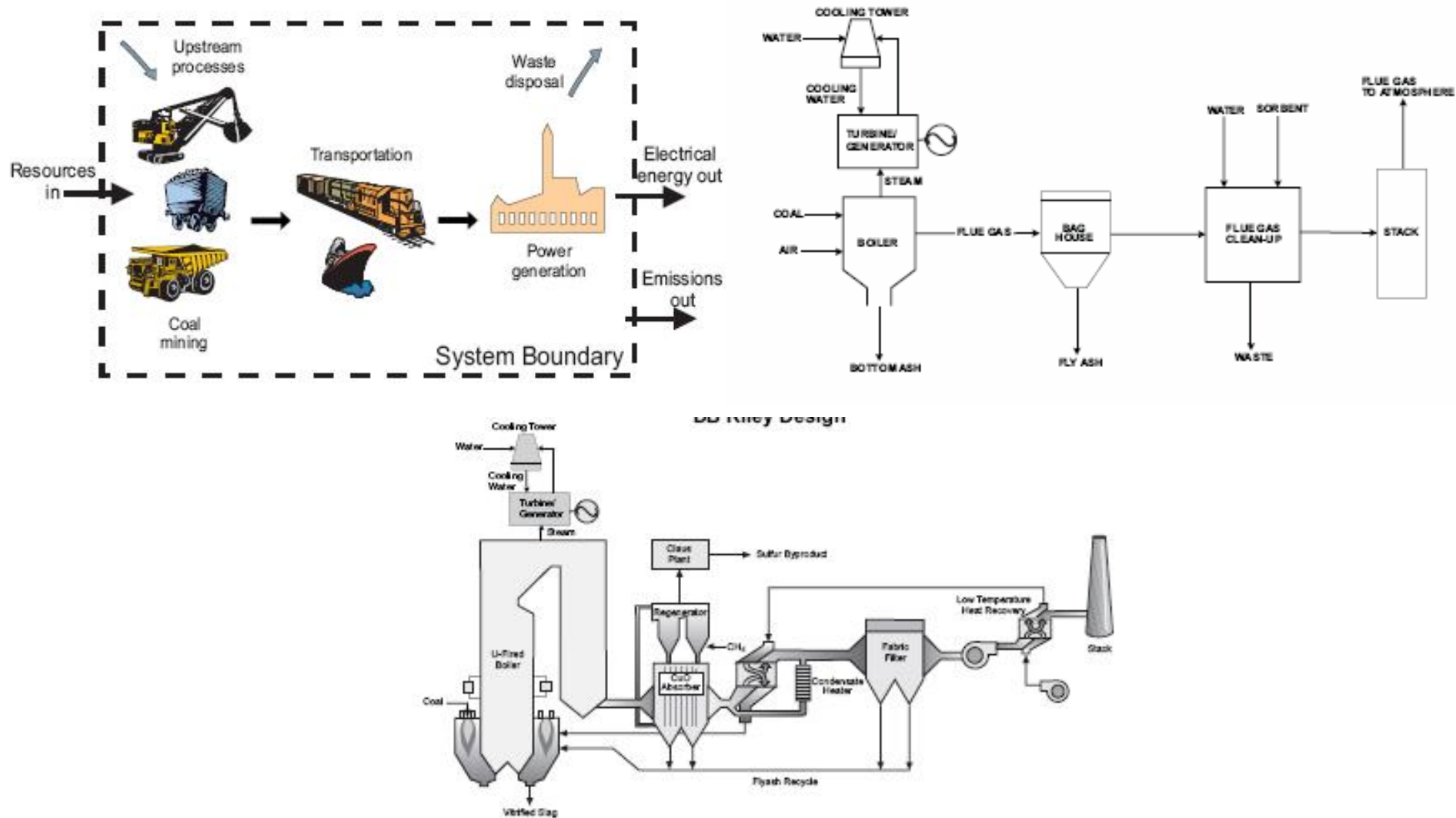
Razón Energética Externa: Excluye la energía suministrada por el combustible

$$h_P = \frac{E_G}{E_{FF} - E_F}$$

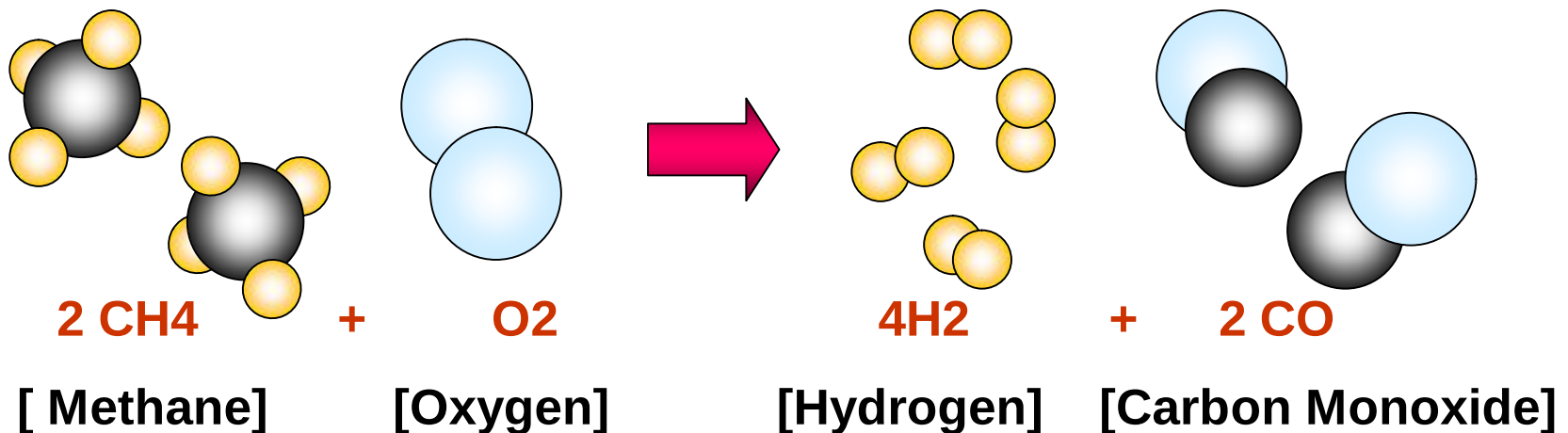
Notaciones

- **EG= Energía eléctrica entregada a la red eléctrica.**
- **EU= Energía consumida aguas arriba del proceso y que es necesaria para la operación de la planta térmica.**
- **EF= Energía contenida en el combustible.**
- **EFF= Energía fósil consumida por el sistema. Incluido el combustible alimentado a la central térmica desde que el recurso es usado en los límites del sistema.**

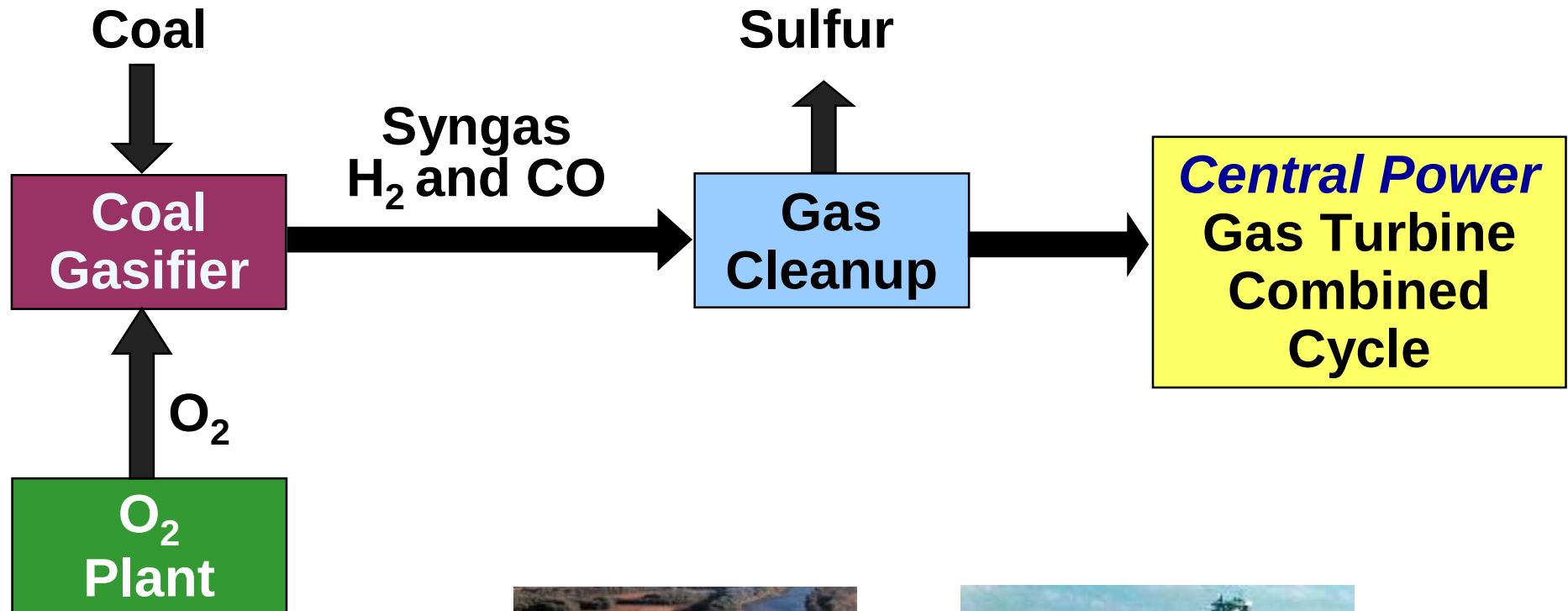
Plantas térmicas a carbón



Gasificación de carbón integrada con un ciclo combinada



Planta tradicional GICC

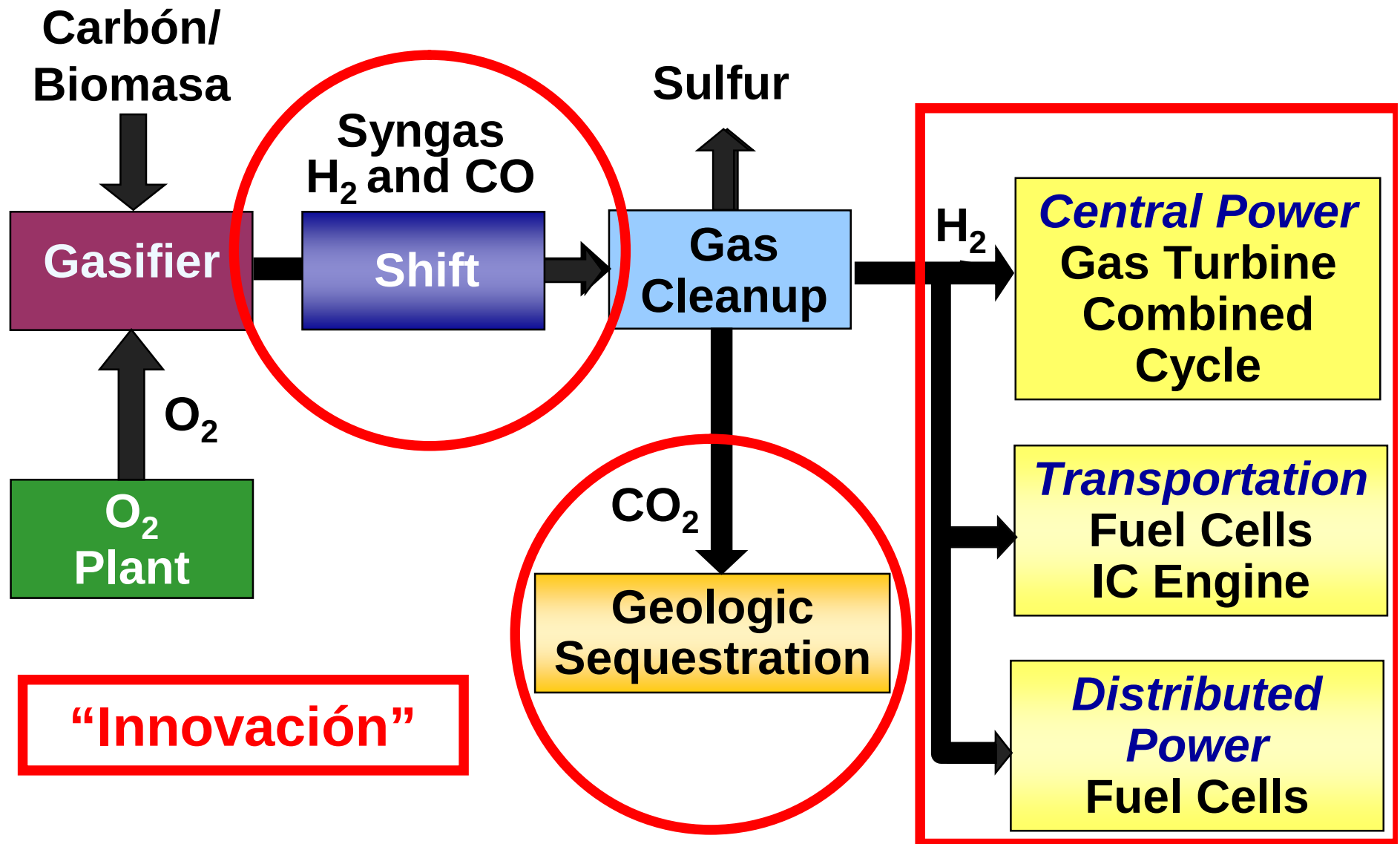


PSI Energy Wabash River
300-MW IGCC Power Plant

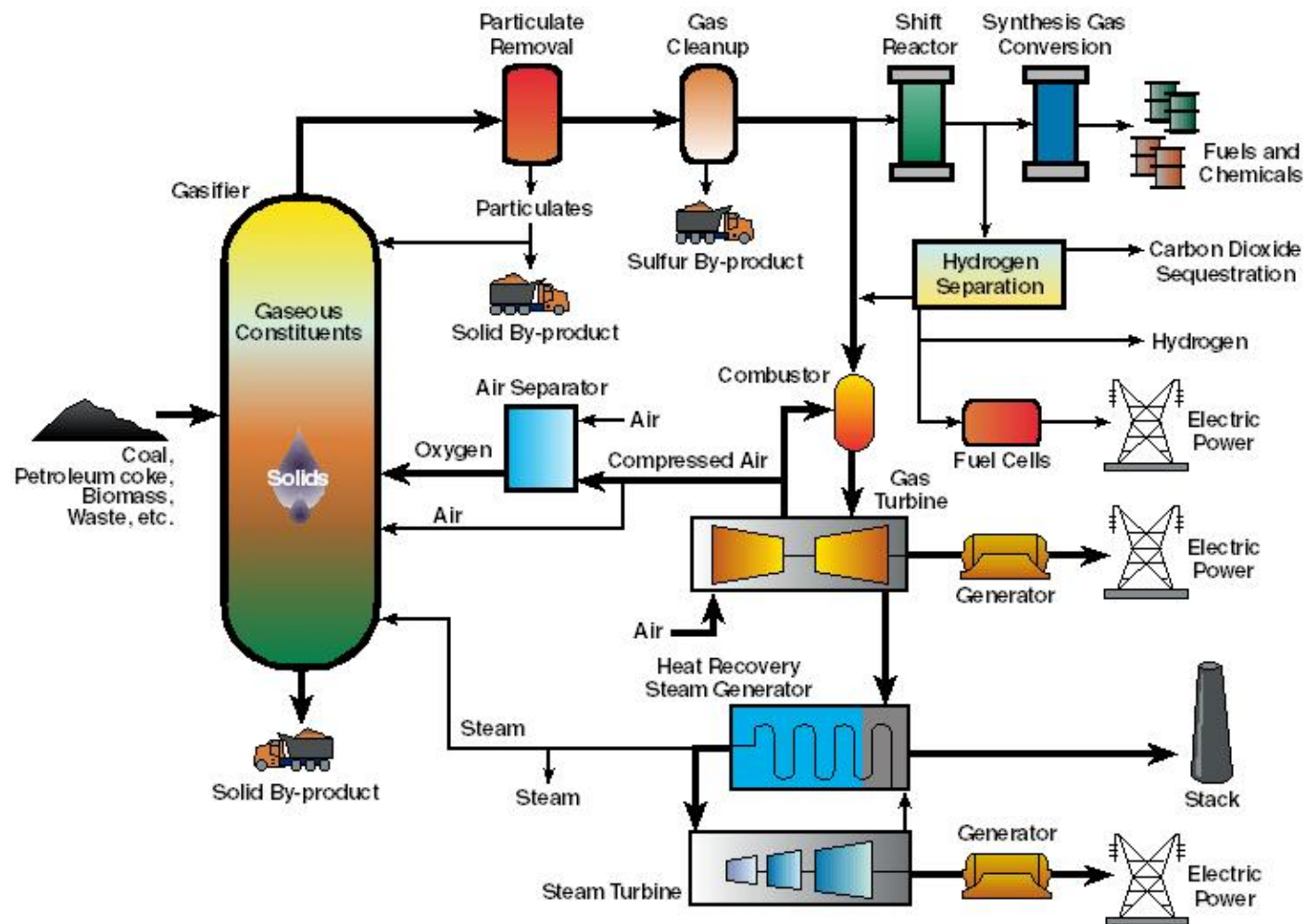


Tampa Electric
250-MW IGCC Power Plant

Ciclo GICC en el futuro

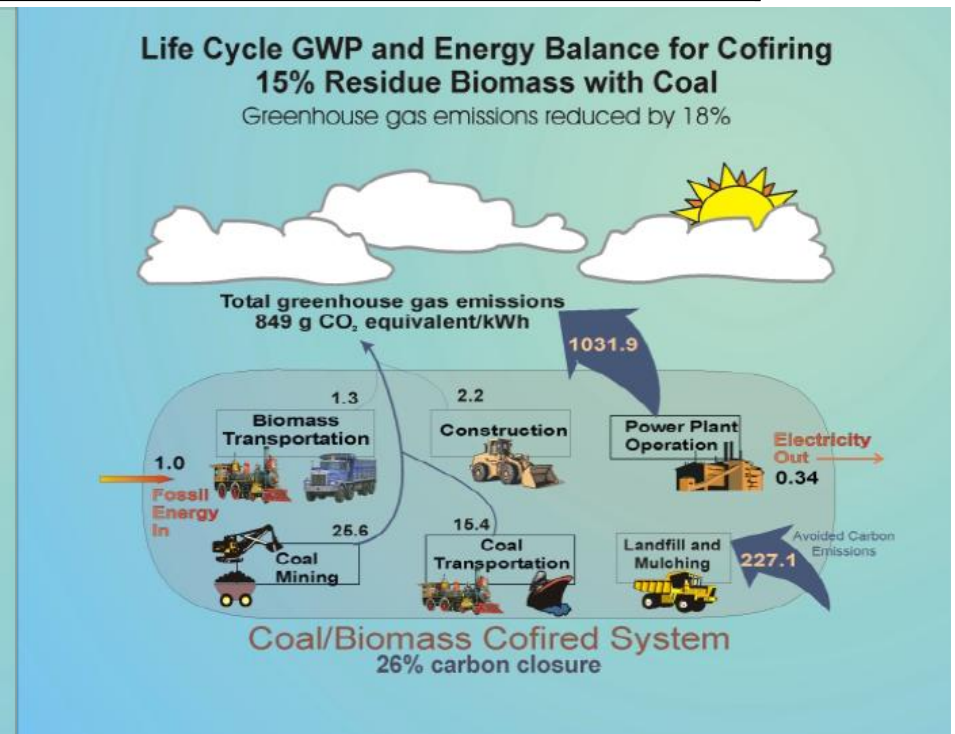
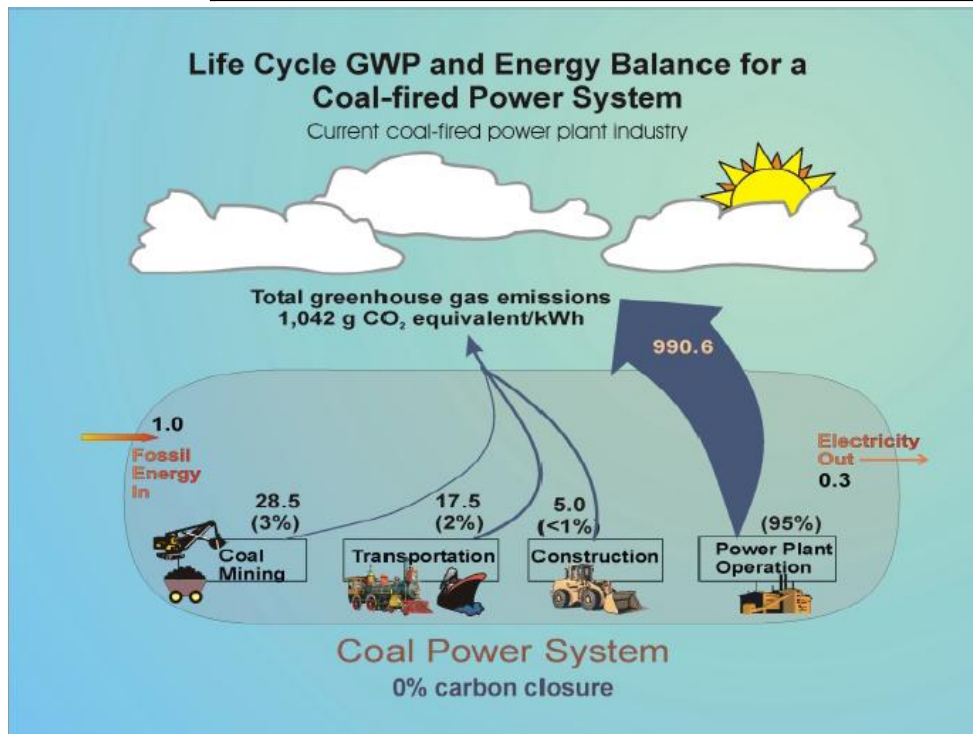


Ciclo GICC: Incremento de eficiencia y costo



Rendimientos energéticos

Sistema	Eff %	Eff CV %	Eff Ext %	REN	REE
Promedio	32	-76	24	0,29	5,0
NSPS	35	-73	27	0,31	5,1
LEBS	42	-66	34	0,38	6,7



Ciclo combinado operando con Gas Natural

Características Tecnológicas

Alta eficiencia

Índice de generación de emisiones menor que las tecnologías del carbón

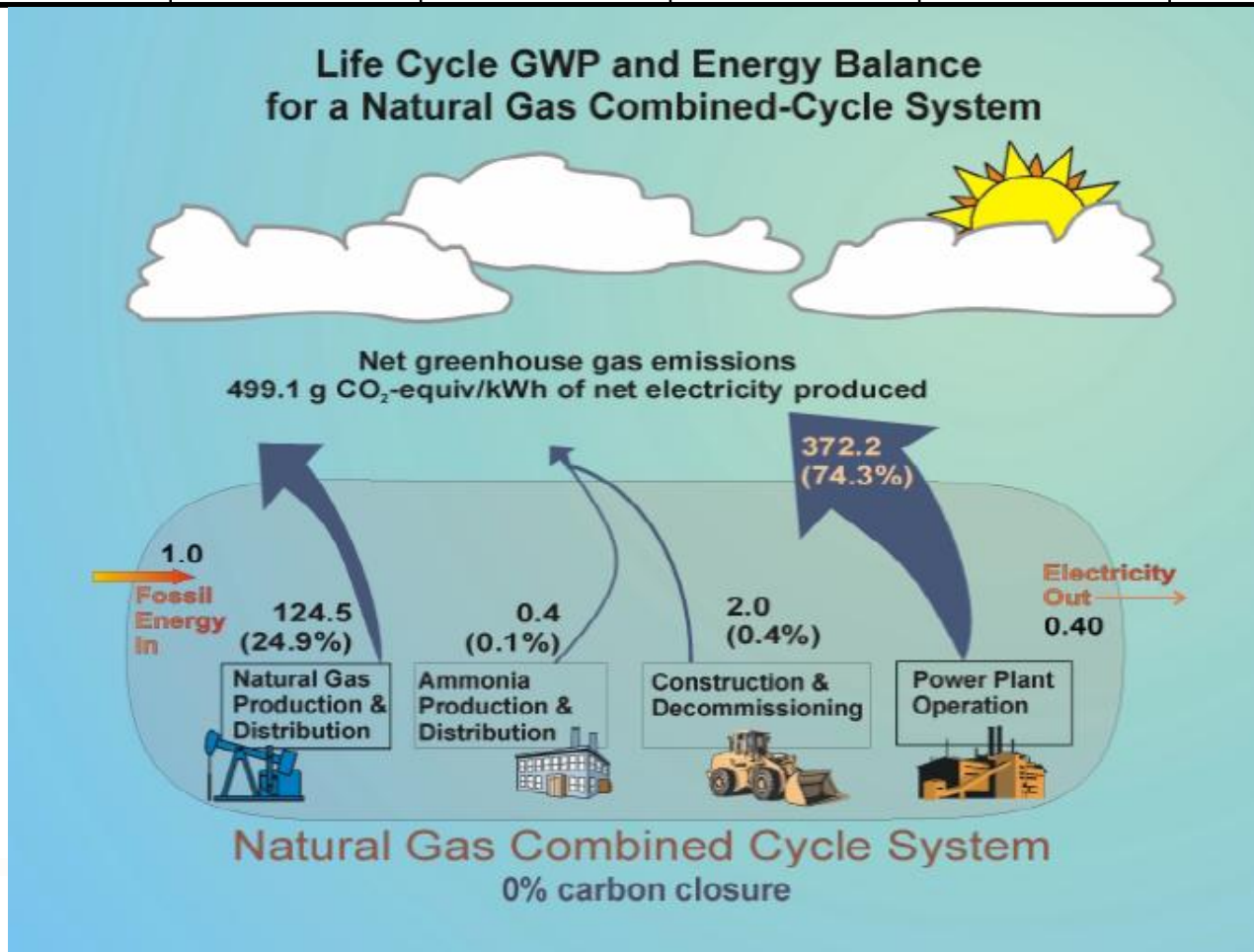
Costos de generación altos debidos a los costos del combustible

Solo pueden operar con combustibles limpios (Azufre, Cenizas)

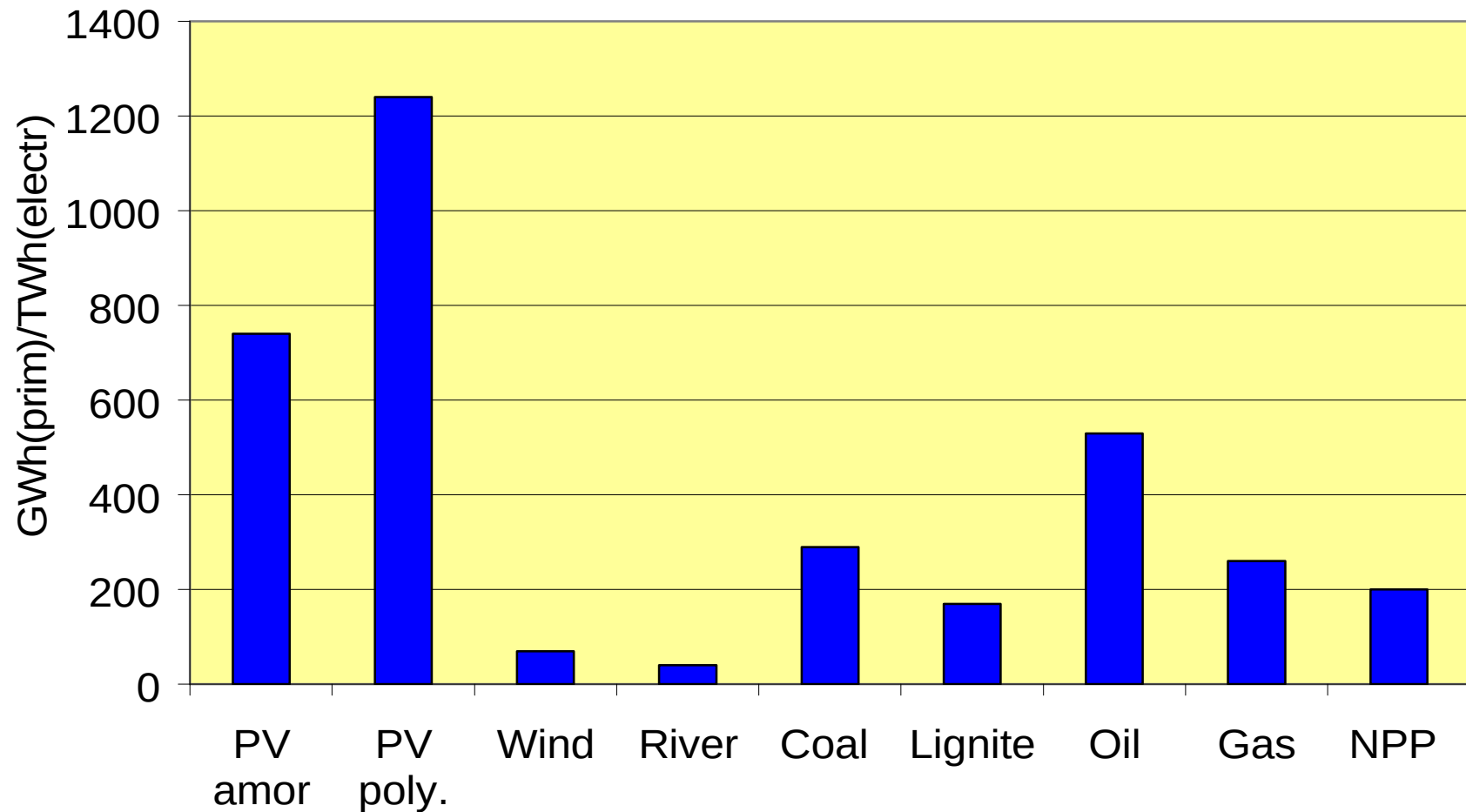


Rendimientos energéticos

Sistema	Eff %	Eff CV %	Eff Ext %	REN	REE
Promedio	48,8	-70,1	29,9	0,4	2,2



Consumption of primary energy for energy systems [Marh. 2000]



Para construir una planta de generación se requiere el uso de una cantidad de energía, que en el caso de los paneles solares es mayor que en los demás sistemas.

Biomasa como fuente de energía.



Producción de energía eléctrica a partir de biomasa

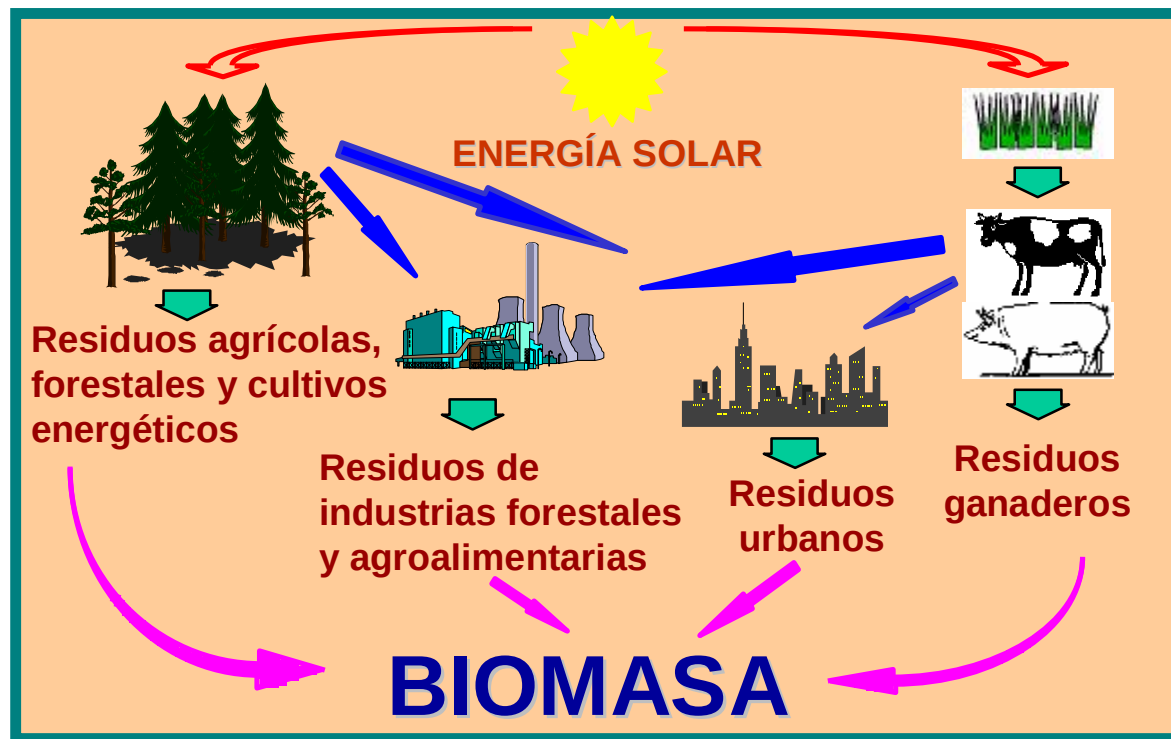
- **Características de la biomasa**

- Baja densidad energética. Energía contenida por unidad de volumen.
- Producción estacional, con bajo poder calorífico y en algunos casos con alta humedad.
- Dificultad para su tratamiento y alimentación a los sistemas tradicionales de combustión. Alta generación de inquemados y baja eficiencia energética.
- No es posible el transporte a grandes distancias. Los costos energéticos del transporte afectan su balance.
- El costo de producción es mayor que el de los combustibles fósiles. Deben generarse marcos legales que permitan el desarrollo de las inversiones.

BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA

La biomasa como fuente de energía comprende:

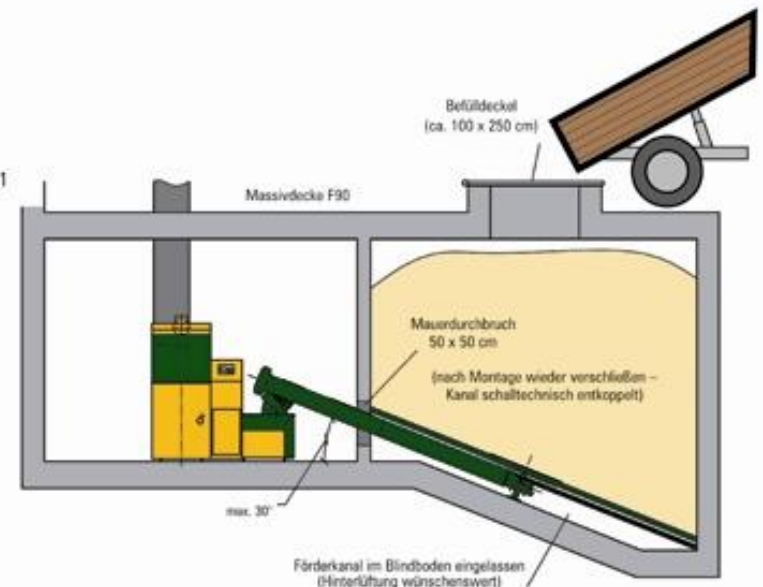
TODOS TIPO DE MATERIA ORGÁNICA



PRODUCCIÓN DE CALOR



Lufriss Variante 1

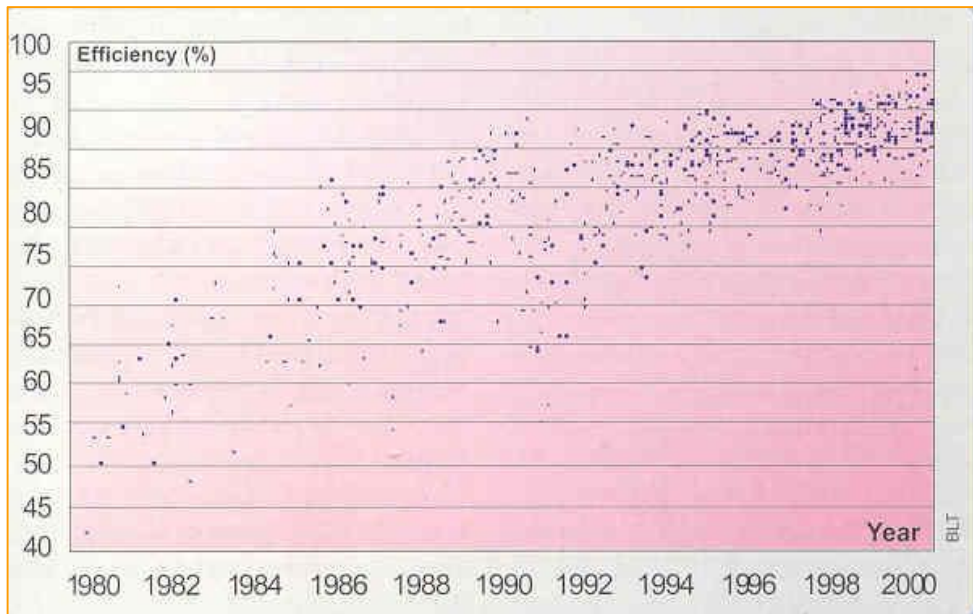


Tendencia: utilización de combustibles densificados (pellets, briquetas) estandarizados.

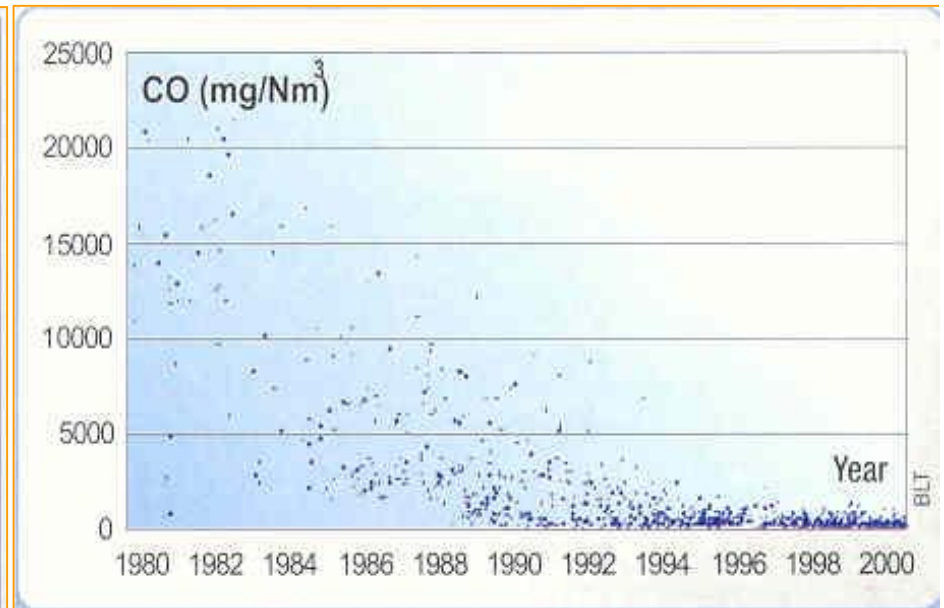
MEJORAS EN LA EFICIENCIA Y EN LAS EMISIONES

Evolución de los resultados en pequeñas calderas de biomasa.

Eficiencia



Emisiones CO



Fuente: Lasselsberger (2002)

¿Por qué no se utiliza más la biomasa para producir electricidad?

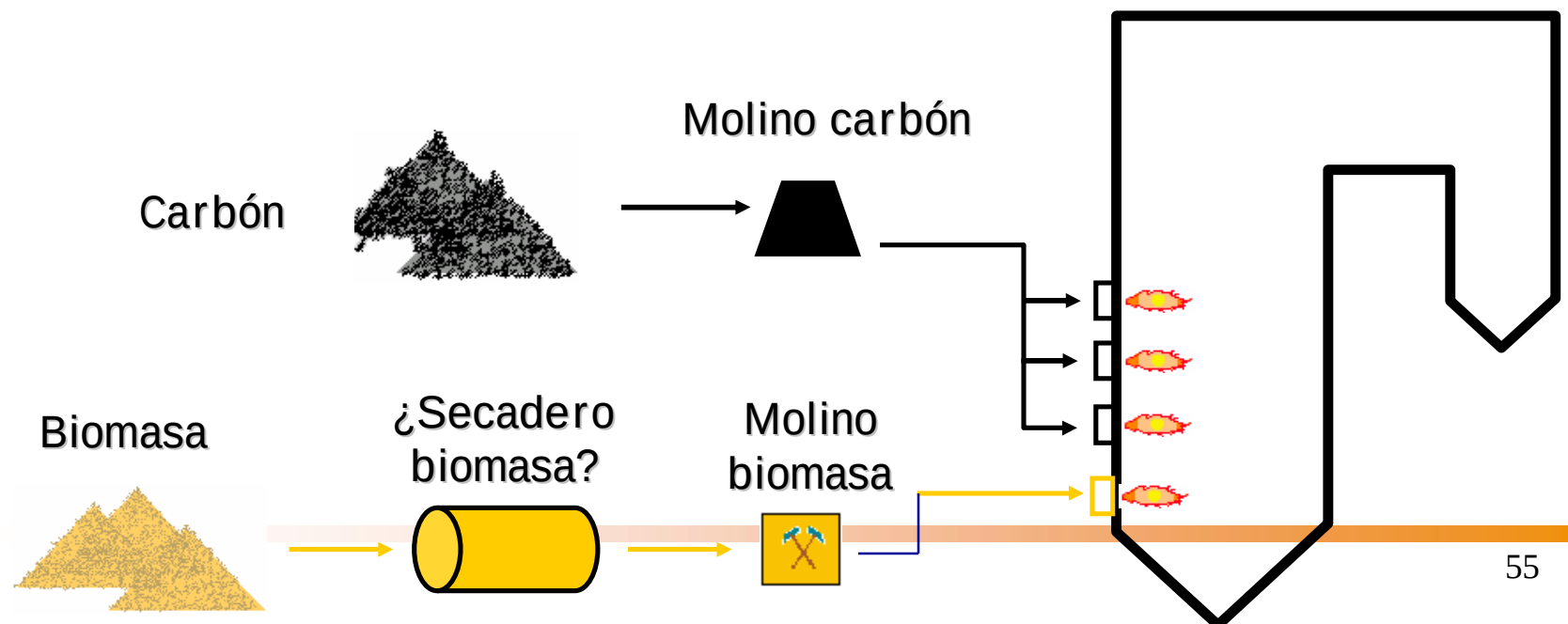
- La biomasa debe competir con otras energías en un mercado eléctrico liberalizado.
- Ejemplo: Comparación C.T. de biomasa con C.T. de ciclo combinado (datos orientativos):

	C. Combinado	C.T. Biomasa
Inversión (€/kW inst.)	600-750	1.200-1.800
Rendimiento	55-59	18-25
Prod. específica (kWh/te)	0,8	0,3
Subsidio (cent.€/kWh)	0	2,4-3

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE BIOMASA

ALTERNATIVA 1: **CO-COMBUSTIÓN**

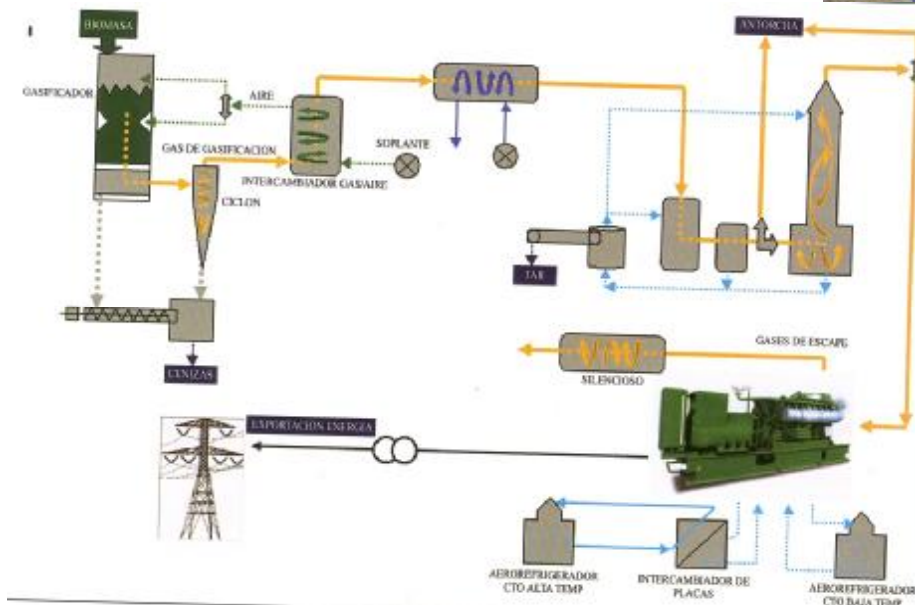
Combustión combinada de varios combustibles, generalmente carbón y biomasa, en una misma caldera (C.T. principalmente).



Ventajas de la co-combustión frente a la combustión exclusiva de biomasa

- | ***Menor inversión específica*** al emplear instalaciones ya existentes con sólo pequeñas modificaciones:
 - | Sistema de pretratamiento de la biomasa
 - | Sistema de alimentación de biomasa
- | ***Rendimiento muy superior:***
 - | Co-combustión: 32-40% (1,2 kWh/kg)
 - | Biomasa exclusiva: 18-25% (0,8 kWh/kg)
- | ***No esta sujeta a fluctuaciones*** estacionales (% de biomasa variable).
- | Reduce las emisiones de CO₂ asociadas a la generación con carbón (***DERECHOS DE EMISIÓN***).
- | Efecto sinérgico entre carbón y biomasa para la ***reducción de NOx***.

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR GASIFICACIÓN EN EN LECHO FLUIDO



Ejemplo: Gasificador de corrientes paralelas (Downdraft) de 600 kWe. TAIM-TFG

GASIFICACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ.



Definida como la conversión de un combustible sólido (cascarilla de arroz) a gas energético (CO , H_2 y CH_4), la gasificación representa una de las tecnologías más prometedoras a futuro.

Sistema Gasificador.

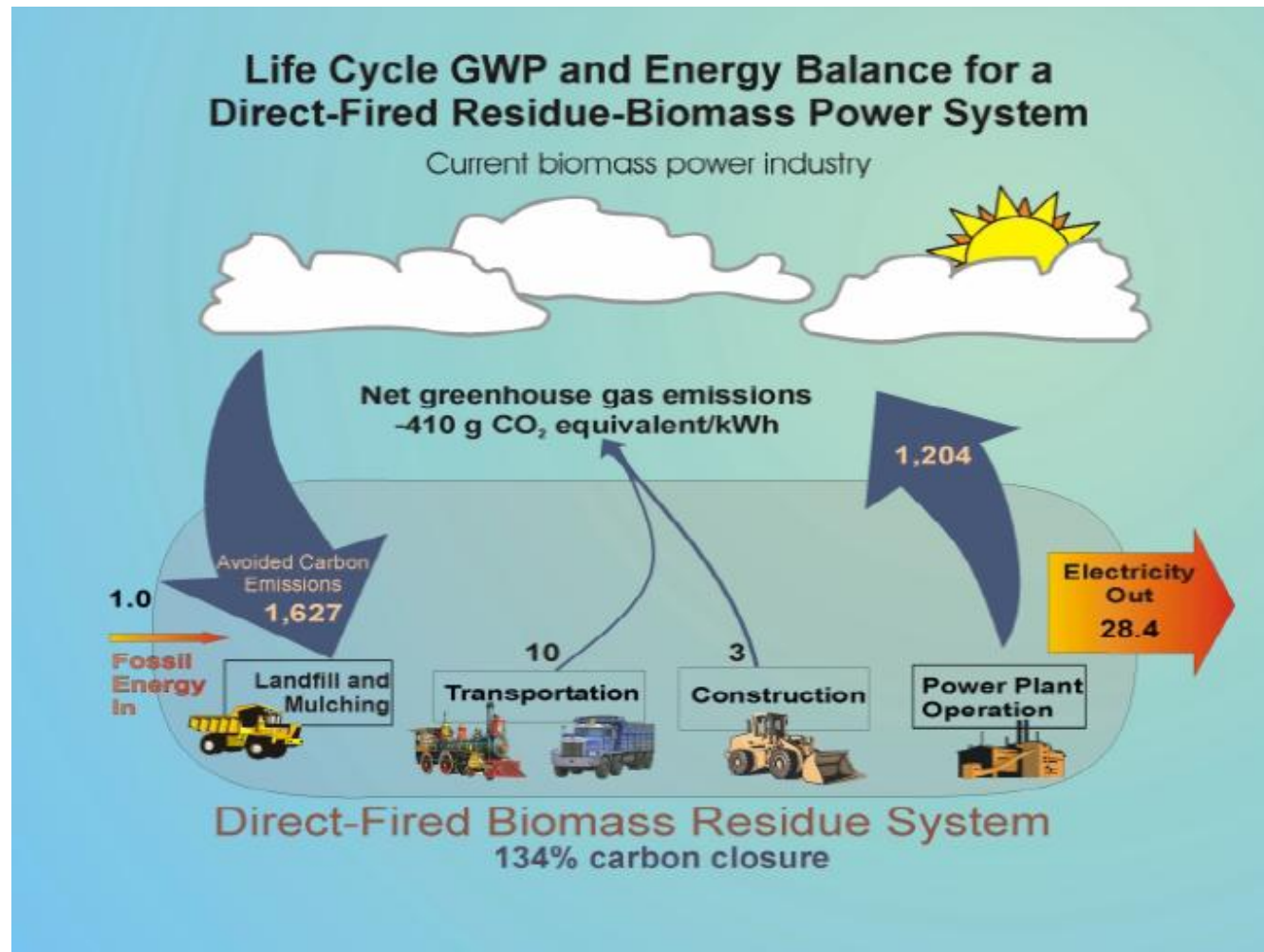
GASIFICACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ.



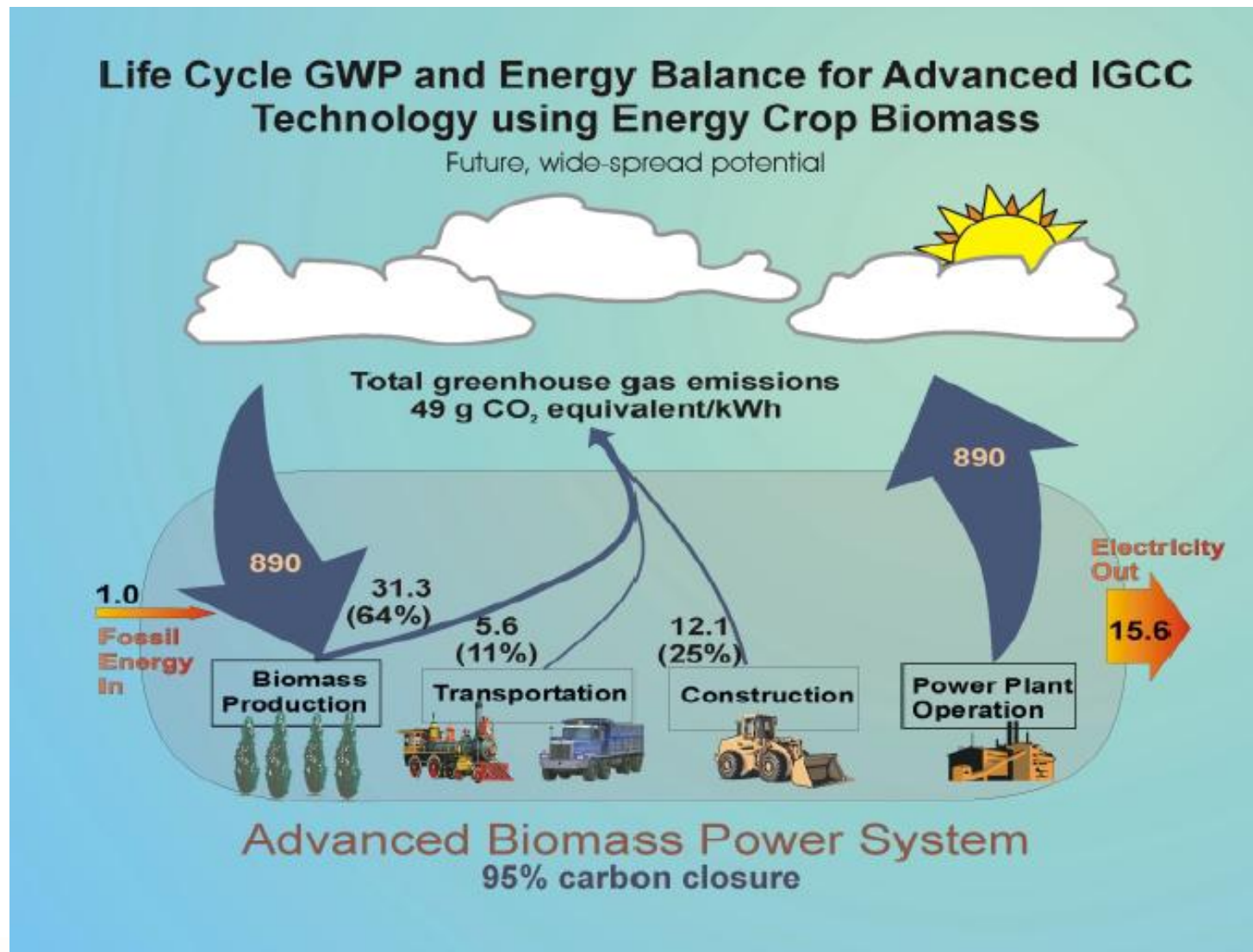
Combustión del gas producto de la gasificación de cascarilla.

El Gas producto de la gasificación de cascarilla, puede ser utilizado en las cámaras de combustión de los secaderos, para de esta forma, generar el calor necesario y retirar así, la humedad del grano

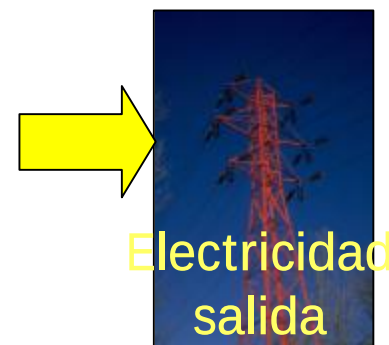
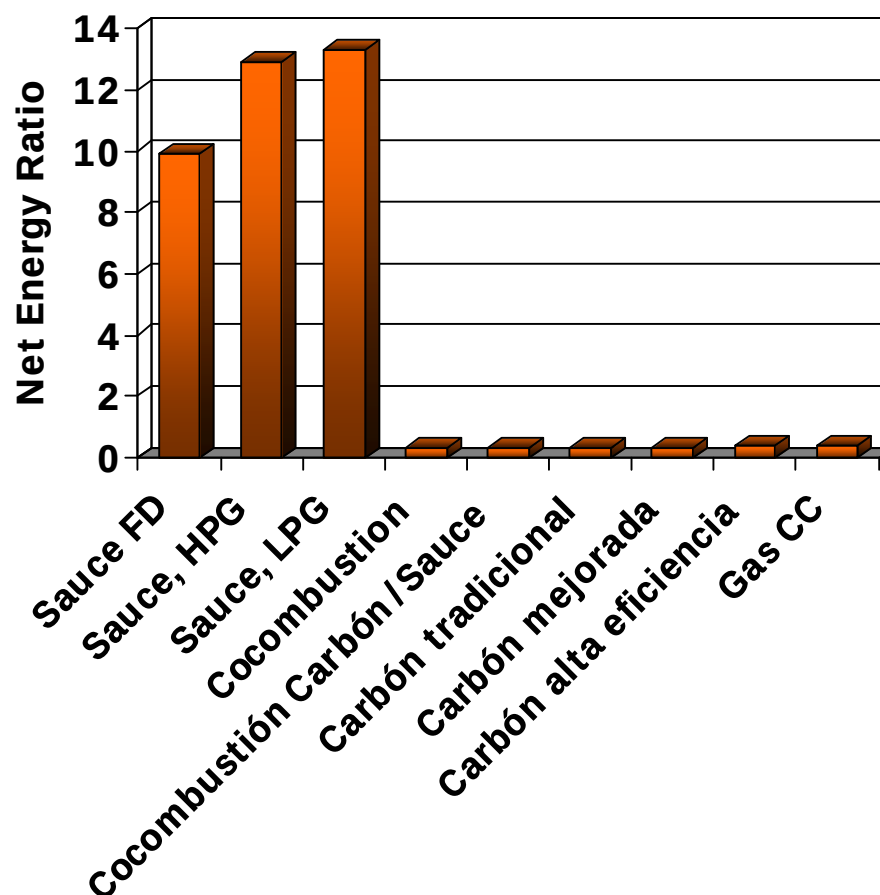
Emisiones de CO₂ en un sistema de producción de energía eléctrica que usa biomasa residual



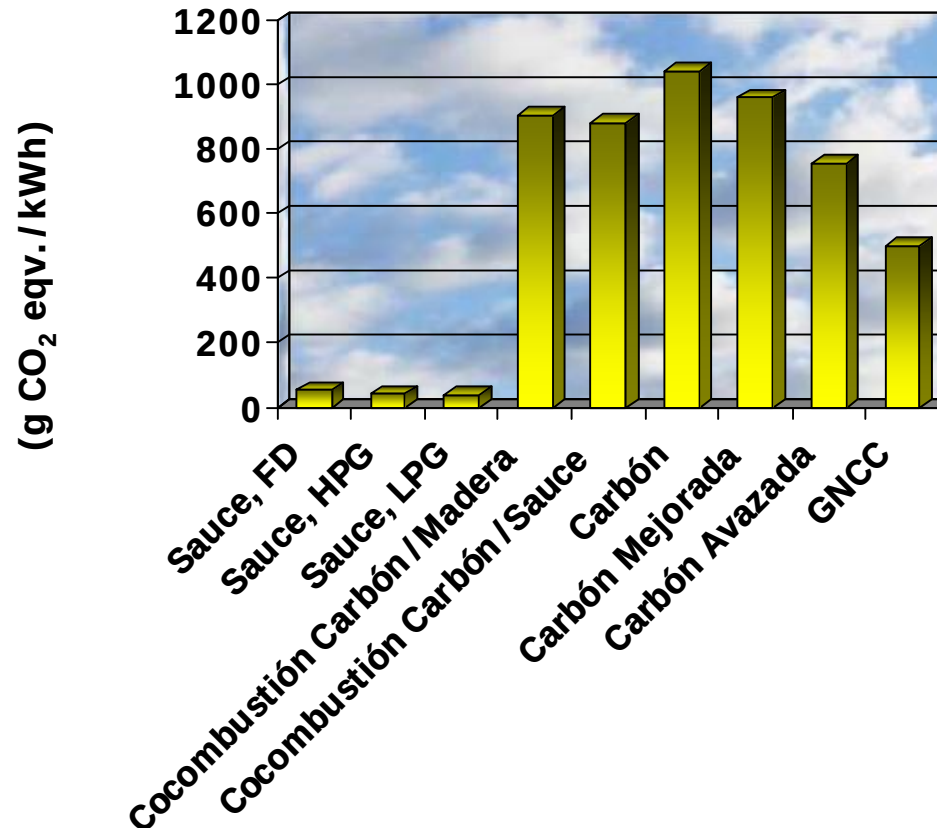
Emisiones de CO₂ generadas en la producción de electricidad a partir de cultivos energéticos



Cúal tecnología hace mejor uso de los recursos energéticos?

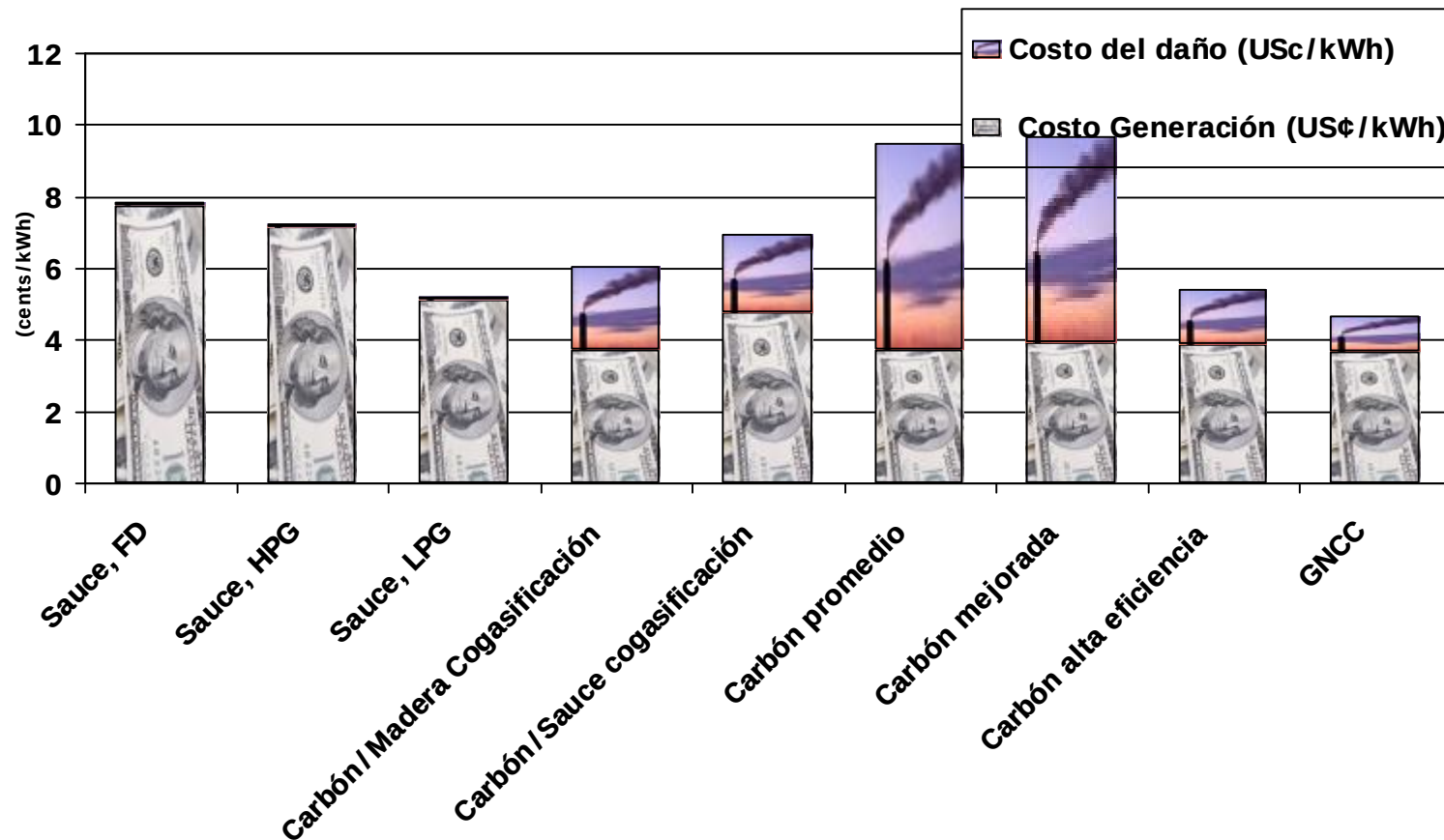


Impacto en calentamiento global de las tecnologías de generación eléctrica.

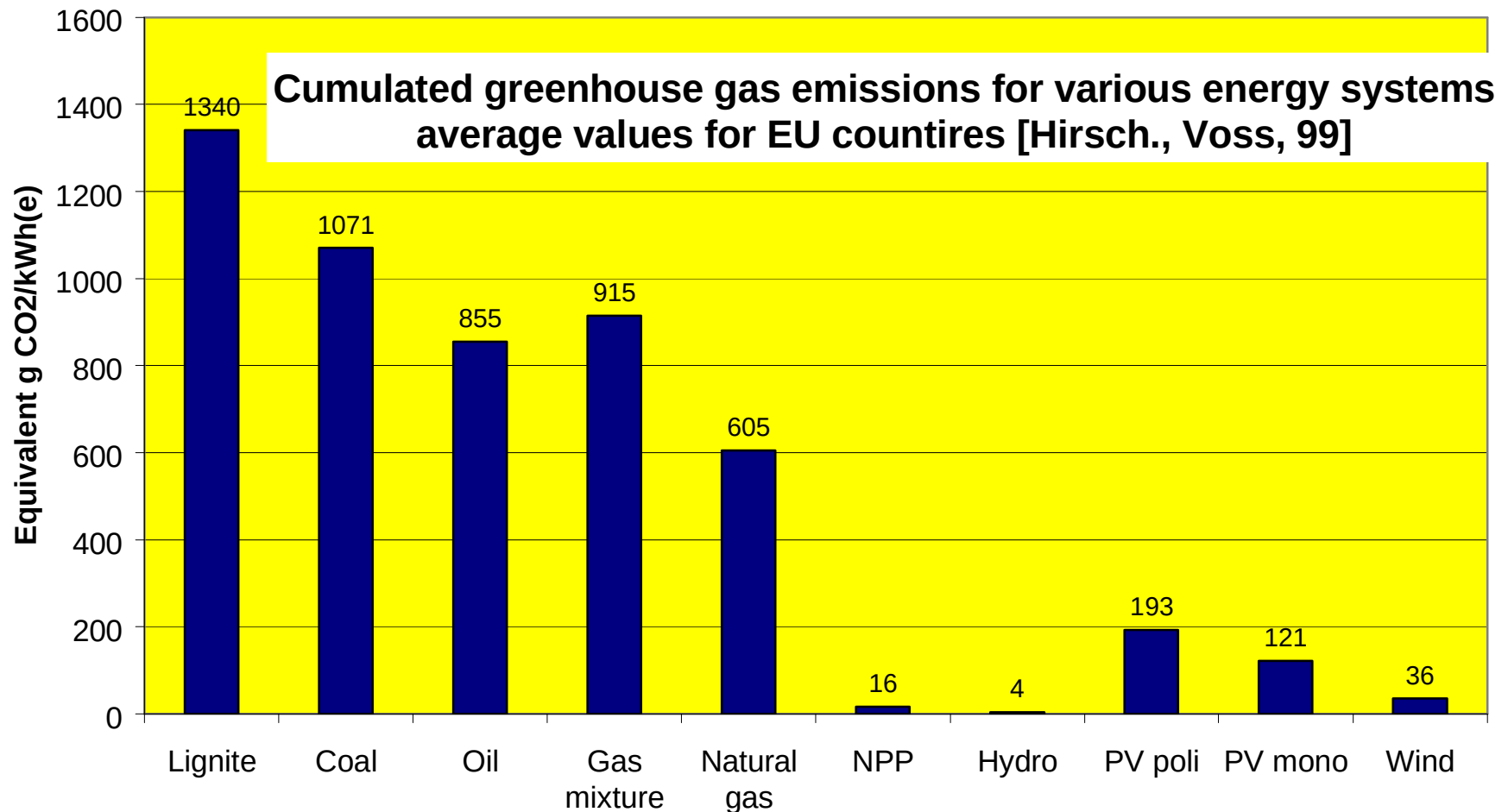


Based on 100 year potential values reported in IPCC, *Third Assessment Report*, 2001

Cúal tecnología tiene menores costos?



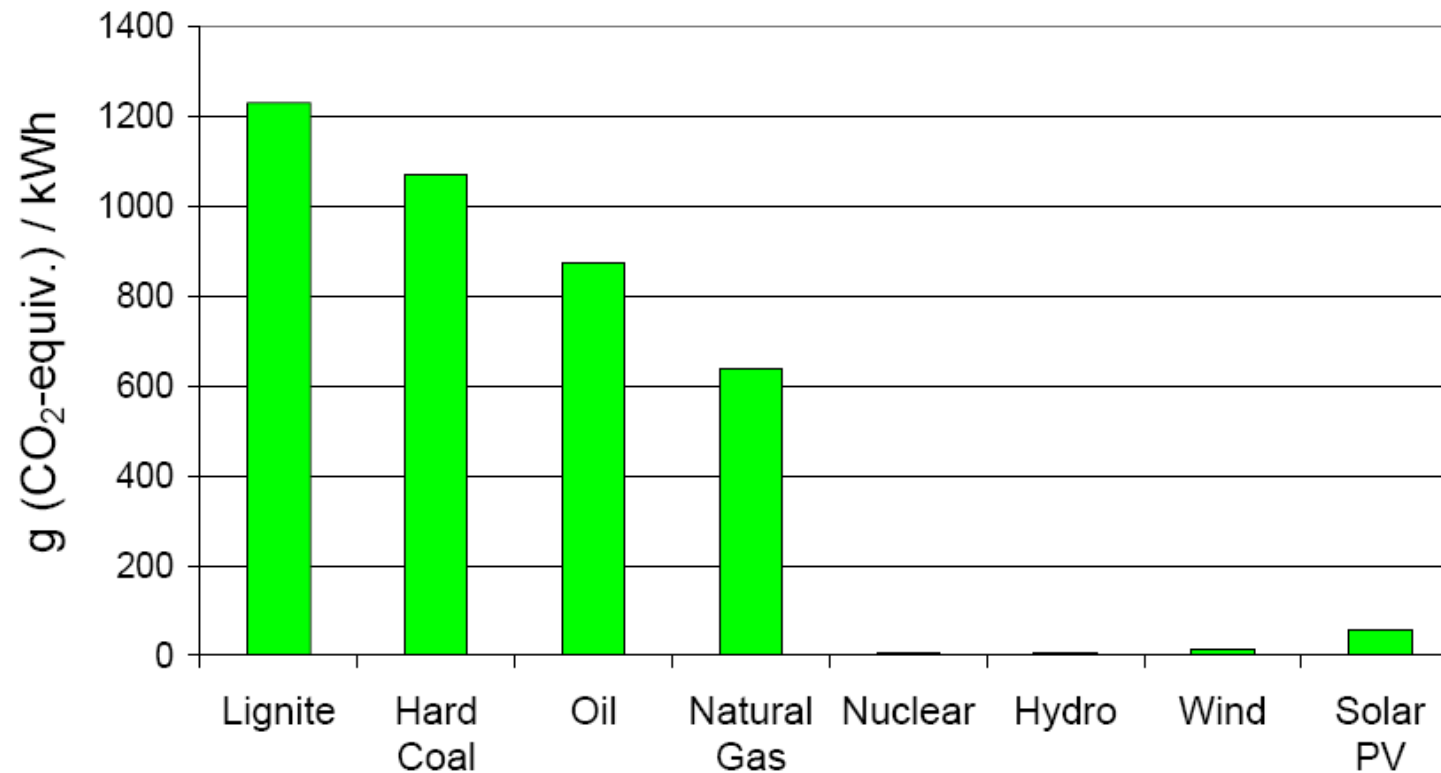
Emisiones de gases de efecto invernadero de las diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica



Emisiones de gases de efecto invernadero para las diversas tecnologías

Electricity Systems in UCTE (2000)

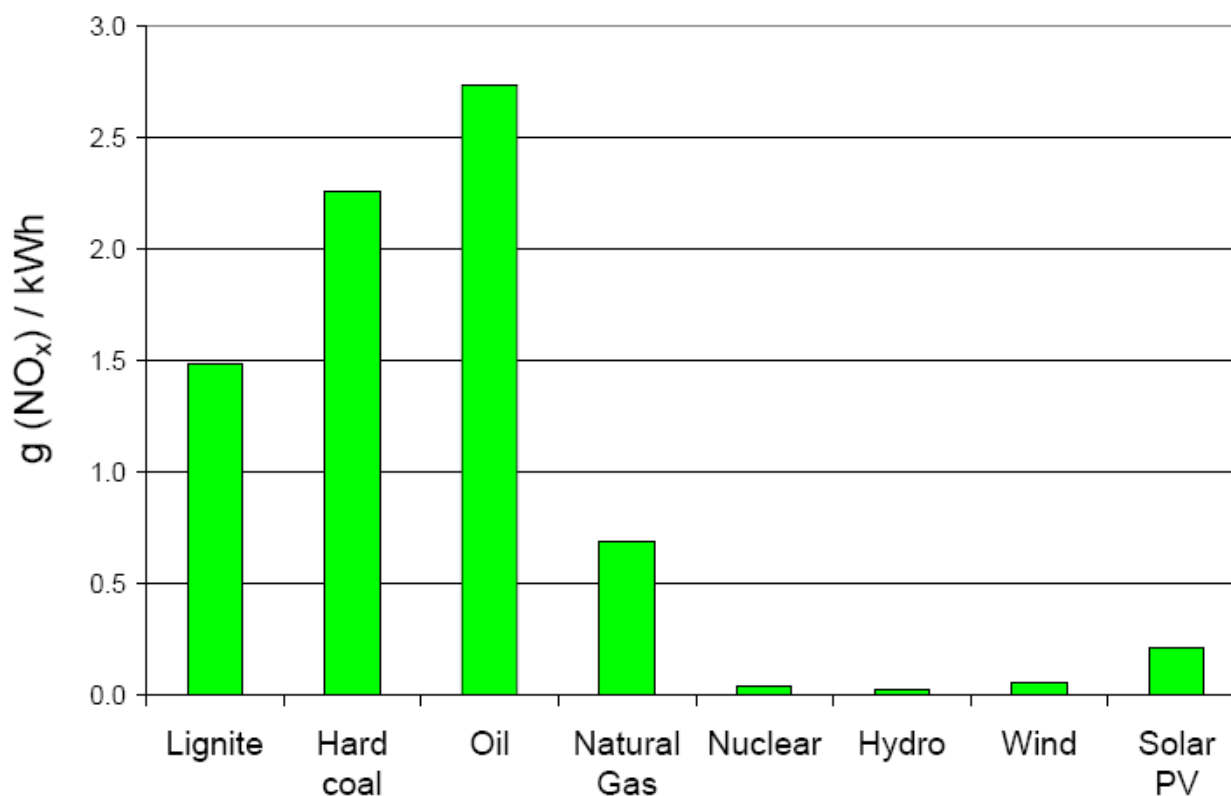
GHG emissions



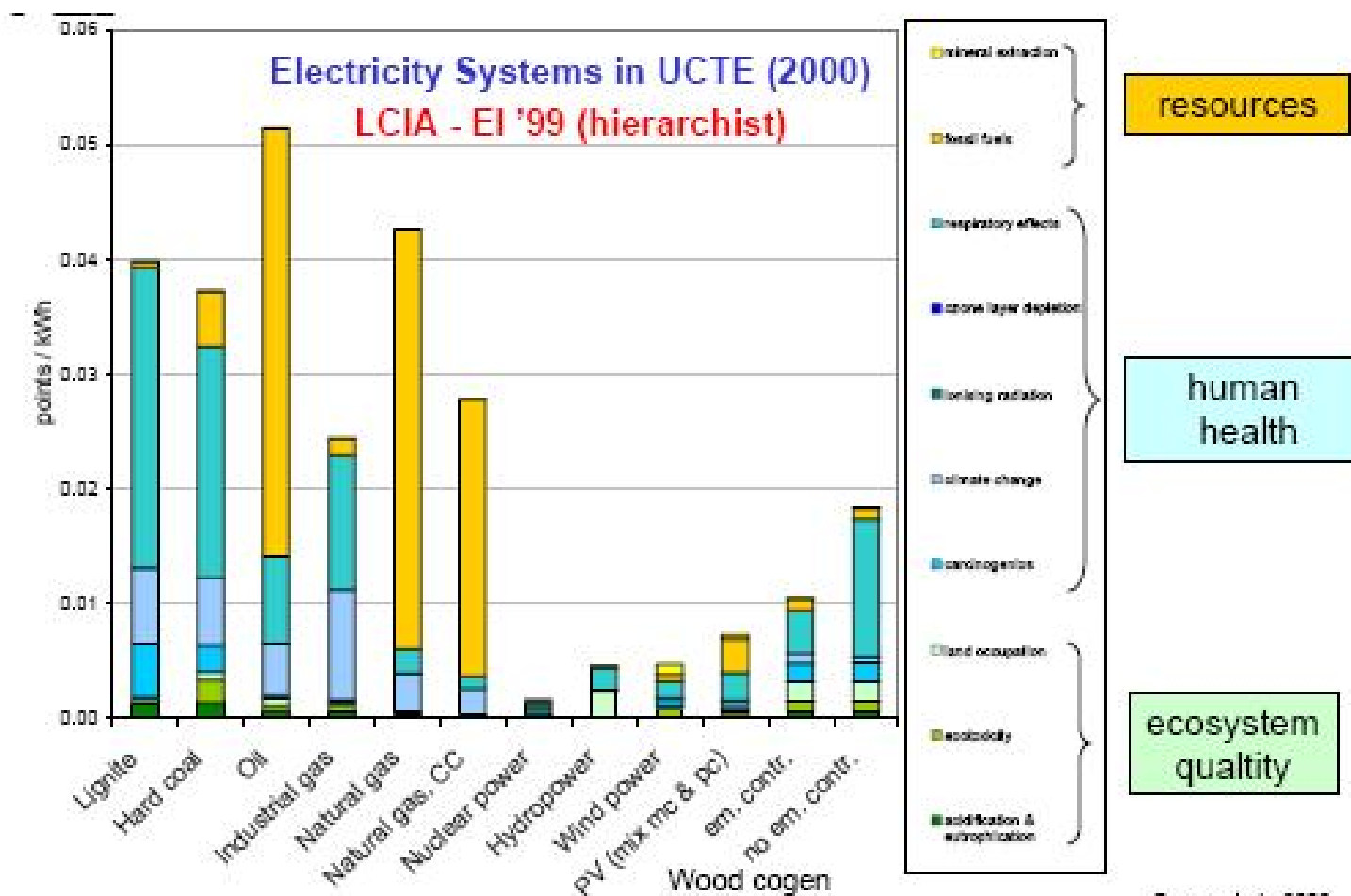
Emisiones de NO_x causantes de acidificación

Electricity Systems in UCTE (2000)

NO_x emissions

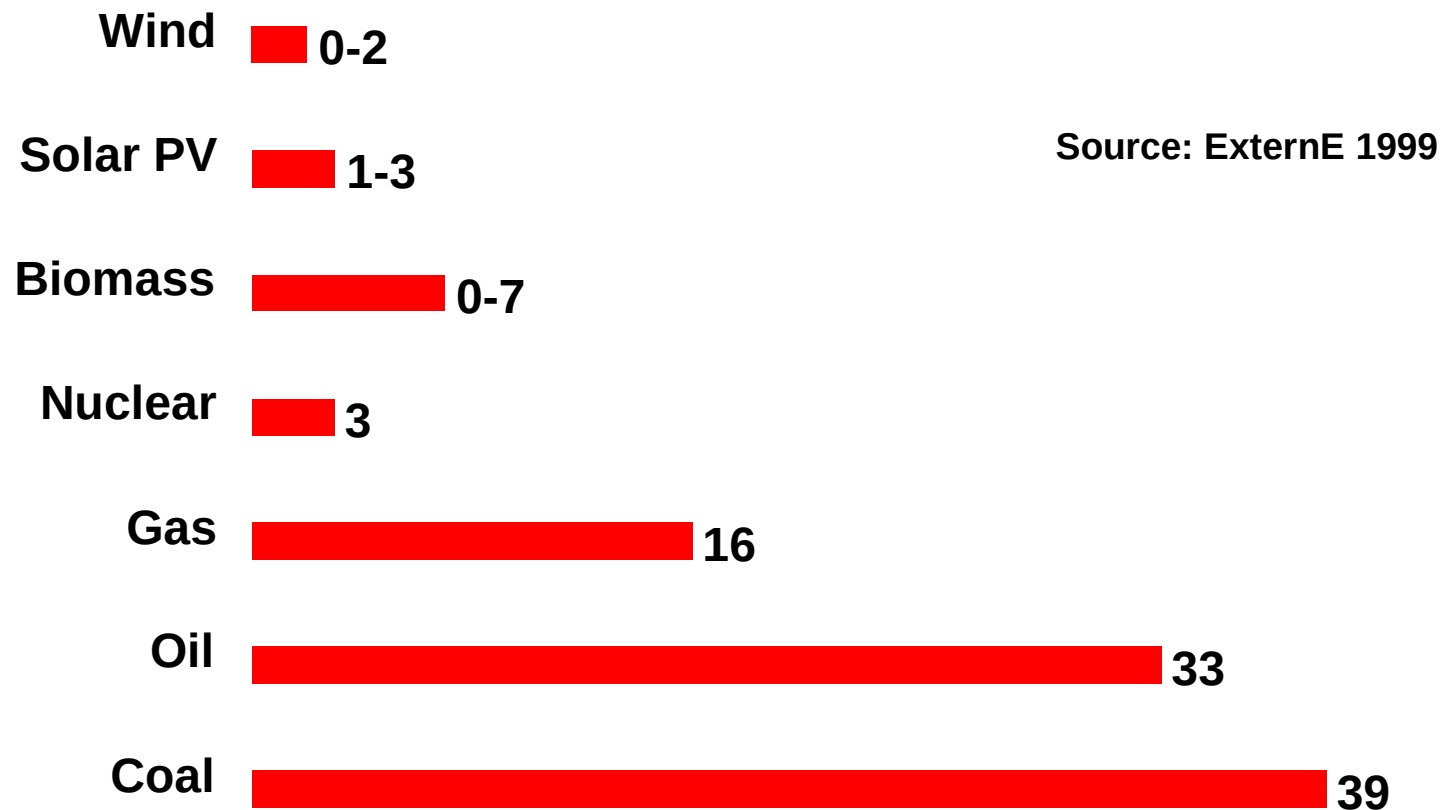


ACV de los sistemas de generación evaluados con el método de Ecoindicador 99.

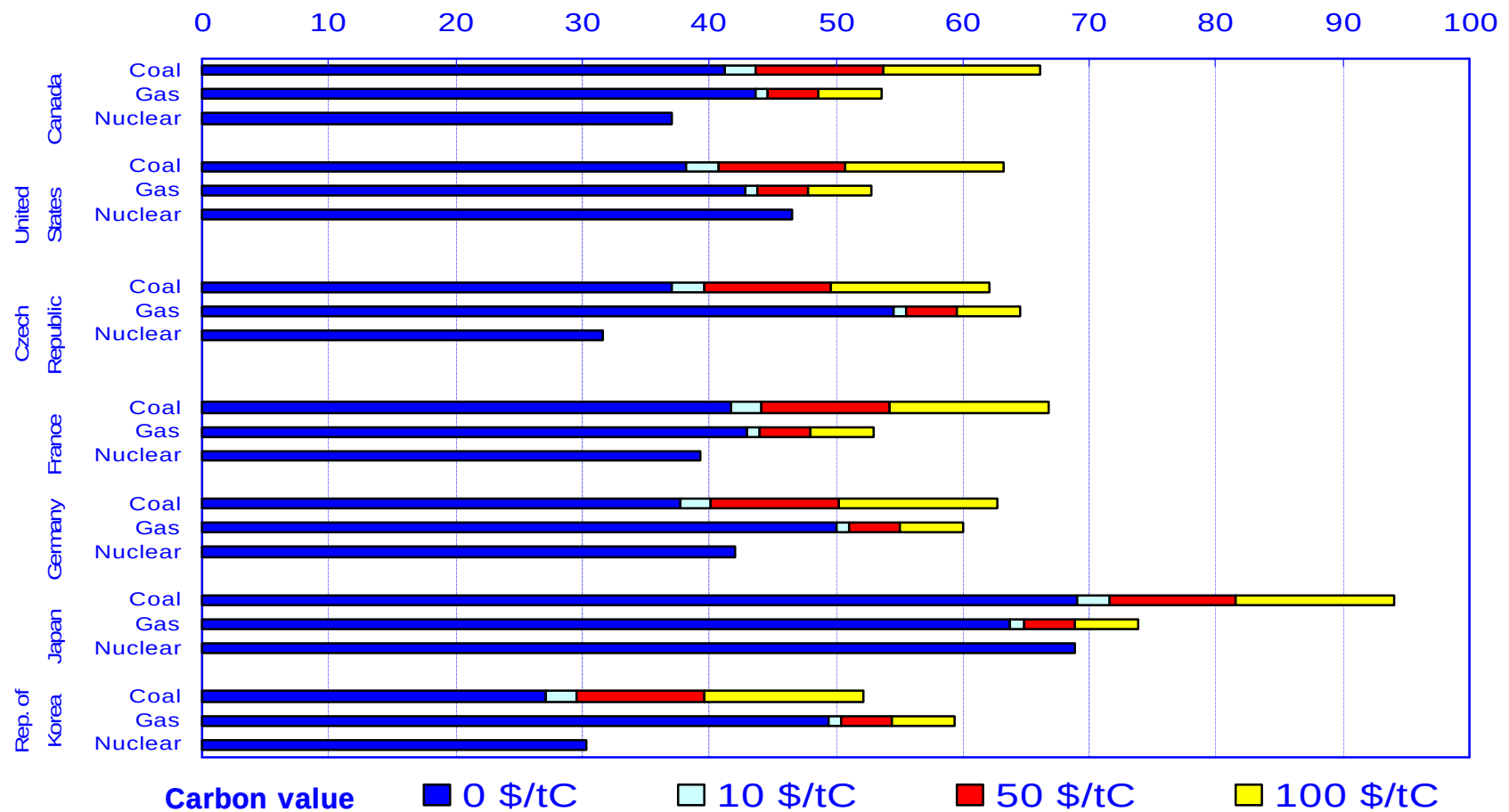


Dones et al., 2003

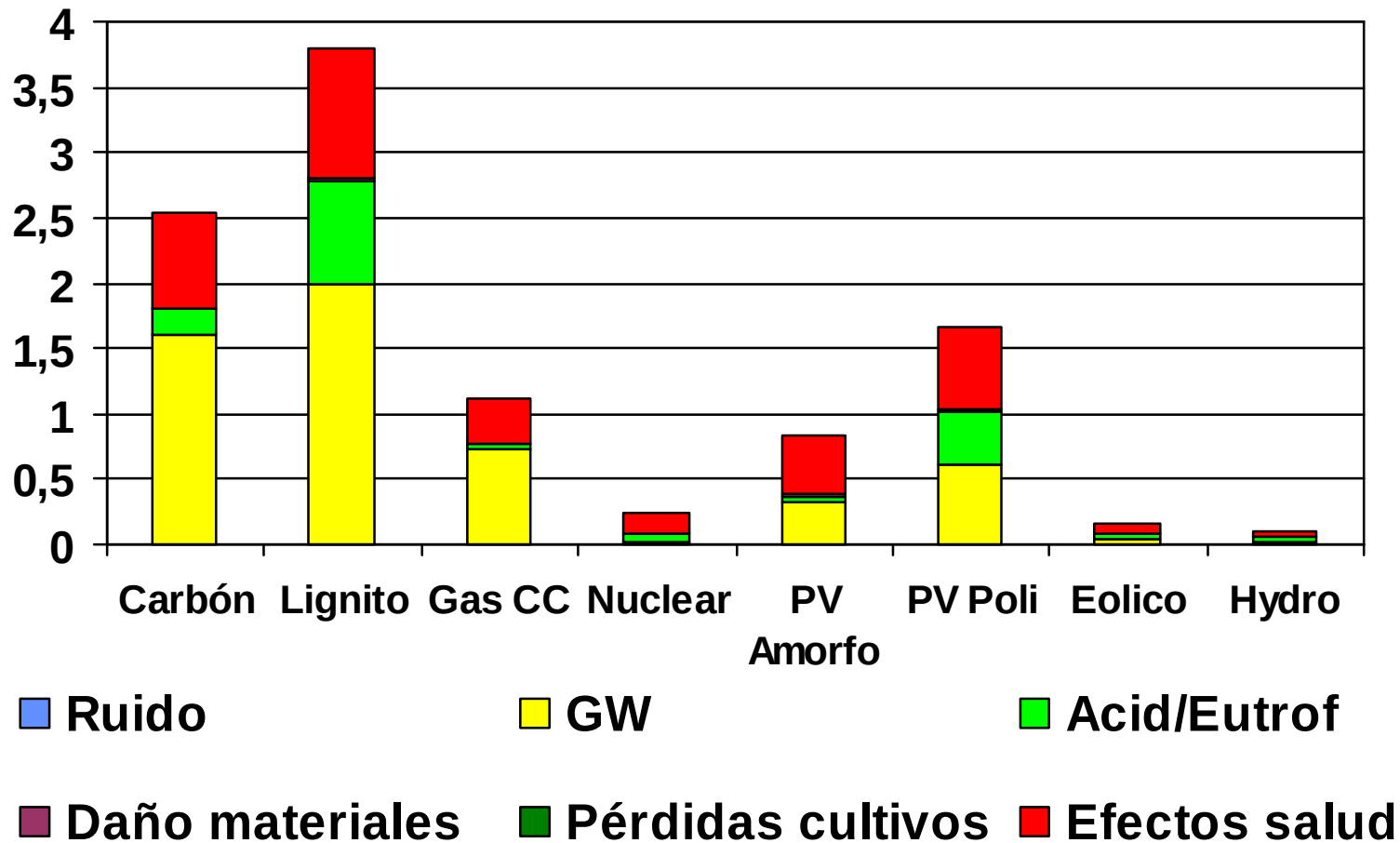
Valoración económica del daño ambiental: Externalidades de la generación de energía eléctrica (m€/kWh)



Impactos del costo del carbono en los costos de generación [US\$/MWh]



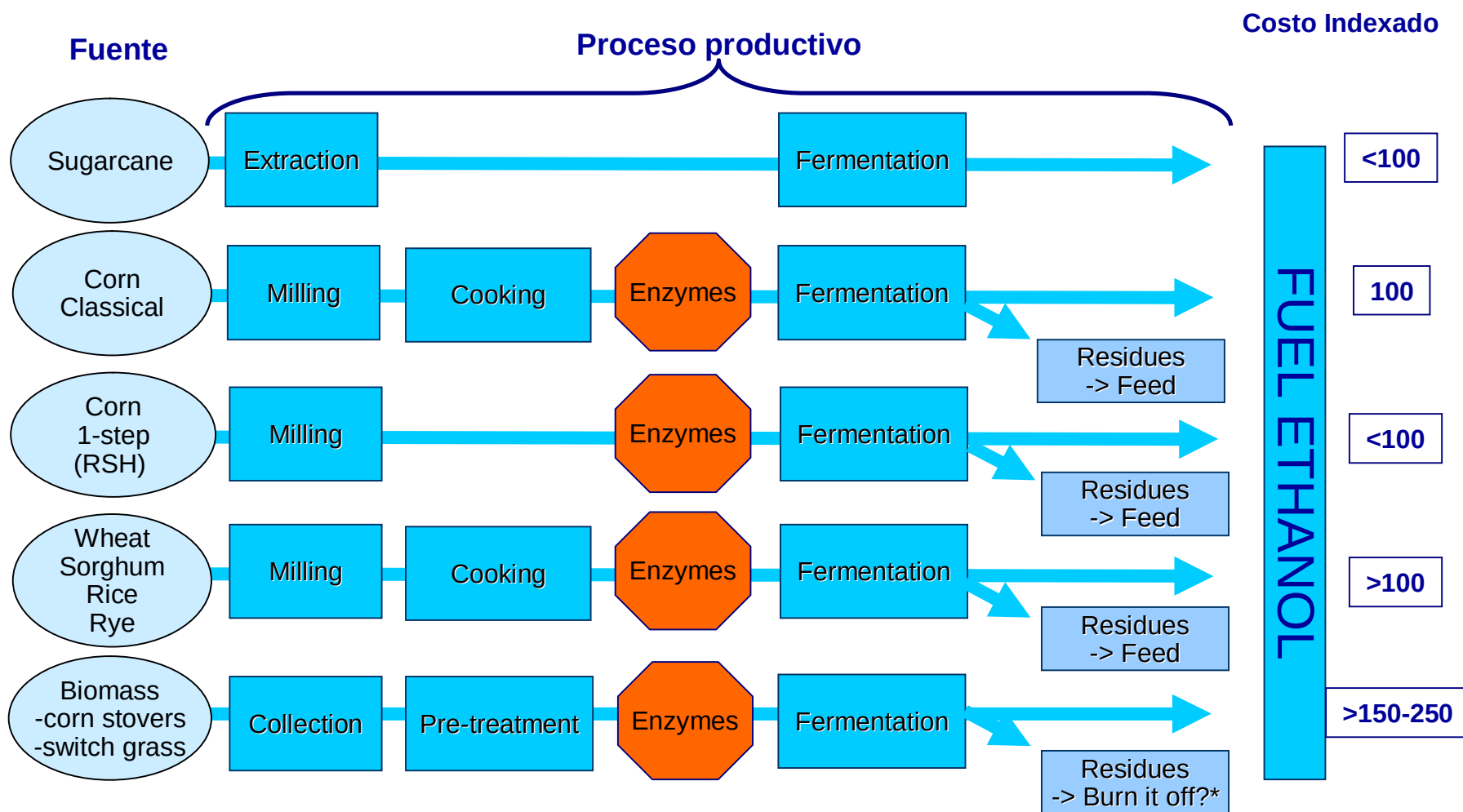
Costos externos de la generación de energía eléctrica en Alemania [Krewitt]



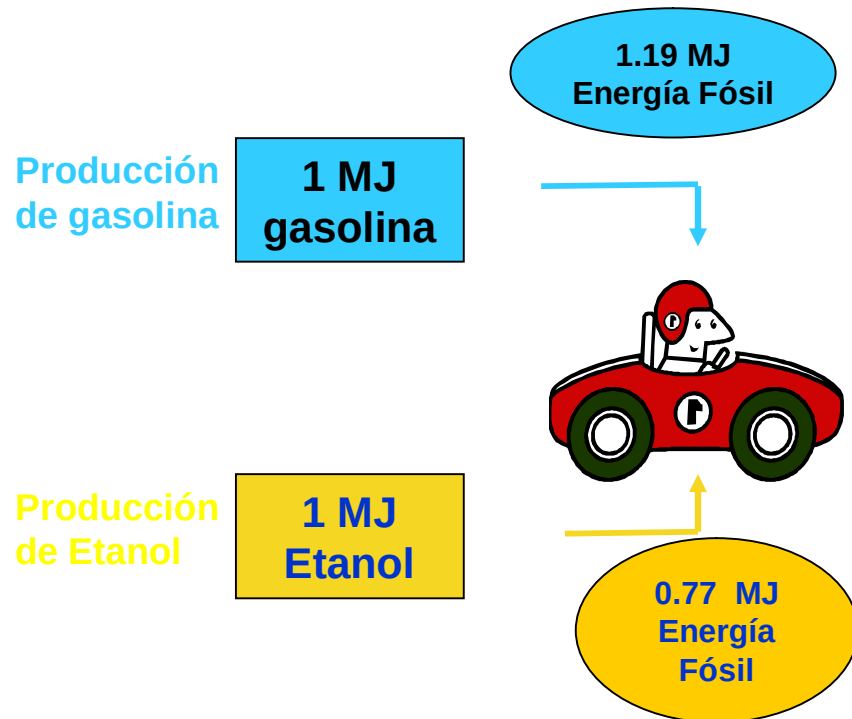
Oportunidades de usar el ACV para energéticos basados en la biomasa

- Reduce las oportunidades de manipulación de los datos.
- Los estudios tienen mayor relevancia para los estudios científicos y las decisiones de inversión.
- Herramientas de decisión para el desarrollo de políticas de agricultura y medioambiente.
- Mejorar la selección de cultivos y métodos de cultivo para el desarrollo de biorefinerías.
- Identifica las oportunidades para integrar la utilización de desechos en la producción de energía.

El precio de los biocombustibles es una función del ciclo de vida



Balance Energético



Energía Neta en el Ciclo de Vida	Rata de energía fósil Valor energético/Energía fósil usada
MJ/L	
- 6.1 MJ/l	0.84
4.8 MJ/l	1.3
Rango: Bajo: -6.1 MJ/l Alto: 8.9 MJ/L	Rango: Bajo: 0.8 Alto: 1.5

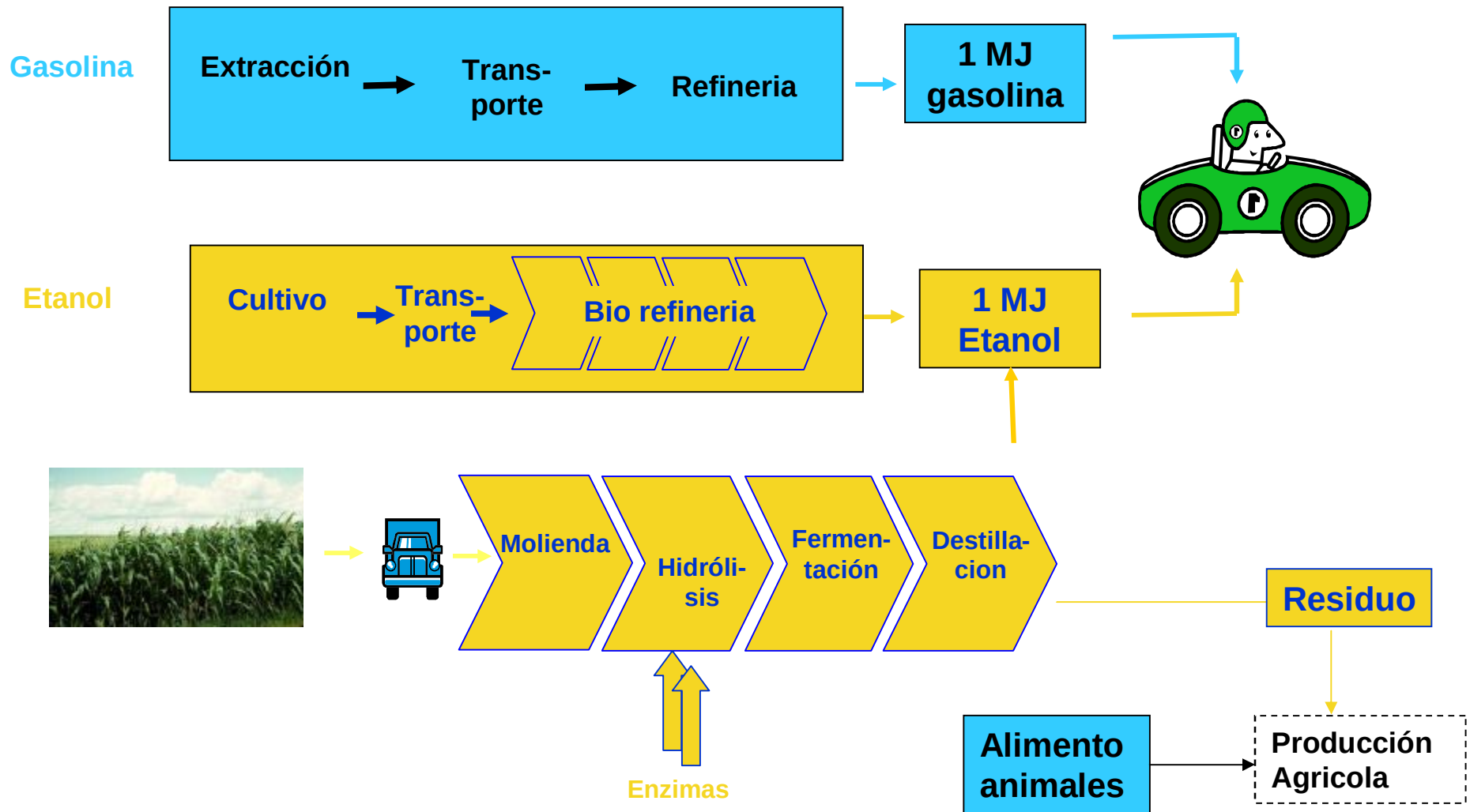
US, corn starch, Farrel et al 2006

El balance energético de los biocombustibles y de la gasolina

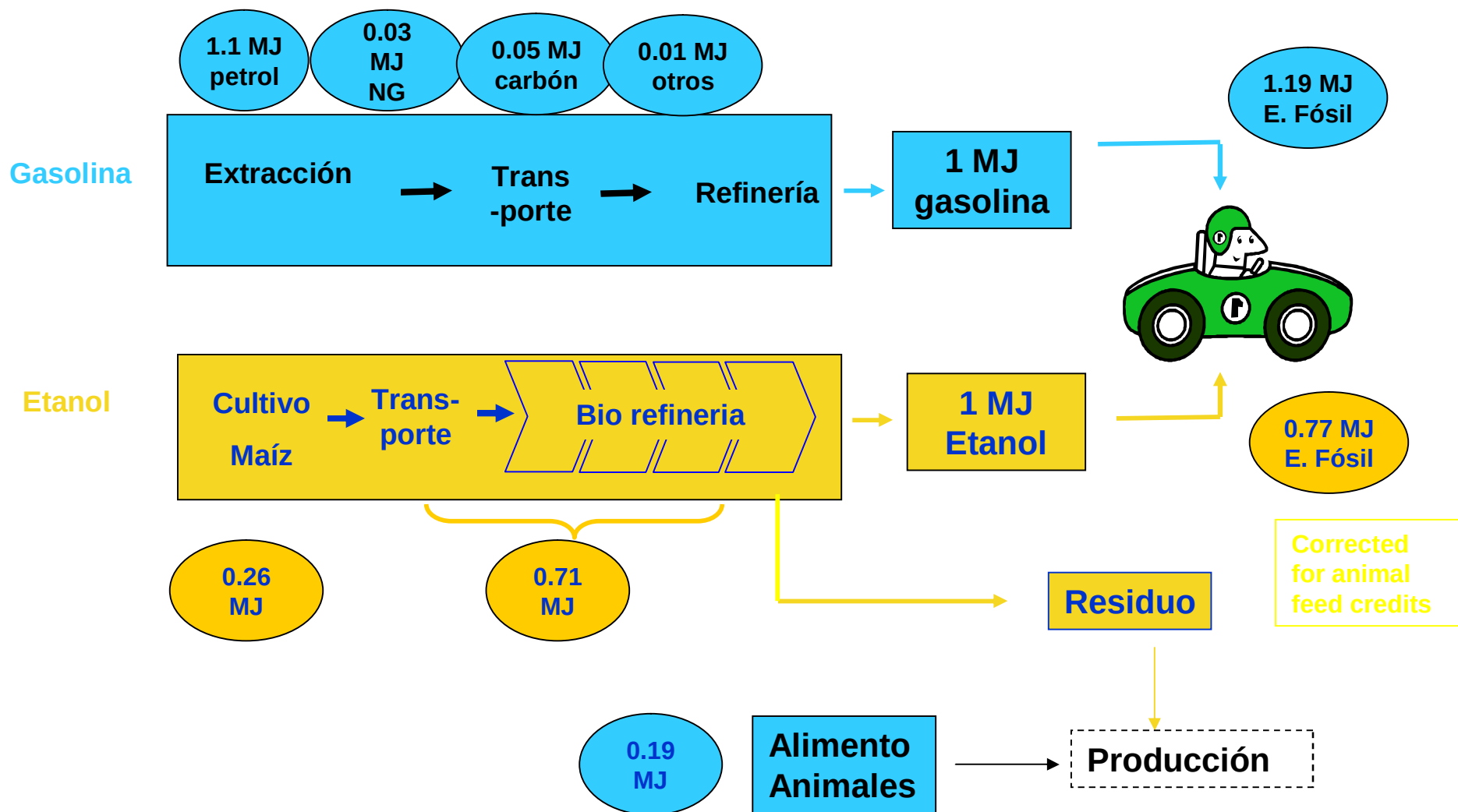
	Origen	Energía de salida/ Energía fósil entrada
Producción del combustible	Gasolina	0.84*
	Etanol de maíz	1.3*
	Etanol de caña	8.3** Condiciones de Brasil
Producción de electricidad	Electricidad de carbón o gas natural	0.30***
	Electricidad generada con energía eólica	10-20***

*Farell et al (2006), ** Anfavea (2006), *** Eco Invent

Comparación de la gasolina y la producción de Etanol

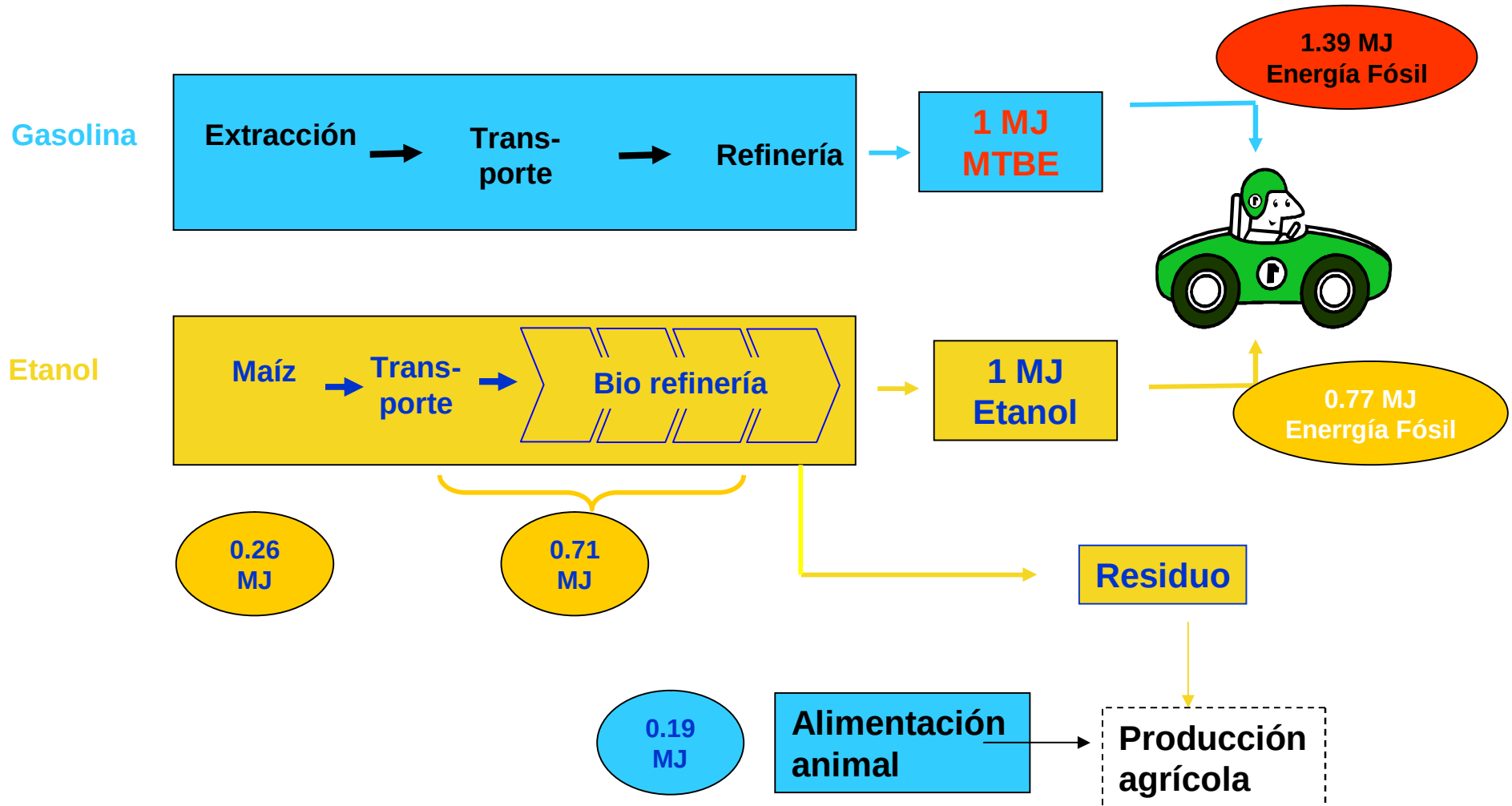


Comparación de la producción de Gasolina y Etanol



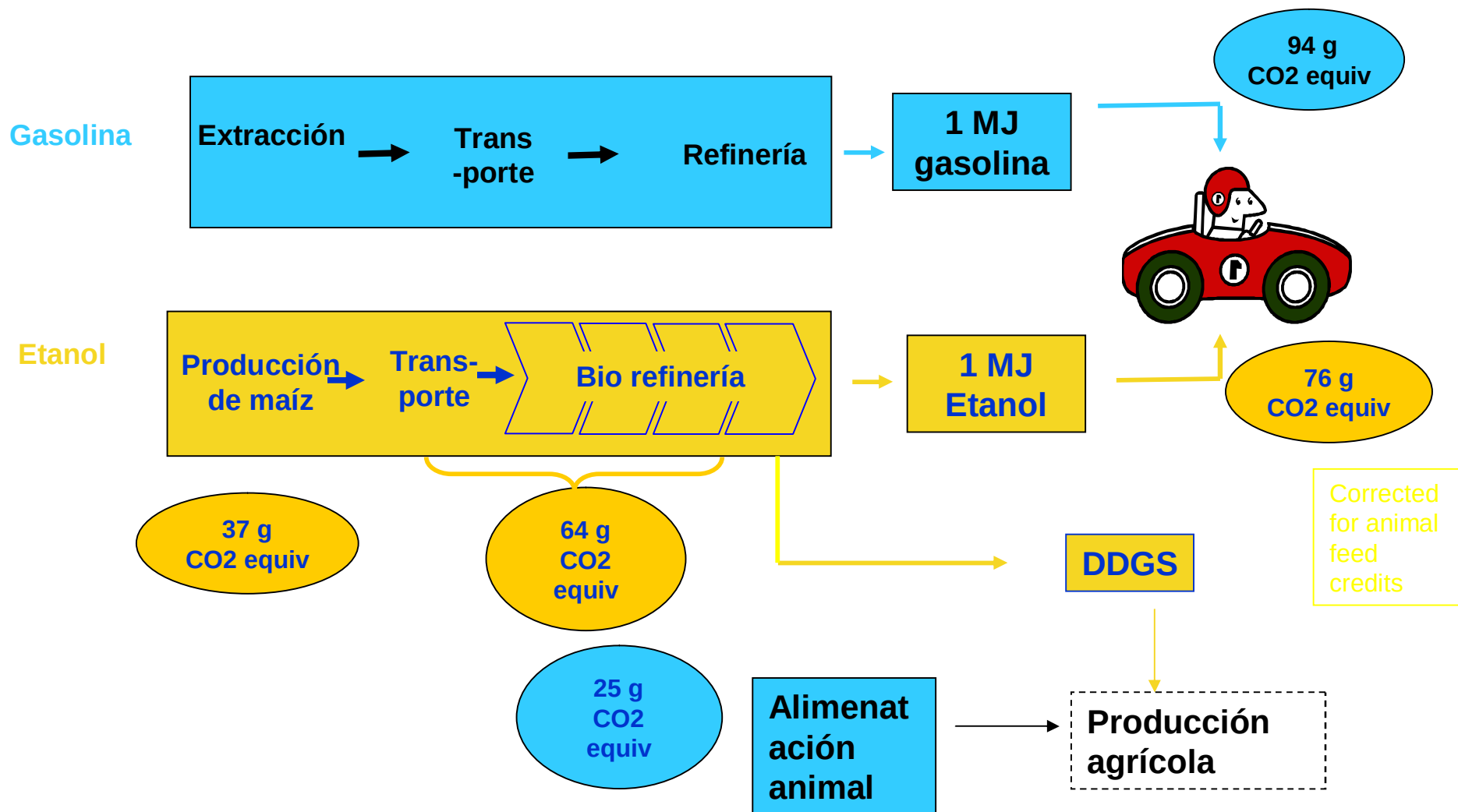
US, corn starch, Farrel et al 2006

Comparación del reemplazo del MTBE por el Etanol como oxigenante



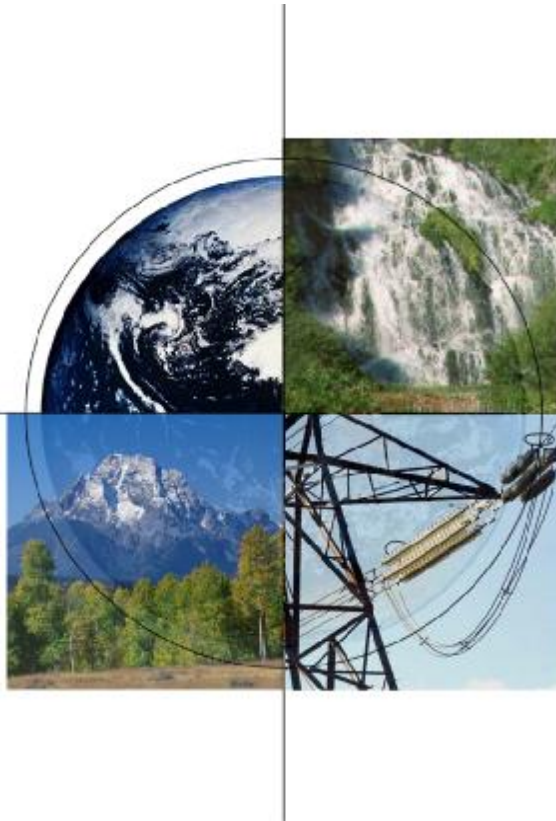
Singh & Mc Nutt (1994), ANL/US DOE

Comparación de las emisiones de GHG



US, corn starch, Farrel et al 2006

“Análisis de Ciclo de Vida de Tecnologías Energéticas



GRACIAS

Edgar Botero García
edgar.botero@upb.edu.co

**Grupo de Investigaciones Ambientales
Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín - Colombia**