



SEMINARIO INTERNACIONAL de
PLANTAS TERMOELÉCTRICAS
SIPTERMO - CIER
2010

7 al 10 de Setiembre, 2010
San José, Costa Rica

Consideraciones Ambientales en el Despacho Termoeléctrico y sus Implicancias Económicas

Sebastian Mocarquer G.
smocarquer@systep.cl



www.systep.cl



Tabla de Contenidos



- Introducción
- Definición de Impacto Ambiental
- Impactos Ambientales Globales
- Temática Medioambiental: Tendencia Mundial
- Impactos Ambientales Locales
- Definición de Normas
- Medidas de Mitigación
- Consideraciones Medioambientales en la Operación de los Sistemas Eléctricos
- Resumen

Impacto Ambiental



- Cambio de valor del ambiente o de alguno de sus componentes, como consecuencia de actividades o acciones externas.
- Cualquier intervención del hombre en la naturaleza genera impacto ambiental en ella.

Impactos Globales



Fuente: <http://global-warmingcauses.blogspot.com/>

Impactos Locales



<http://sosciencia2009.blogspot.com/>

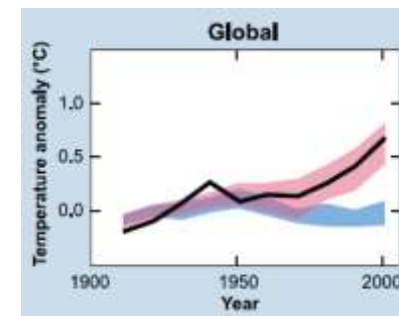
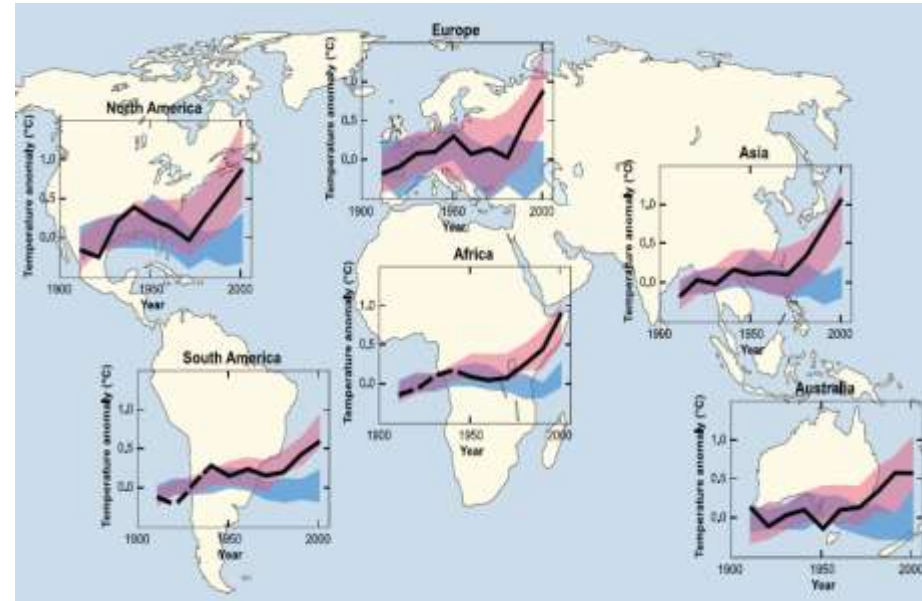
[1] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

Impactos ambientales globales



➤ Cambio Climático [2]:

- Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera.
- Acumulación de gases de efecto invernadero atrapan el calor en la atmósfera.
- Promedio de la temperatura mundial podría aumentar en más de 5°C.
- Incremento de la temperatura global podría tener consecuencias serias para la humanidad.



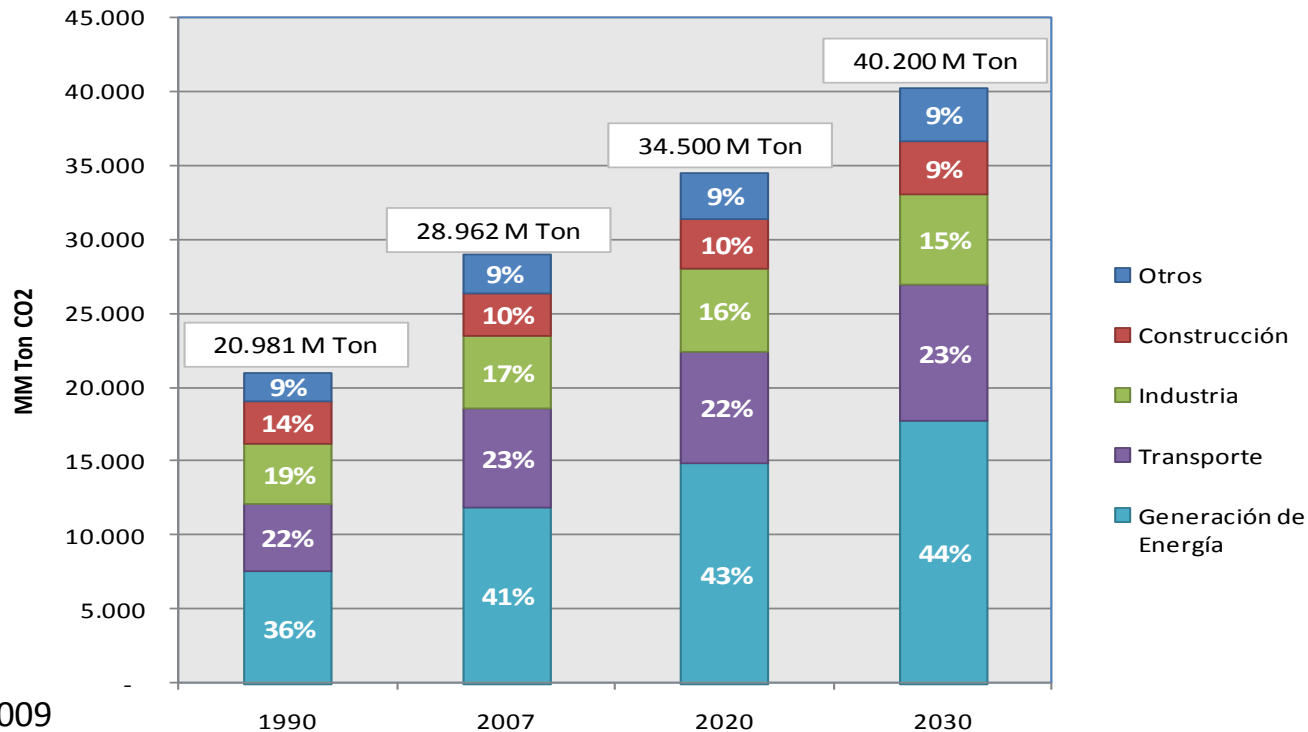
[2] Informe sobre desarrollo humano 2007-2008 (Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo)

Emisiones de CO2 a nivel mundial



➤ Proyección de la International Energy Agency (IEA) en un escenario sin medidas de mitigación:

- Aumento de 19% al 2020
- Aumento de 39% al 2030

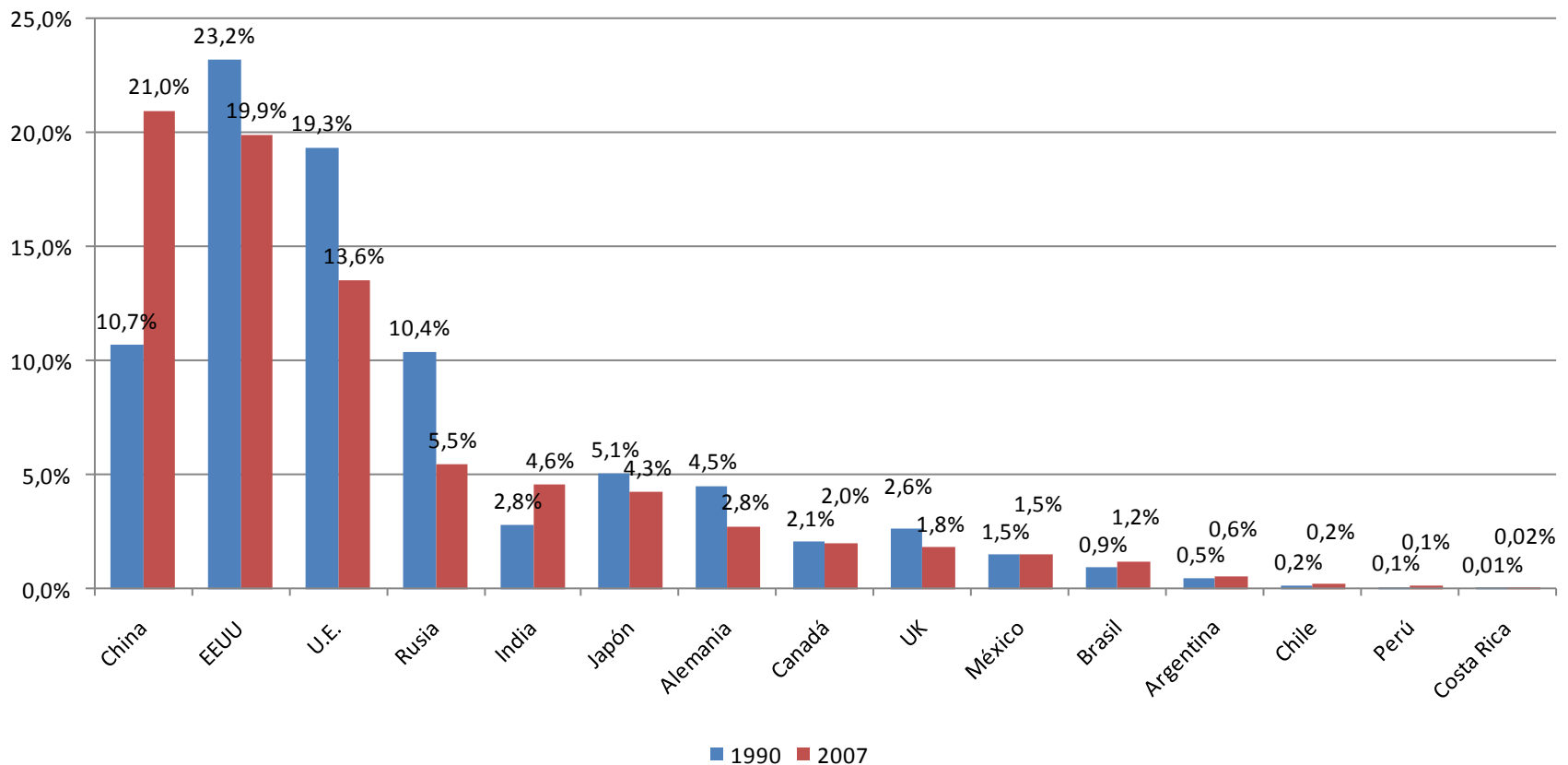


Fuente: IEA, 2009

Emisiones porcentuales de CO2

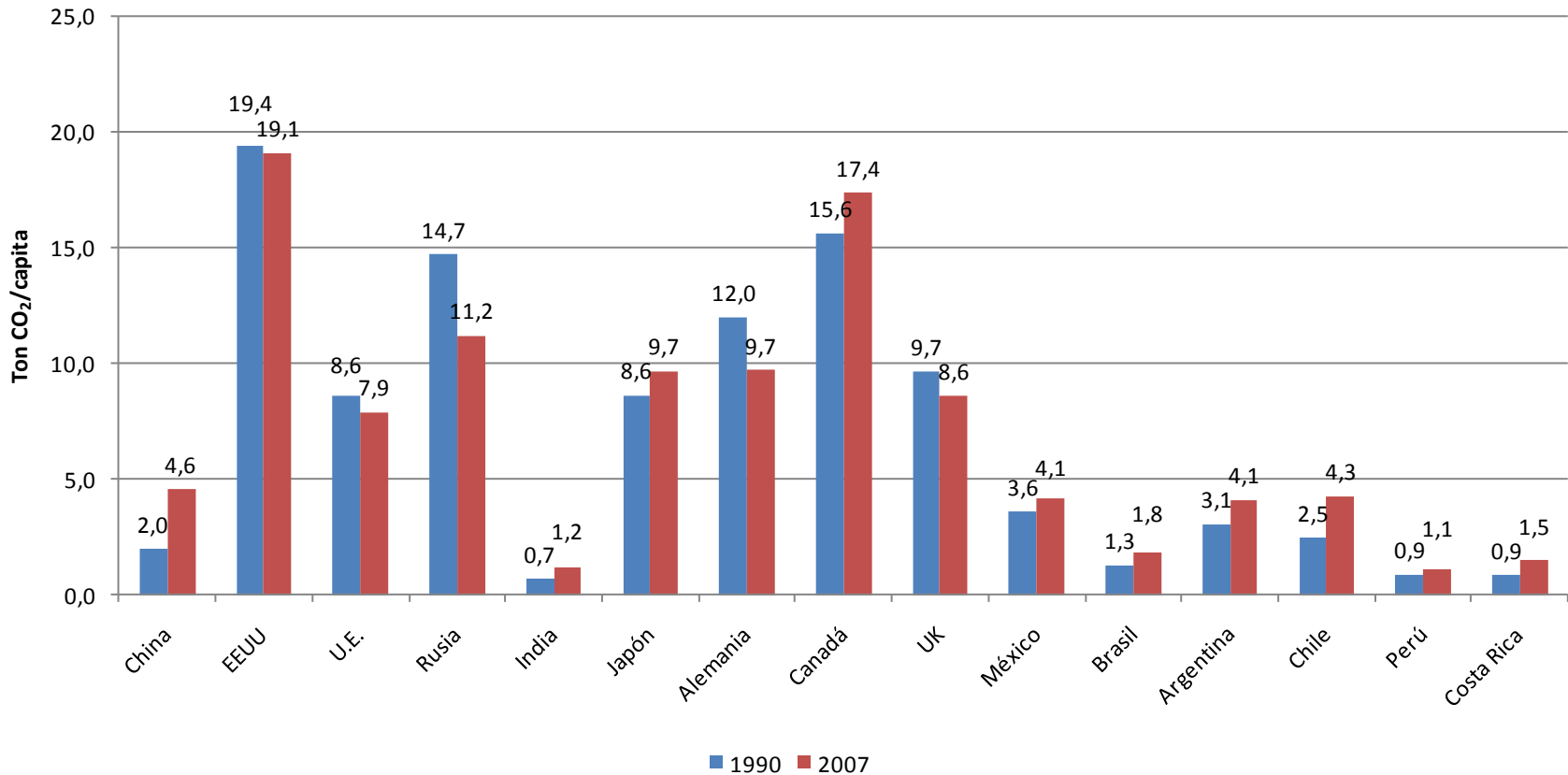


- Principales 10 países emisores de CO2 representan más del 60% del total mundial al año 2007.



Fuente: IEA, "CO2 Emissions From Fuel Combustion", 2009

Emisiones per cápita de CO2

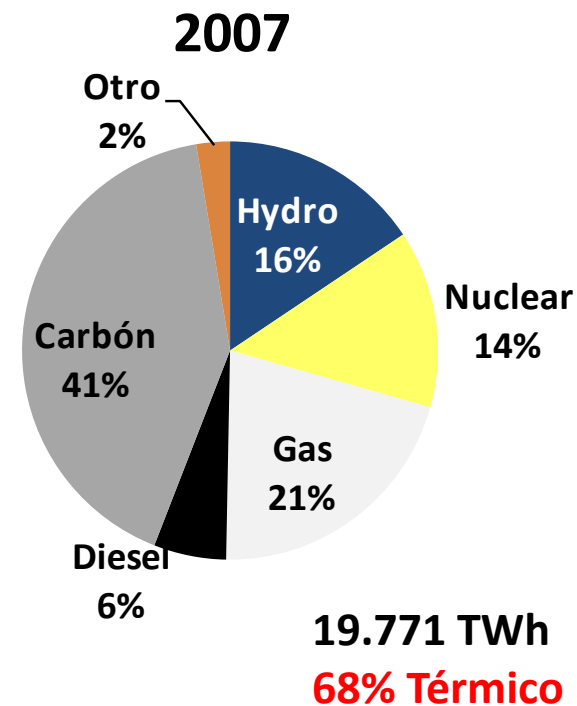
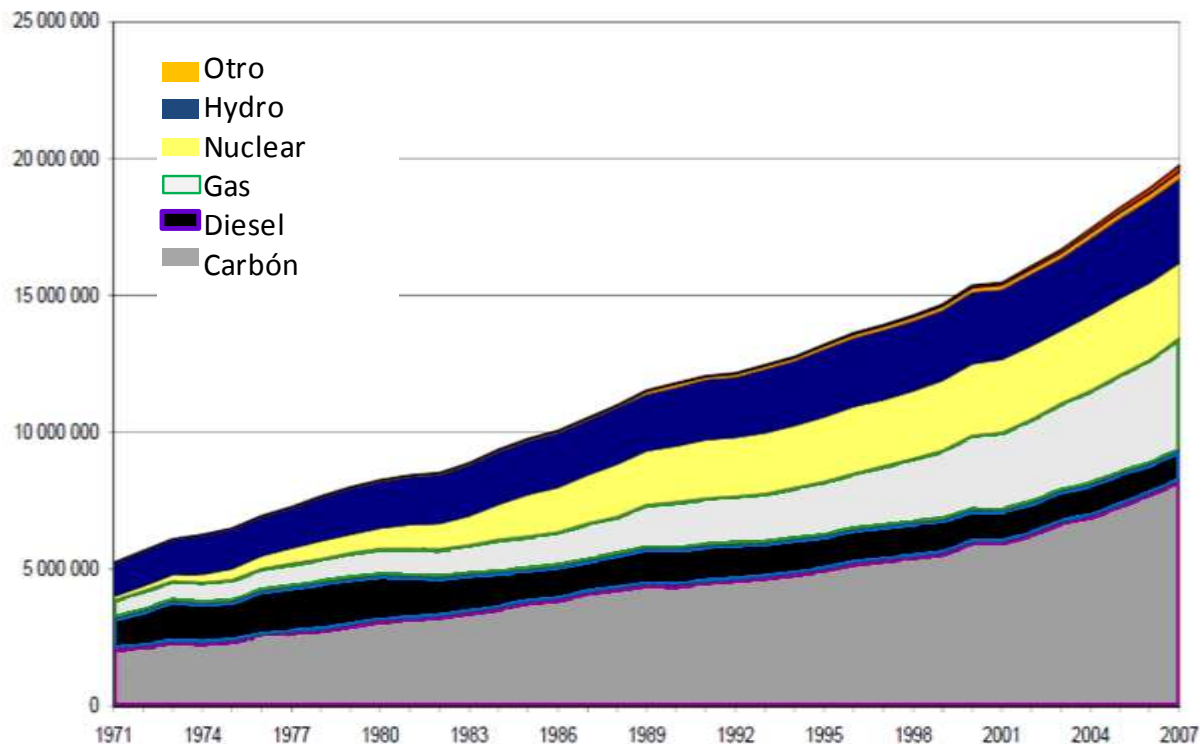


Fuente: IEA, "CO2 Emissions From Fuel Combustion", 2009

Generación de energía a nivel mundial



- Emisiones de CO2 del sector energía son las más relevantes.
- Generación térmica históricamente dominante en matriz de energía mundial.

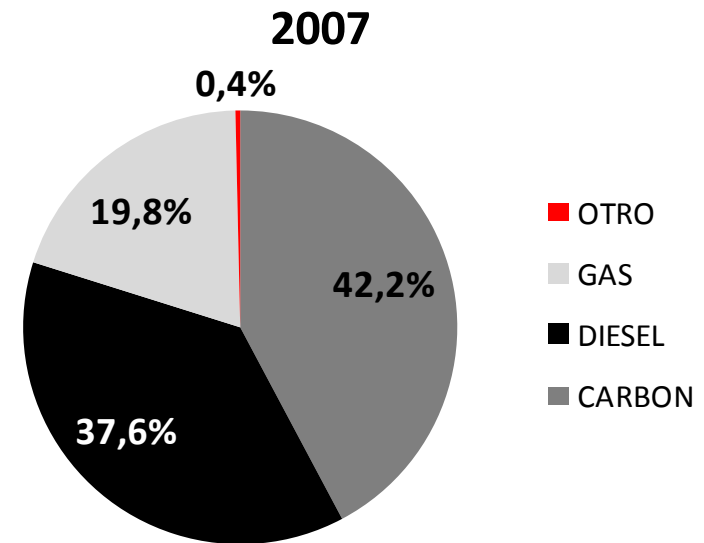
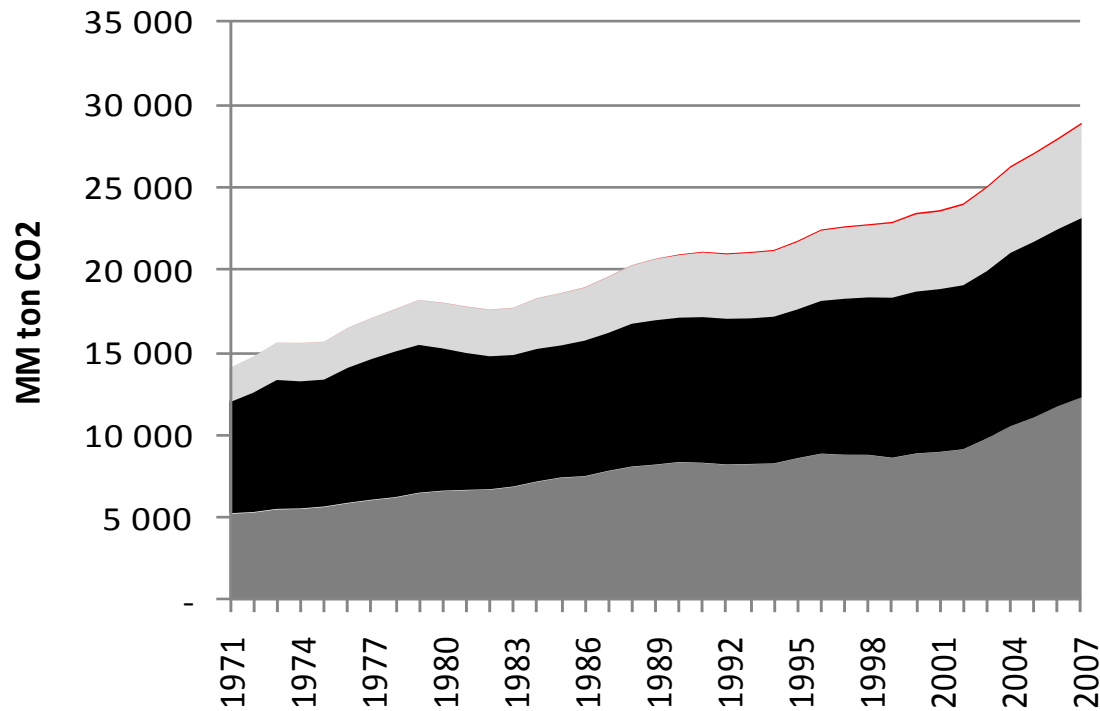


Fuente: IEA, 2009

Emisiones mundiales de CO2 producto de generación de energía



➤ Carbón es el principal emisor de CO2 en generación de energía a nivel mundial.



Fuente: IEA, "CO2 Emissions From Fuel Combustion", 2009

Temática Medioambiental: Tendencia Mundial



- Un desarrollo sustentable debe ser capaz de satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.
- Existe fuerte presión a nivel mundial en virtud de la conservación del medio.



Temática Medioambiental: Tendencia Mundial



- Economías en desarrollo, como China, India y Latinoamérica, requieren incrementos en el consumo energético a futuro.
- Demanda será satisfecha principalmente mediante el consumo de combustibles fósiles.
- Enfoque tradicional de despacho en sistemas eléctricos: equilibrio oferta-demanda en base a un criterio técnico-económico.
 - No son incorporados los costos ambientales asociados a su operación.

Desafío: Incluir consideraciones medioambientales en la operación económica del mercado eléctrico

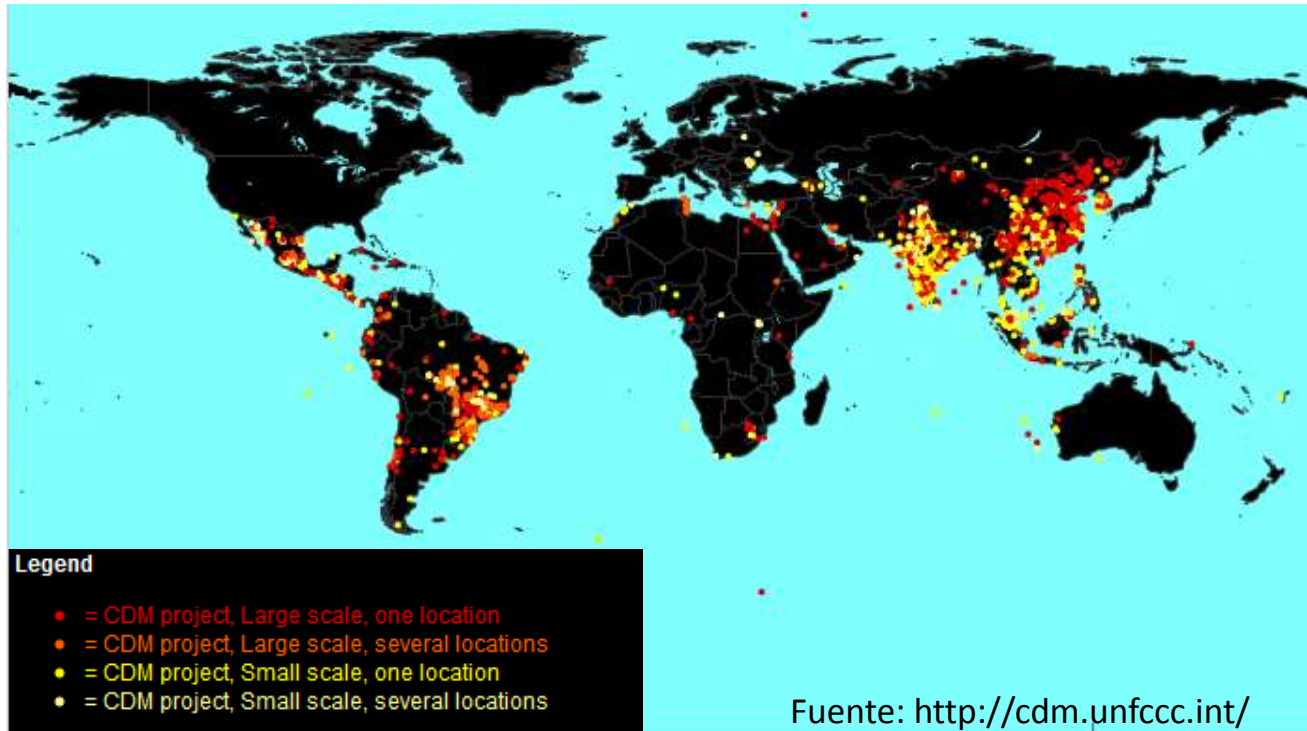


Protocolo de Kyoto

- Más de 160 países firman el llamado Protocolo de Kyoto (1997):
 - Países industrializados deben reducir antes del 2012 sus emisiones a unos niveles globales un 5% menores que los de 1990.
 - Da a los estados la opción de cumplir los respectivos objetivos, o de recurrir a los llamados mecanismos de desarrollo limpio.

- MDL: permiten a los países industrializados suscribir acuerdos para cumplir con metas de reducción de emisiones.
 - Permite, invirtiendo en proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo, adquirir reducciones certificadas de emisiones.
 - La postulación al MDL de la Convención de Naciones Unidas sobre cambio climático (UNFCCC) exige el uso de metodologías aprobadas de Línea Base y Plan de monitoreo.
 - Las reducciones se reconocen en un mercado formal establecido, a través de un beneficio económico por cada tonCO₂ equivalente.

Proyectos MDL en el mundo



Estimación del Precio del Carbono

USD / ton CO ₂	2020	2030	2050
OECD	50	110	175
No-OECD	0	65	175

Fuente: IEA, BLUE Map Scenario, Energy Technology Perspective 2010

¿Y después del 2012?



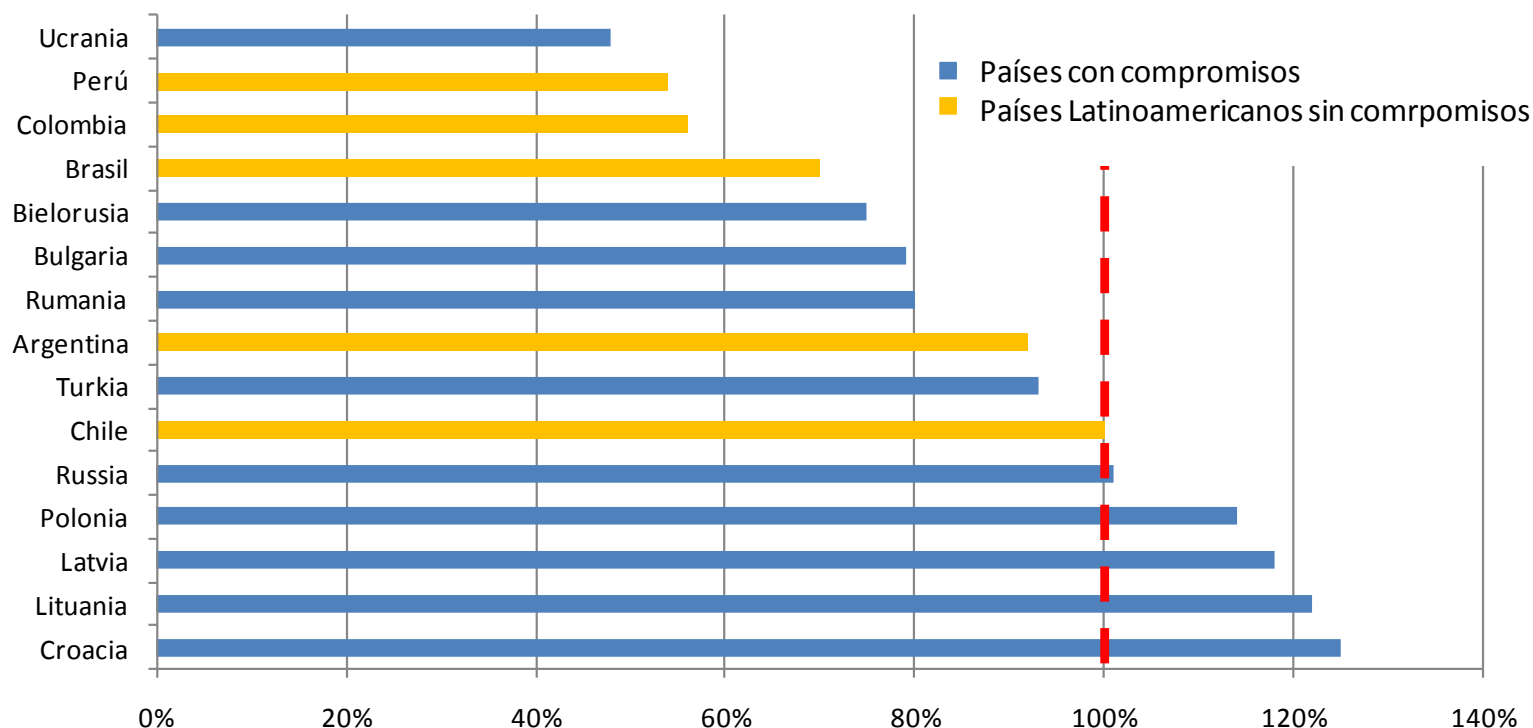
- El año 2009 se realizó en Copenhague la XV Conferencia de Cambio Climático de las Naciones Unidas
 - Se establece un límite 2°C para el aumento de temperatura para el presente siglo
 - Se reconoce la importancia de reducir las emisiones provocadas por la deforestación y degradación de los bosques
 - Se establece la entrega de ayuda financiera para países en desarrollo, para permitir el cumplimiento de las acciones de mitigación que se requieran.
 - Acuerdo meramente político, donde se establecieron los propósitos generales a cumplir.
 - No logró el objetivo de establecer emisiones vinculantes
- La XVI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático se celebrará a fines de 2010 en Cancún.
 - Objetivo: concluir un acuerdo jurídicamente vinculante sobre el clima que se aplica a partir de 2012.

Compromisos de reducción de emisiones



- Países con PIB per cápita similar al chileno ya poseen compromisos voluntarios

PIB percápita ppp, año 2008, referido al valor de Chile



Fuente: FMI, 2009

Nuevas exigencias globales a la demanda



U.S. climate bill needs strong border measure:Senator Baucus
Tue Nov 10, 2009

"The United States must include a tariff or some other "border measure" to protect U.S. manufacturers from unfair foreign competition as part of legislation to address climate change"

Europe

France's carbon tax

Taming the carbonivores
Sep 17th 2009

Hot air over a tentative carbon tax

"Mr Sarkozy says he will now push for a Europe-wide carbon tax on imports from countries that "do not respect any environmental or social rules". That leads some to suspect that his ultimate objective is to create a pretext for protectionism."

The Economist

Climate-change policy

Let it be

Jul 29th, 2010

The Democrats abandon their efforts to limit emissions through legislation

"The Senate's retreat from cap and trade might, one day, lead to a carbon tax. For now it leaves a dreadful mess"

Huella de carbono



- Países desarrollados podrían exigir una reducida huella de carbono en sus productos.
- Impuesto al carbono, podría hacer menos competitivo a productos con mayor huella.
- Etiquetado de la Huella: Tesco UK.



Impactos ambientales locales



- Sus efectos se extienden a las zonas cercanas al origen del mismo.
- Daños al medioambiente local, como también a la salud de personas que coexisten con la fuente de impacto.
- Proyectos presentan generalmente conflictos con comunidades aledañas y movimientos ambientalistas



Impactos ambientales locales



Aire

- Emisión de gases de combustión: SO₂, NO_x, CO, compuestos orgánicos.

Agua

- Descarga de efluentes químicos y térmicos (productos de sistema de enfriamiento).

Personas

- Riesgos para la salud por aspiración de gases tóxicos
- Ruidos molestos
- Desplazamiento de comunidades

Entorno

- Lluvia ácida
- Impacto visual por estructuras ajenas al paisaje

Caso reciente: Central Barrancones en Chile, Agosto 2010



- Proyecto de central a carbón de propiedad de GDF Suez.
- Capacidad de 540 MW y una inversión de MMUS\$ 1.100.
- Ubicada a 25 km de Reserva Natural Pingüino de Humboldt



Caso reciente: Central Barrancones en Chile, Agosto 2010



LATERCERA

Aprueban termoeléctrica en medio de protestas

Por 15 votos a favor -todos de funcionarios de gobierno- y cuatro en contra, la Corema de Coquimbo aprobó ayer el proyecto de la firma franco-belga Suez Energy, para

Diario La Tercera:
25/08/10



EL MERCURIO

Caso Barrancones-Punta Choros apura estrategias de energía:
Gobierno aplicará estándar más riguroso a nuevas centrales termoeléctricas
-Diario El Mercurio: 28/08/10



EL MERCURIO

Piñera acuerda con empresa no instalar termoeléctrica en medio de fuertes presiones

- > Parlamentarios de oposición habían enrostrado compromiso de campaña del Mandatario y dirigentes oficialistas le habían solicitado revertir la iniciativa.
- > El Presidente se comunicó directamente con el máximo ejecutivo de la multinacional, Gérard Mestrallet, tras gestiones del empresario Juan Claro.
- > El Jefe de Estado sorprendió con la medida a los titulares de Energía y Medio Ambiente.
- > Abogado de pobladores de Punta Choros dice que la Corema demostró que "no es un organismo técnico ambiental".

Suez Energy decide abortar la construcción

Diario El Mercurio: 27/08/10



Definición de normativas



- Objetivos ambientales específicos para cada país son definidos en función de sus propios intereses.
- Las normas de emisión son medidas directas sobre el desempeño de los agentes contaminantes:
 - **Desafío de los países Latinoamericanos:** Encontrar un equilibrio entre costos y beneficios de su aplicación, conciliando la competitividad con la protección de los recursos ambientales.
 - Se deben definir claramente límites de modo de garantizar los intereses de la sociedad y entregar certidumbre a inversionistas
 - La utilidad de las normas dependerá de la capacidad de aplicación y de fiscalización expedita y eficiente

Principales emisiones y residuos contaminantes



Emisión de gases

- *CO2 genera impactos globales y no es nocivo en sí mismo*
- *NOx y SO2 causan impactos locales. Altamente nocivos para la salud.*

Emisión de material particulado

- *Producen efectos locales como lluvia ácida, reducción de visibilidad, corrosión, y efectos en la salud.*

Vertimiento de aguas

- *Son utilizadas en el proceso de enfriamiento, por lo que se encuentran a altas temperaturas y con contaminantes.*

Emisión de desechos sólidos

- *Pueden ser residuos de la combustión y del combustible utilizado.*

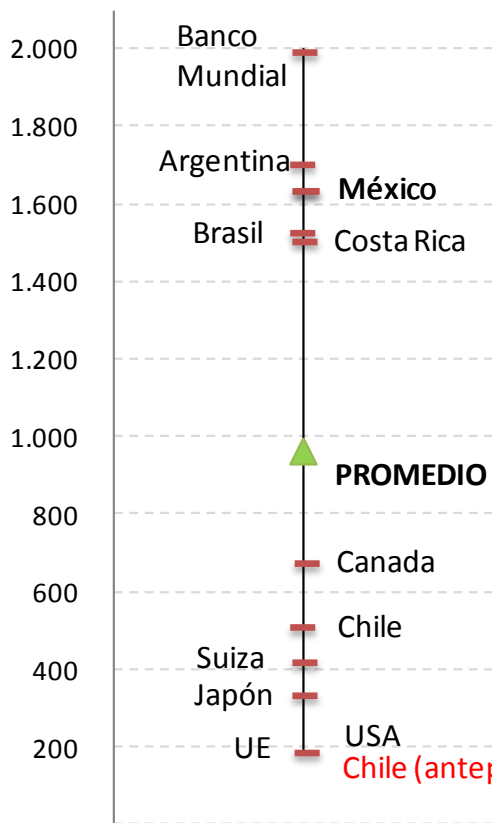
Otros productos

- *Compuestos halogenados, compuestos orgánicos volátiles, elementos químicos en pequeña concentración (mercurio, níquel, vanadio), etc.*

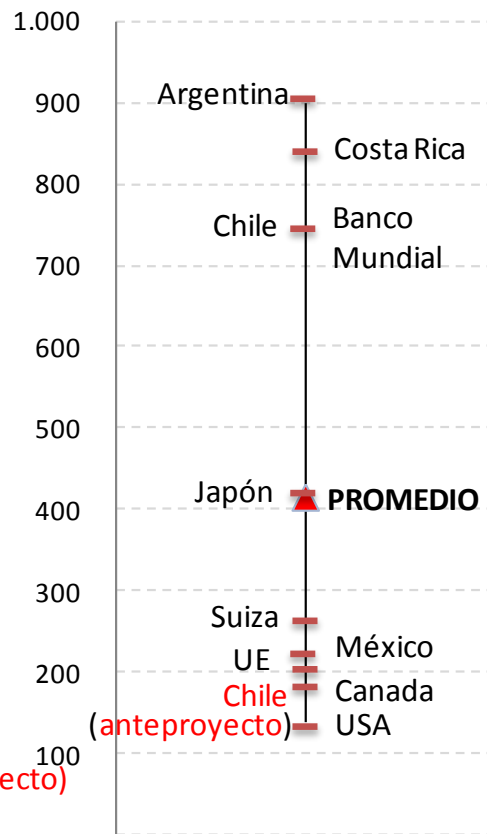
Revisión normativa internacional para emisiones de contaminantes (mg/m³N)



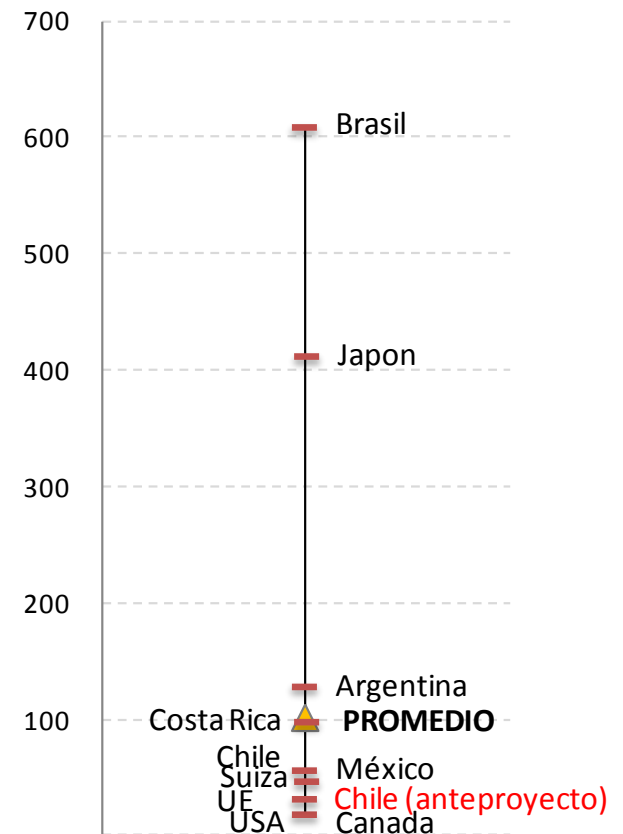
Norma SO₂



Norma NO_x



Norma PM



Fuente: CONAMA, 2009

Tecnologías que reducen impacto de la generación sobre el ambiente



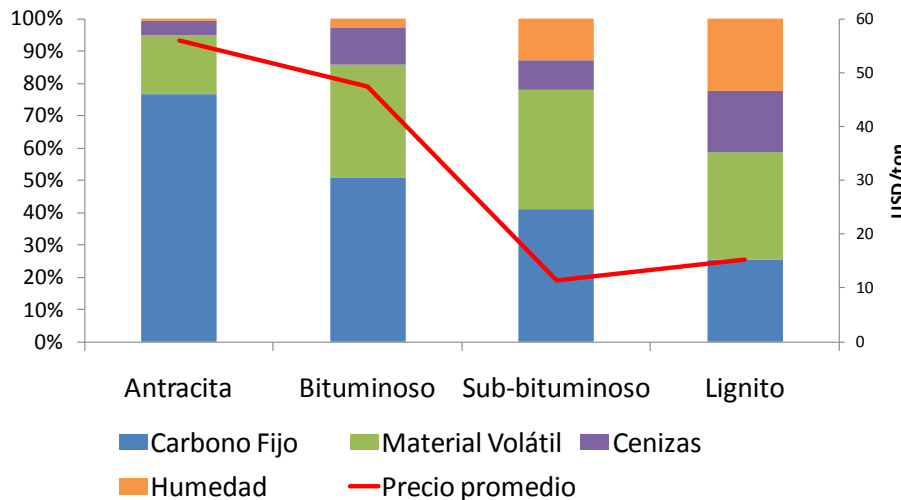
- La generación de CO₂ es intrínseca al funcionamiento de las plantas térmicas
- Uso de combustibles limpios como gas natural en desmedro de carbón/diesel permiten reducir emisiones.
- Medidas preventivas: Uso de combustible con bajo contenido de azufre
 - Carbón S < 1%, diesel con bajo ppm.
- Métodos primarios: relacionados con la tecnología de combustión (Low Nox, lecho fluidizado)
- Métodos secundarios o de abatimiento: filtros de mangas, precipitadores, etc.

Combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas

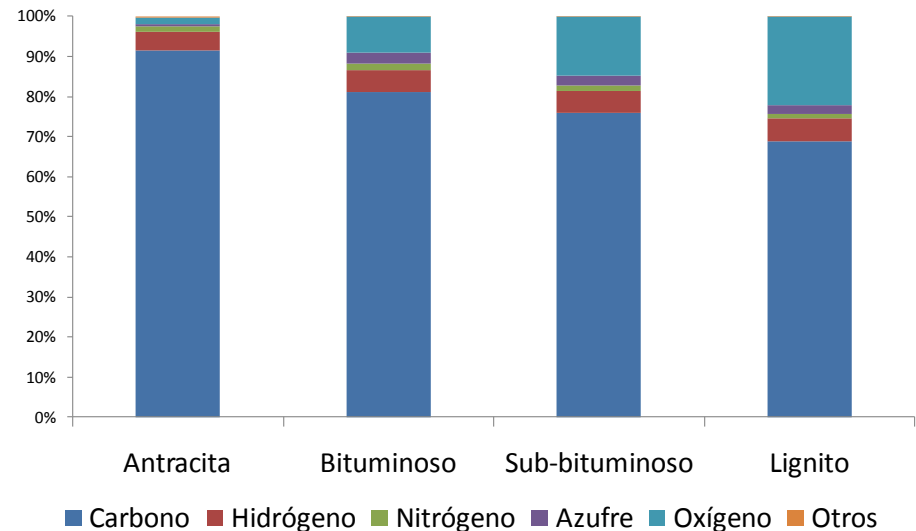


- Origen: descomposición de materia orgánica en un ambiente anaeróbico a alta presión
- Ejemplo: Carbón
 - Según el contenido de carbono alcanzado se distinguen distintas categorías: antracita, bituminoso, sub-bituminoso, lignito, entre otros
 - Composición varía de acuerdo al proceso geológico particular de cada zona

Composición de Carbón y Precio Promedio Según Rango - *Proximate Analysis*



Composición de Carbón Según Rango - *Ultimate Analysis*



Equipos de mitigación – Gases de combustión



Principales Equipos de Mitigación de contaminantes en gases de combustión

Material

Particulado (MP)

- Precipitador Electroestático
- Filtro de Manga

SO₂

- Wet Flue Gas Desulfurization (Wet FGD)
- Semi-dry FGD
- Dry FGD
- Seawater FGD

NO_x

- Low-NO_x Burner
- Overfire Air
- Recirculación de Gases
- Selective Catalytic Reduction (SCR)
- Selective Noncatalytic Reduction (SNCR)

Equipos de mitigación – Gases de combustión



Principales Equipos de Mitigación de contaminantes en gases de combustión

Material Particulado (MP)

- Precipitador Electroestático
- Filtro de Manga

SO₂

- Wet Flue Gas Desulfurization (Wet FGD)
- Semi-dry FGD
- Dry FGD
- Seawater FGD

NOx

- Low-NOx Burner
- Overfire Air
- Recirculación de Gases
- Selective Catalytic Reduction
- Selective Noncatalytic Reduction

Equipos de mitigación para material particulado



Precipitador Electrostático (ESP)

Mediante campos eléctricos se extraen las partículas de los gases. Las partículas son inicialmente cargadas, para luego ser recolectadas por electrodos.

Eficiencia mayor a 99% [3]

Filtro de manga (*Fabric Filter o Baghouse*)

Los gases de combustión pasan por filtros de tela que captan las partículas.
Necesitan bajas concentraciones de Azufre.

Eficiencia mayor a 99% [4]

[3] Fuente: <http://www.iea-coal.org.uk/site/ieacoal/databases/ccts/electrostatic-precipitators-esp>

[4] Fuente: <http://www.iea-coal.org.uk/site/ieacoal/databases/ccts/fabric-filters-baghouses>

Equipos de mitigación – Gases de combustión



Principales Equipos de Mitigación de contaminantes en gases de combustión

Material

Particulado (MP)

- Precipitador Electroestático
- Filtro de Manga

SO₂

- Wet Flue Gas Desulfurization (Wet FGD)
- Semi-dry FGD
- Dry FGD
- Seawater FGD

NOx

- Low-NOx Burner
- Overfire Air
- Recirculación de Gases
- Selective Catalytic Reduction
- Selective Noncatalytic Reduction

Equipos de mitigación para SO₂



Desulfurización húmeda (*Wet FGD*)

A los gases de combustión se les inyecta un elemento absorbente en una solución acuosa (típicamente caliza).

SO₂ reacciona y luego cae al fondo del compartimiento donde es recolectado.

Eficiencias de hasta 90% - 95% [5] (dependiendo del agente absorbente)

Desulfurización semi-seca (*Semi-dry FGD*)

Utiliza una solución con menor contenido de agua. Se evapora al contacto con los gases calientes.

Resulta un desecho seco que no decanta solo. Debe ser recolectado por el elemento de control de MP.

Eficiencia entre 80% - 90% [5]

Equipos de mitigación para SO₂



Desulfurización seca (Dry FGD)

Un polvo de elemento absorbente es inyectado a los gases de combustión. Al igual que el sistema semi-seco, el residuo luego debe ser recolectado por el sistema de control de MP

Más económicos que los sistemas húmedos y semi-secos, pero cuentan con una menor eficiencia (hasta 80% [6])

Desulfurización por agua de mar (Seawater FGD)

El agua de mar absorbe el SO₂ de los gases de combustión sin ningún tipo de químico ni reactivo adicional. El SO₂ se oxida hasta tomar la forma de sulfato. Este es un ingrediente natural del agua de mar, es inocuo y soluble.

Eficiencia entre 80% - 90% [7]

[6] Air Pollution Control Factsheet, EPA 2003

[7] Fuente: Tecnologías de Desulfurización de ALSTOM: Reduciendo emisiones de óxidos de azufre en plantas de generación de energía, 2005 ALSTOM

Equipos de mitigación – Gases de combustión



Principales Equipos de Mitigación de contaminantes en gases de combustión

Material

Particulado (MP)

- Precipitador Electroestático
- Filtro de Manga

SO₂

- Wet Flue Gas Desulfurization (Wet FGD)
- Semi-dry FGD
- Dry FGD
- Seawater FGD

NO_x

- Low-NO_x Burner
- Overfire Air
- Recirculación de Gases
- Selective Catalytic Reduction
- Selective Noncatalytic Reduction

Equipos de mitigación para NOx



Dispositivos de mitigación de NOx que actúan en la combustión

Control de la cantidad de oxígeno u otro factor durante la combustión para evitar la formación de NOx

- Low-NOx Burners (eficiencia: 30-55%)
 - Overfire Air (eficiencia: 30-55%)
- Recirculación de gases de combustión (Eficiencia: 15-20%) [8]

Dispositivos de mitigación de NOx de tratamiento post-combustión

Típicamente se inyecta amoníaco a los gases de combustión, el cual reacciona con los elementos NOx

- Filtros Catalíticos Selectivos – SCR (Eficiencia: hasta 90%)
- Filtros No Catalíticos Selectivos - SNCR (Eficiencia: 40%) [8]

[8] Analysis of pollution control costs in coal based electricity generation, CCSD 2008

Costos asociados a las medidas de mitigación



➤ Costo final de cada tecnología depende de diversos factores:

- Condiciones del proveedor (tanto en inversión como mantención)
- Nivel de emisiones que se desea alcanzar (normativa vigente y línea base)
- Tipo y calidad del combustible utilizado
- Espacio disponible para la instalación (central nueva v/s existente)
- Tipo y cantidad de absorbentes empleados en el proceso (si corresponde)

Costos asociados a las medidas de mitigación



Control de Emisión	Tecnología de Mitigación	Aplicación Según Tipo de Central			Eficiencia	Costos de Capital US\$/kW ⁽³⁾	Costo Fijo US\$/kW-año ⁽³⁾	Costo Variable US\$/MWh ⁽³⁾
		Carbón	Gas Natural	Diesel				
MP	Precipitador Electrostático	✓			>99%	22 - 122	0,1 - 1,5	0,3 - 2,4
	Filtro de Manga	✓		✓	>99%	19 - 60	1,0-4,0	0,4 - 1,7
SO ₂	Wet FGD	✓			90% - 95%	187	3,9	1,0 - 2,9
	Semi-Dry FGD	✓ (2)			80% - 90%	140	2,6	1,3 - 3,0
	Dry FGD	✓ (2)			hasta 80%	126	1,5	0,5
NO _x	Low-NO _x Burners	✓	✓	(1)	30%-55%	19 - 64	0,4 - 1,4	-
	SCR	✓	✓	✓	hasta 90%	61 - 320	0,2 - 2,4	0,7 - 6,4
	SNCR	✓	✓	✓	40%	16 - 58	0,1 - 0,2	0,2 - 0,8

- (1) No aplica sobre motores de combustión interna; en esos casos, se logran efectos similares con modificaciones al esquema de combustión
- (2) Requieren de un sistema de control de MP para operar correctamente
- (3) Valores a diciembre de 2008. Fuente: "Análisis General del Impacto Económico y Social de una Norma de Emisión para Termoeléctricas", KAS Ingeniería, diciembre de 2009.

Equipos de mitigación para otro tipo de contaminantes: Mercurio



- Control de mercurio en los gases de combustión.
- Tecnologías de control de MP, SO₂ y NO_x ayudan a reducir las emisiones de mercurio y otros metales pesados.
- Equipos de abatimiento especializados en desarrollo.

Control de RILes y RISEs



Residuos Industriales Líquidos (RILes): desechos líquidos generados en procesos industriales.

- **Estanques de rebalse para separación de aceites:** lagunas donde tienen lugar un proceso de autodepuración llamado de estabilización natural.
- **Neutralización:** desmineralización del agua genera efluente ácido y alcalino. Aguas se neutralizan utilizando ácido sulfúrico o clorhídrico e hidróxido de sodio para ajustar pH a rangos neutros
- **Control de temperatura:** para descargas térmicas severa, se requiere reducir la t° de la descarga a través de una laguna de enfriamiento.
- **Profundidad de descarga:** a mayor profundidad se produce un intercambio de t° más eficaz.

Residuos Industriales Sólidos (RISeS): desechos sólidos generados en procesos industriales.

- **Captura:** residuos se capturan durante el proceso para luego ser trasladados a centros especializados donde son eliminados o reciclados



Control de RILes y RISes

- Costos de disposición de residuos peligrosos (no pueden ser eliminados en vertederos tradicionales)

Residuo	Costo ⁽¹⁾	Unidades
Envases (metal o plástico) de lubricantes, grasa, pintura, solvente o refrigerante vacíos	509	USD/Tonelada
Tambores usados con restos de lubricante (200 litros)	8	USD/Unidad
Paños o aserrín contaminados	297	USD/Tonelada
Tierra contaminada	424	USD/Tonelada
Filtros de aceite o combustible (incluye filtros de aire)	42	USD/Tonelada
Mangueras hidráulicas o flexibles contaminados	424	USD/Tonelada
Solvente (no halogenado) o refrigerante usado	127	USD/Tonelada
Petróleo contaminado	127	USD/Tonelada
Aguas contaminadas con hidrocarburo	148	USD/Tonelada
Barro o lodo contaminado	424	USD/Tonelada
Aceites lubricantes usados (máximo 15% de agua y sedimentos)	Sin costo	-
Aceites lubricantes usados (entre 15% y 25% de agua y sedimentos)	20	USD/Tonelada
Aceites lubricantes usados (entre 25% y 40% de agua y sedimentos)	50	USD/Tonelada
Aceites lubricantes usados (sobre 40% de agua y sedimentos)	119	USD/Tonelada
Baterías usadas	Sin costo ⁽²⁾	-

(1) No se incluyen costos de retiro y transporte

(2) Sujeto al retiro de aceites usados

Métodos de abatimiento en desarrollo: captura y secuestro de carbono (CCS)



- Aún lejos de la madurez comercial.
- Consiste en la captura del CO₂ en algún punto del proceso de quema de combustibles, para luego almacenarlo de forma segura y evitar contribuir al efecto invernadero.
- Altos costos y requerimientos energéticos hacen que esta tecnología aún se encuentre en una etapa de desarrollo.

Métodos de abatimiento en desarrollo: captura y secuestro de carbono (CCS)



➤ Básicamente tres sistemas de captura

Pre-combustión

- Combustible se disocia en CO_2 y H_2 mediante reacciones con oxígeno u otros elementos. CO_2 se remueve y H_2 se utiliza como combustible.

Oxy-fuel combustion

- Combustible se quema en presencia de oxígeno puro
- Resultado: gas de escape compuesto únicamente de CO_2 y H_2O , lo que facilita su captura

Post-combustión

- Captura mediante agentes químicos aplicados sobre los gases de escape

➤ Una vez capturado el CO_2 este debe ser almacenado. Dentro de las alternativas una de las más aceptada es almacenar el CO_2 en depósitos geológicos*.

*Fuente: IPCC, Carbon Dioxide Capture and Storage, 2005

Métodos de abatimiento en desarrollo: captura y secuestro de carbono (CCS)



- Financiamiento de parte de los gobiernos para el desarrollo de esta tecnología
- Existe un desarrollo de proyectos con tecnología CCS:
 - UK , gobierno incentiva el desarrollo de primeras centrales a escala comercial que utilicen tecnología CCS. Se espera que estén funcionales para el 2014 [10]
 - Alianza entre empresas generadoras y el DOE de EEUU por 1.000 MMUS\$ para el desarrollo de proyectos de tecnología CCS [11]
 - Evaluación de sitios para almacenar el CO2 en la costa de Escocia [12]

[10] <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.berr.gov.uk/whatwedo/energy/sources/sustainable/ccs/ccs-demo/page40961.html>

[11] <http://online.wsj.com/article/BT-CO-20100831-714716.html>

[12] <http://www.bbc.co.uk/news/10214297>

Ejemplo: Costos de Inversión y Operación de una central a carbón en Chile



➤ Central carbonera tipo:

- Capacidad: 350 MW instalados
- Carbón bituminoso de 6.144 kcal/kg
- Caldera de tecnología carbón pulverizado
- Ubicada en borde costero
- Tecnología de mitigación de emisiones: cumplimiento de norma vigente en Chile
- Valores de febrero de 2010

➤ Costos de Inversión:

Valores de Inversión	MMUSD	%
Estudios y Permisos	3,3	0,4%
Manejo de Carbón	31,8	3,6%
Equipos Térmicos	198,4	22,6%
Turbo Generación	131,4	15,0%
Manejo de Cenizas	9,0	1,0%
Sistema Enfriamiento	231,8	26,4%
S/E Primaria	3,6	0,4%
Otros	19,8	2,2%
Abatimiento Emisiones	46,3	5,3%
Precipitador Electroestático	18,4	2,1%
Desulfurizador con agua de mar	27,9	3,2%
Conexión	138,0	15,7%
Puerto	64,8	7,4%
Total	878,1	100,0%
Total por MW instalado (USD/MW)	2.509	

Fuente propia

Ejemplo: Costos de Inversión y Operación de una central a carbón en Chile



➤ Estructura de Costos de Operación:

— Se consideran:

- Consumo específico en kcal/kWh.
- Consumos propios de la central
- Costos variable no combustible (US\$/MWh).
- Costos de mitigación y monitoreo ambiental durante la etapa de operación (US\$/MWh).

CVNC US\$/MWh	O&M MMUS\$/año	Manejo y Monitoreo US\$/MWh
4,8	4,25	0,081

Fuente propia

Ejemplo: Costos de Inversión y Operación de una central a carbón en Chile



➤ Análisis de Sensibilidad:

- Anteproyecto de norma para Chile (dic 2009) hace mayores exigencias a emisiones contaminantes.

	Norma vigente mg/m ³ N	Nueva norma mg/m ³ N
PM	50	30
NO _x	750	200
SO ₂	500	200

➤ Requerimientos adicionales para cumplimiento de la norma:

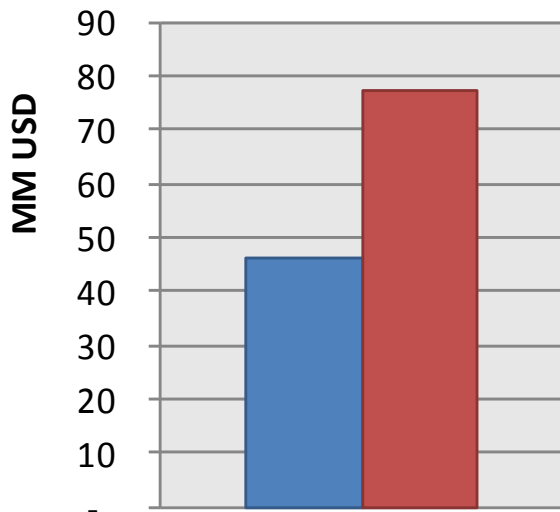
- Selective Catalytic Reduction (SCR): sistema de abatimiento de NO_x con un 85% de eficiencia inducida por la presencia de un catalizador y la inyección de amoníaco.
- Se aumenta la eficiencia del desulfurizador de un 90% a un 93%.

Ejemplo: Costos de Inversión y Operación de una central a carbón en Chile



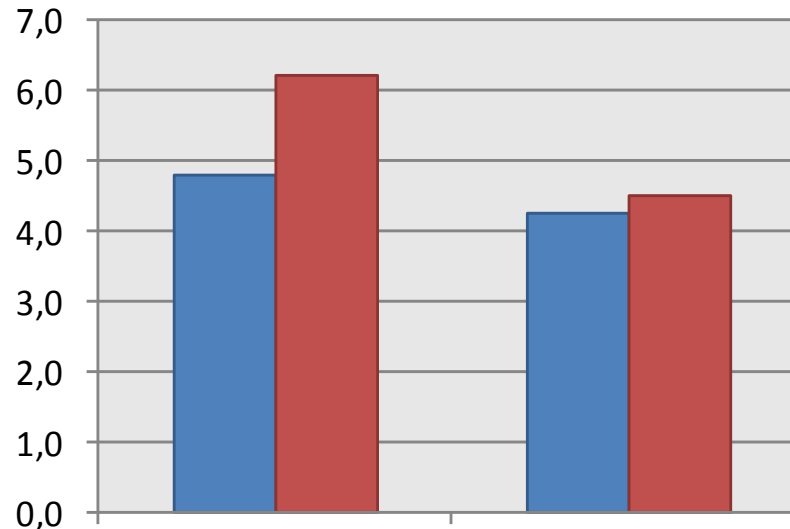
- Requerimientos adicionales para cumplimiento de la norma:
 - Inversión en SCR significa MM USD 31 adicionales (4% del valor total de la planta)
 - Mejora en la eficiencia del desfulsurizador significa aumento en CVNC (30% respecto el caso base) y O&M (6% respecto al caso base)

Inversión



Fuente propia SCR

Operación



CVNC (US\$/MWh) O&M (MMUS\$/año)

■ Norma Ambiental Vigente Chile
■ Anteproyecto de Norma Ambiental

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



- Despacho económico clásico sólo reconoce el costo operacional de los generadores

$$\text{Min} \sum_{i \in G} F_i(P_i)$$

Minimizar costos de operación

Restricciones:

s. a.

$$\sum_{i \in G} P_i - P_L - P_D = 0$$

-Generación igual a demanda más pérdidas

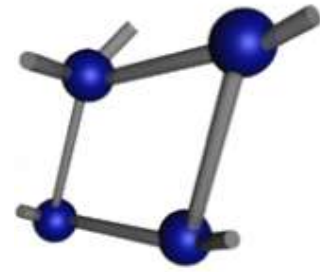
$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad i \in G$$

-Generación dentro de límites técnicos de cada central

-Se puede incluir restricciones de capacidad de líneas, reserva en giro, etc

- **¿Cómo incorporar consideraciones ambientales y el costo de estas al despacho?**

Despacho Económico en Sistemas Térmicos

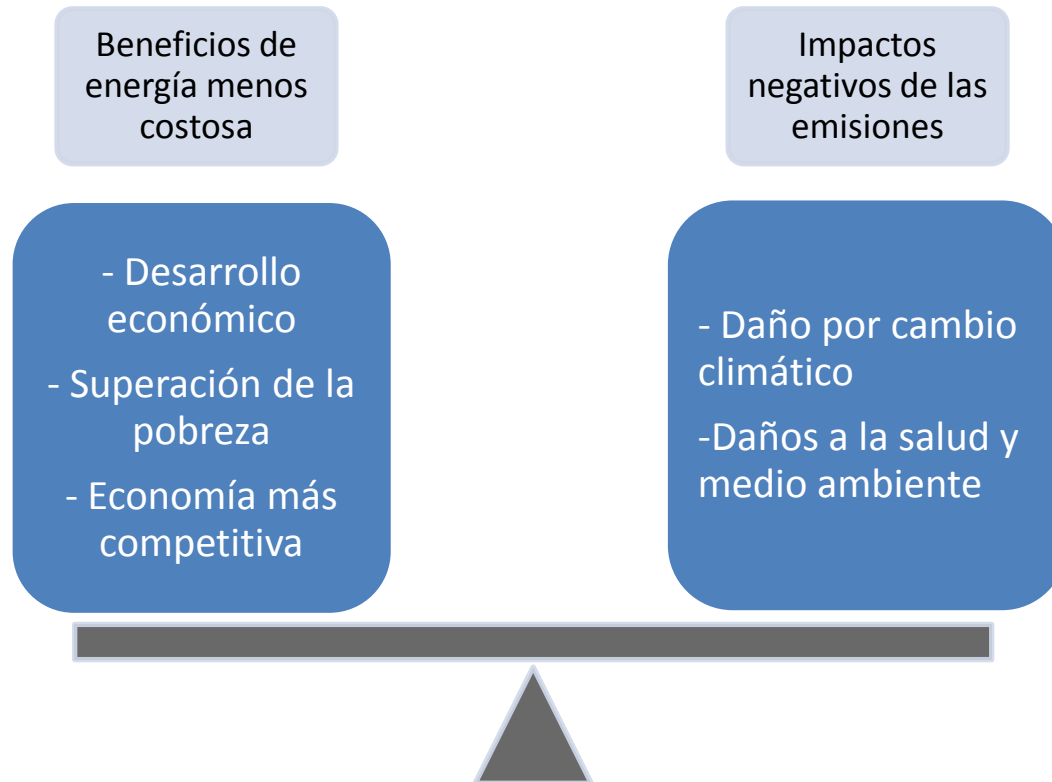


- Costos de operación y reducción de emisiones no pueden ser minimizados de manera simultánea.
- Estos dos objetivos por lo general entran en conflicto.
- La experiencia académica plantea varias alternativas:
 - De enfoque de mercado:
 - Penalización a los costos de operación – Impuesto a Emisiones
 - Cap-and-Trade
 - Otras propuestas:
 - Límite a la cantidad de emisiones; agregar una restricción al problema
 - Problemas multi-objetivo

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



- Objetivo de fondo es buscar un balance entre:
- Los beneficios de un despacho económico.
 - Los costos sobre la sociedad asociado a la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero



Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 1. Penalización a los costos de operación – Impuesto a Emisiones

Descripción		Características
Impuesto a Emisiones	Internalizar el efecto negativo de las emisiones en los costos de operación mediante un impuesto	Ventajas
		- Incentivo claro en cuanto a costos
		- Simple y directo de aplicar
		Desventajas
		- Dificultad de establecer el valor del impuesto
- Incertidumbre respecto a cuánto se logra reducir las emisiones		
		Otros aspectos
		- Destino de recaudación tributaria

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 1. Penalización a los costos de operación – Impuesto a Emisiones

- Impacto directo en la función objetivo del operador de sistema

$$\text{Min} \sum_{i \in G} F_i(P_i) + \underline{\text{Tax}_i(P_i)}$$

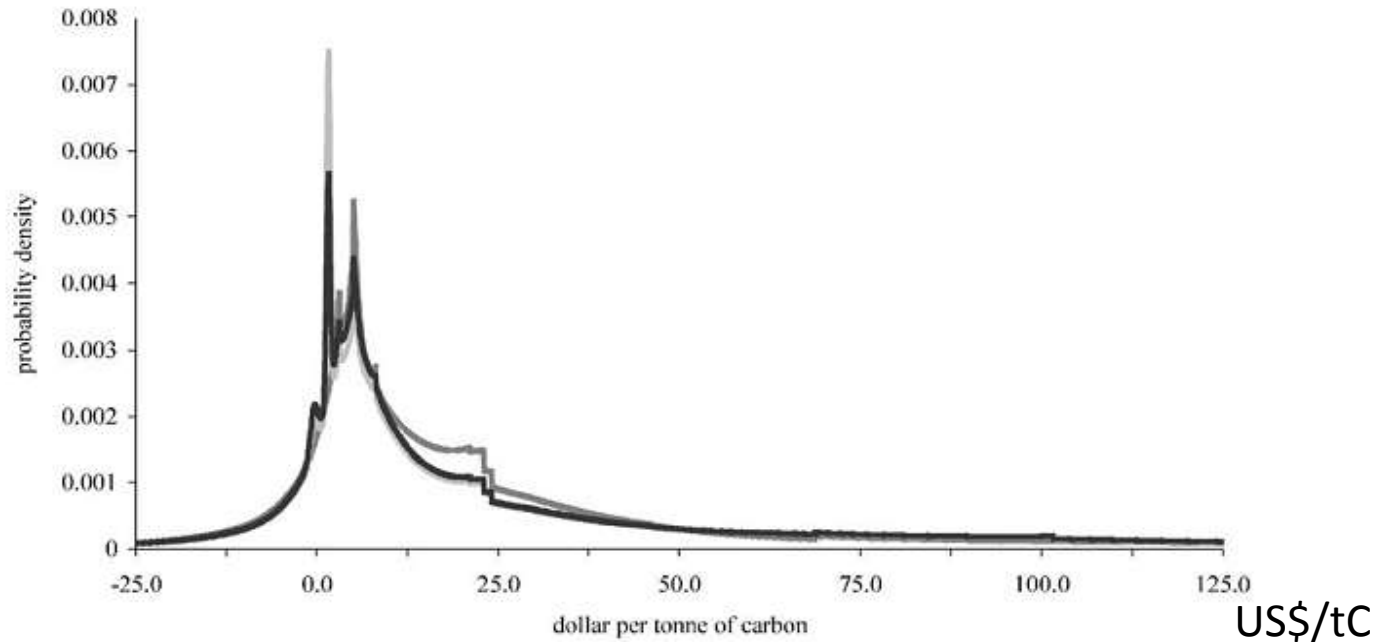
- Carbon Tax es ampliamente discutido a nivel internacional
- Discusión podría extenderse a otros contaminantes (SO₂, NO_x)

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 1. Penalización a los costos de operación

- Dificultad en establecer el valor del impuesto
- Tol, 2004 resume el precio a la tonelada de carbono reportada por diversos estudios [10] . Amplio rango de valores:



[10] Tol, R. The marginal damage costs of carbon dioxide emissions: an assessment of the uncertainties

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 2. Mecanismo de Cap and Trade

	Descripción	Características
Cap-and-Trade	Poner un tope a la cantidad de emisiones. Este tope está respaldado por créditos de emisiones, transables en el mercado	Ventajas <ul style="list-style-type: none">- Se conoce el objetivo de reducción de emisiones Desventajas <ul style="list-style-type: none">- Sistema más complejo que establecer un impuesto a las emisiones- Incertidumbre en los costos

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 2. Mecanismo de Cap and Trade

- Es posible incorporar el costo de comprar los créditos en el problema de despacho.
- Por cada MWh hora adicional generado se debe comprar la cantidad de créditos equivalentes.
- Existen mercados operando con sistemas de cap-and-trade:
 - De CO₂ en la Unión Europea operando desde el 2005
 - SO₂ en EEUU operando desde 1995
- Actualmente hay propuestas de incluir el sistema de cap-and-trade para controlar las emisiones en nuevos mercados:
 - Discusión de incluir sistema de Cap-and-trade de CO₂ en EEUU
- Importante discusión de qué sistema es mejor:
 - Cap-and-Trade o Impuesto a las emisiones

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



- Además existen esquemas abordados por la experiencia académica, pero sin mucho impacto a nivel la gestación de políticas ambientales:
 - Límite a la cantidad de emisiones; agregar una restricción al problema
 - Problemas multi-objetivo

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 3. Restricciones al límite máximo de emisiones por contaminante

	Descripción	Características
Restricción al límite máximo de emisiones	Agregar una restricción al problema que resuelve el operador del sistema: $\sum_{i \in G} E_i(P_i) \leq E_{max}$ Esto es, la suma de emisiones debe ser menor a límite preestablecido	Ventajas
		- Se conoce el objetivo de reducción de emisiones
		Desventajas
		- Incremento del costo de operación puede ser mayor al beneficio de la reducción de emisiones
		- Problema puede no admitir solución
		- Señales de mercado pueden no ser las más adecuadas

Despacho Económico en Sistemas Térmicos



➤ 4. Función a minimizar con múltiples objetivos

	Descripción	Características
Formulación multi-objetivo	Problema con dos objetivos: $\text{Min} \left[\sum_{i \in G} F_i(P_i) ; \sum_{i \in G} E_i(P_i) \right]$ Distintas alternativas de solución: <ul style="list-style-type: none">- Suma ponderada de objetivos- Pareto Optimalidad- Curvas de <i>trade-off</i>- Valorización de emisiones	Ventajas <ul style="list-style-type: none">- Considera las múltiples dimensiones del problema Desventajas <ul style="list-style-type: none">- Complejidad de llevar a la práctica- Incerteza de estar entregando las señales económicas adecuadas- Excesiva complejidad computacional del problema de despacho

Resumen



- El cambio climático está generando una fuerte presión a los mercados de energía, lo que hace más complejo su desarrollo.
- El desafío no resuelto en la región es hacer compatible el desarrollo económico de las economías emergentes con el medioambiente:
 - El impacto global obliga a objetivos de reducción de gases de efecto invernadero, con presión de naciones desarrolladas.
 - El impacto local obliga a más exigentes medidas de emisiones y residuos, junto con un mejor ordenamiento territorial.
- Aun hay mucho que avanzar en la incorporación de estas variables en la operación de los mercados eléctricos de la región.

Referencias



➤ Más información en:

– Publicaciones

<http://www.systep.cl/publicaciones.php>

– Reporte Mensual

<http://www.systep.cl/reportes.php>



SEMINARIO INTERNACIONAL de
PLANTAS TERMOELÉCTRICAS
SIPTERMO - CIER
2010

7 al 10 de Setiembre, 2010
San José, Costa Rica

Consideraciones Ambientales en el Despacho Termoeléctrico y sus Implicancias Económicas

Sebastian Mocarquer G.
smocarquer@systep.cl



www.systep.cl



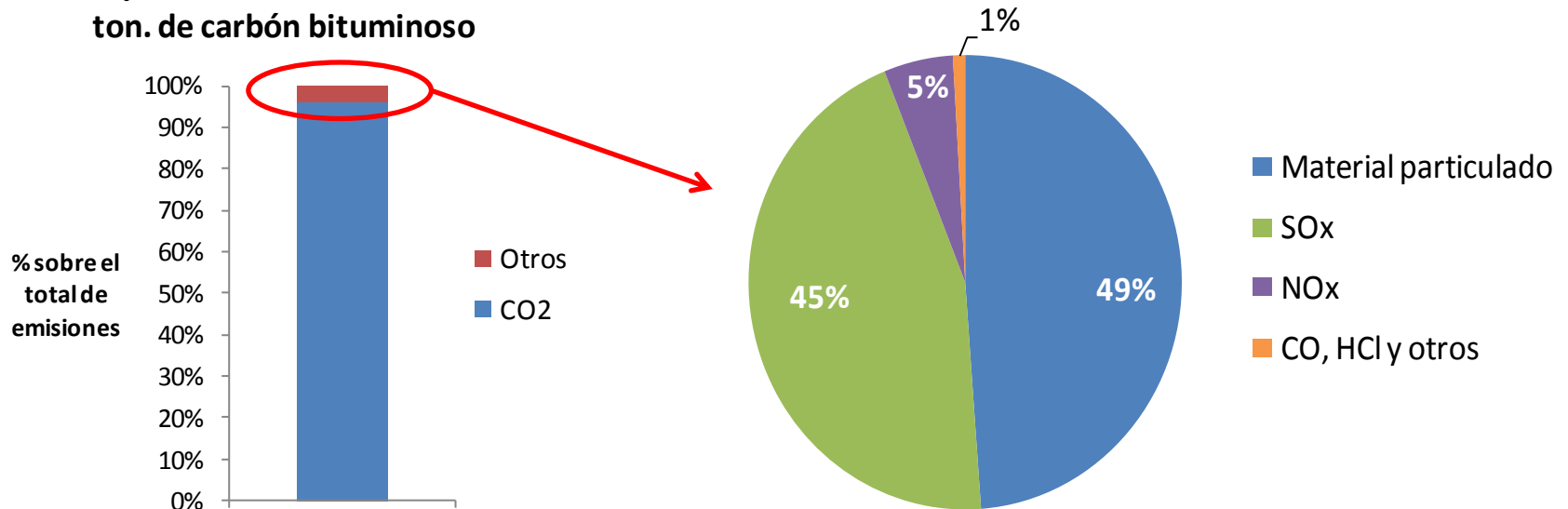
Combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas



➤ Carbón

- Nivel de emisiones varía según el rango del carbón, además de la forma en que se realiza el proceso de generación y tecnologías de abatimiento implementadas

Composición de emisiones de 1 ton. de carbón bituminoso



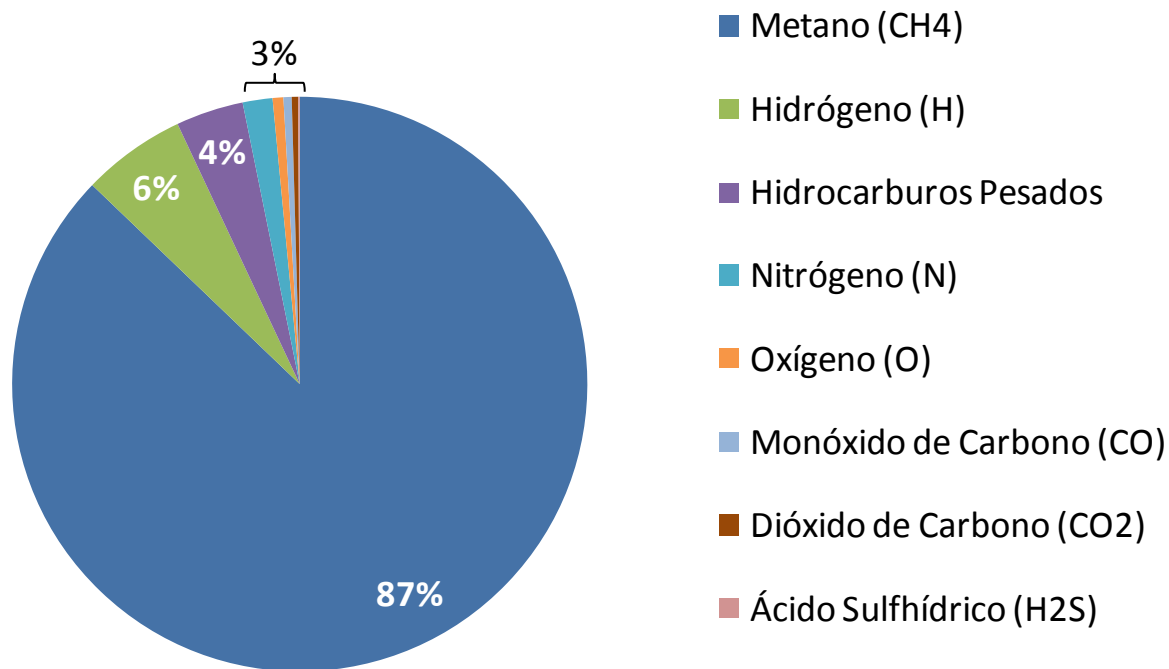
Combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas



➤ Gas Natural

- Composición varía de acuerdo al proceso geológico particular de cada zona

Composición del Gas Natural



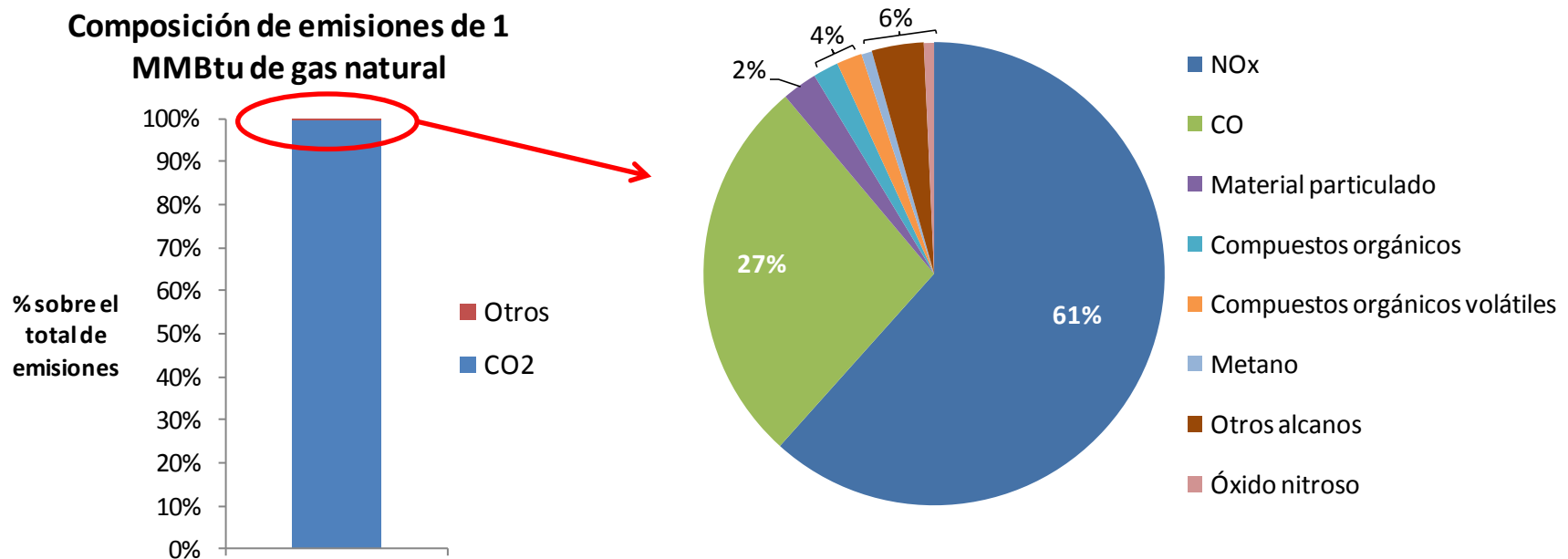
Combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas



➤ Gas Natural

- Proceso de extracción implica eliminación de azufre y otras impurezas, lo que reduce el nivel de emisiones

Composición de emisiones de 1 MMBtu de gas natural



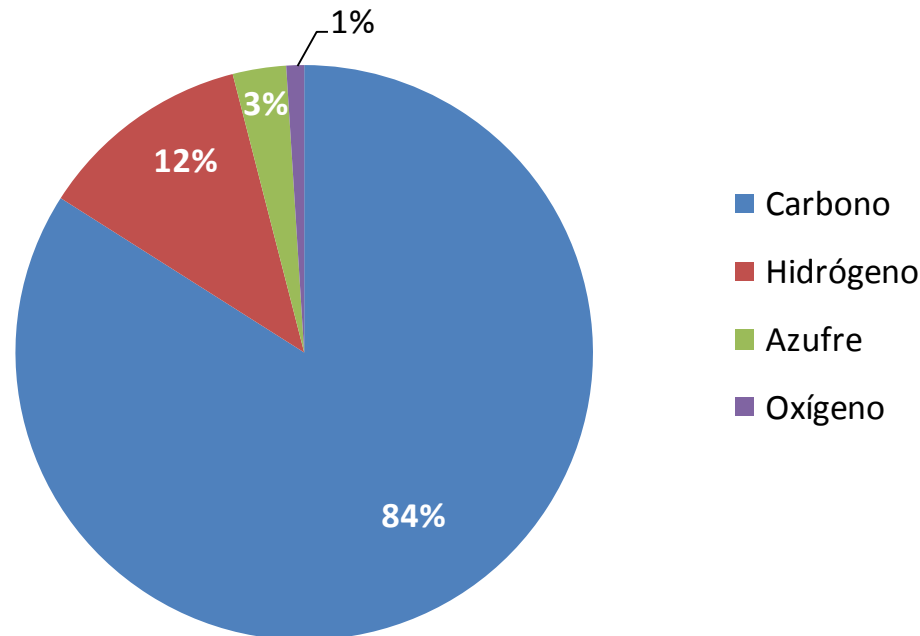
Combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas



➤ Derivados del Petróleo

- Proceso de refinación permite obtener diferentes subproductos, siendo el de tipo fuel oil N°2/Diesel el que mayormente se utiliza en generación
- Su composición presenta gran variabilidad

Composición típica del Diesel

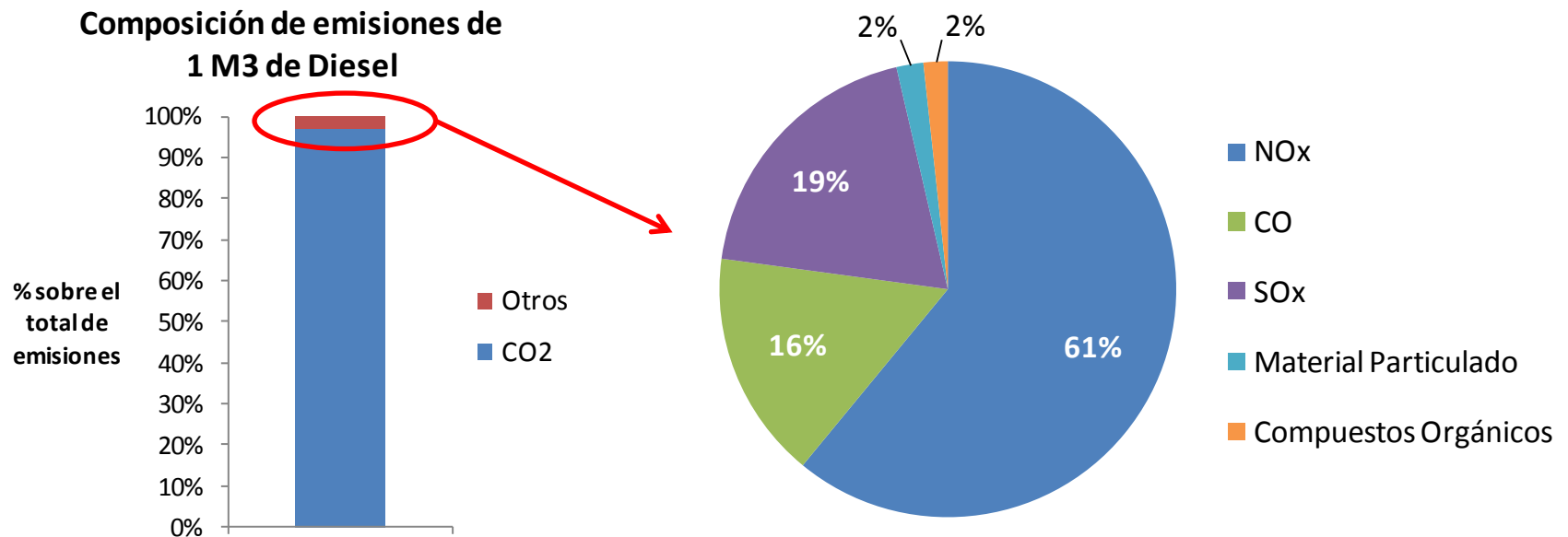


Combustibles fósiles utilizados en centrales térmicas



➤ Derivados del Petróleo

- Nivel de emisiones depende fuertemente del tipo de destilado utilizado y el grado del mismo



Control de RILes y RISes



- Producción anual de residuos estimada para una central a carbón de 1050 MW

Tipo	Descripción	Cantidad Anual	Unidades
RILes	Aceites	5.400	Litros
	Grasas y solventes	1.500	Litros
RISes	Trapos, guaipe, ropa y papeles contaminados con aceites y grasas	1,5	Toneladas
	Tambores y envases contaminados	1.800	Unidades
	Mangueras y flexibles contaminados con aceites y solventes	300	Kilos
	Tubos fluorescentes	4.000	Unidades
	Baterías	150	Unidades
	Catalizadores (SCR), celdas agotadas	15,6	Toneladas
	Material aislante	1,35	Toneladas
	Otros componentes	3.750	Unidades
	Ceniza volante (caldera)	262.500	Toneladas
	Escoria (caldera)	112.500	Toneladas
	Pirita (rechazo pulverizadores de carbón)	225	Toneladas
	Chatarra (varios metales)	31,8	Toneladas
	Madera	1,5	Toneladas

Disposición en cancha de cenizas de la central

Control de RILes y RISes



- Producción anual de residuos estimada para una central a gas natural de 580 MW

Tipo	Descripción	Cantidad Anual	Unidades
RILes	Aceites	2.000	Litros
	Grasas y solventes	400	Litros
RISes	Trapos, guaipe, ropa y papeles contaminados con aceites y grasas	0,5	Toneladas
	Tambores y envases contaminados	1.300	Unidades
	Mangueras y flexibles contaminados con aceites y solventes	100	Kilos
	Tubos fluorescentes	2.000	Unidades
	Baterías	50	Unidades
	Material aislante	0,45	Toneladas
	Otros componentes	2.220	Unidades
	Chatarra (varios metales)	16	Toneladas
	Madera	0,5	Toneladas

Control de RILes y RISes



- Producción anual de residuos estimada para una central con 3 motores diesel de 5,5 MW cada uno

Tipo	Descripción	Cantidad Anual	Unidades
RILes	Aceites	200	Litros
	Grasas y solventes	100	Litros
	Aguas contaminadas	24	M3
RISes	Trapos, guaipe, ropa y papeles contaminados con aceites y grasas	100	Kilos
	Tambores y envases contaminados	50	Unidades
	Filtros de aceite	9	Unidades
	Borras del proceso de filtrado de combustible	245	Kilos
	Tubos fluorescentes	15	Unidades
	Baterías	5	Unidades
	Chatarra (varios metales)	100	Kilos