

Aprovechamiento energético de los residuos

Mario Yarto / INE

Taller Práctico sobre Bioenergía

3 de agosto de 2006, Monterrey N.L México



1




Contenido



- Las prácticas de manejo de los residuos sólidos municipales
- Incineración de residuos
 - Tecnologías de tratamiento térmico
 - Combustible derivado de la basura (peletización)
- Aplicaciones y casos
- Conclusiones






2

Las prácticas de manejo de los residuos sólidos municipales

3

Las actuales prácticas de manejo de RSM en América Latina no son sustentables

- La generación de los residuos crece constantemente
- La capacidad de los Rellenos Sanitarios (RS) no puede mantenerse al ritmo de ese crecimiento
- La situación se agrava al crecer la urbanización
- Del 20 al 60% de los residuos no son recolectados
- Zonas marginadas regularmente no tienen servicios de limpia
- Práctica de quema al aire libre
- Los niveles de reciclamiento son muy bajos aun con un sector informal de recicladores bien desarrollado

Science Applications International Corporation (2006)

4

Los residuos sólidos son un problema en las principales zonas urbanas



ve

CONAE

- New York, USA, 7.2 millones de ton
- Buenos Aires, 4.8 millones de ton
- Ciudad de México, 4.4 millones de ton
- Santiago de Chile, 2.7 millones de ton



Science Applications International Corporation (2006)

5

Los Rellenos Sanitarios (RS) son la solución estándar al manejo de los residuos sólidos municipales



ve

CONAE

- No existe una tecnología que pueda competir en costos con los RS
- Sin embargo, los RS emiten contaminantes al aire y al agua subterránea
- En estudios comparativos, los RS son la opción menos óptima en cuanto a la contaminación ambiental
- Ciudades como NY y Toronto han dejado de usar los RS como alternativa de solución y exportado sus residuos a otras ciudades
- Dinamarca ha prohibido disponer en los RS cualquier desecho que se pueda incinerar
- En el 2003 la UE promulgó una directiva que requiere para el año 2020 una disminución de la cantidad de residuos que van a los RS en un 65% de los niveles de 1995.

Science Applications International Corporation (2006)

6

Los RS son una importante fuente de Gases de Efecto Invernadero



ve

CONAE

- Los RS producen metano como un subproducto de la descomposición de los residuos orgánicos
- El metano es hasta 21 veces más potente como gas de efecto invernadero que el CO₂
- El metano permanece en la atmósfera de 9 a 15 años
- Los RS son la principal fuente de emisiones de CH₄ en los Estados Unidos (24%)

(US EPA 2005)

7

Los RS son una fuente de emisiones ambientales



ve

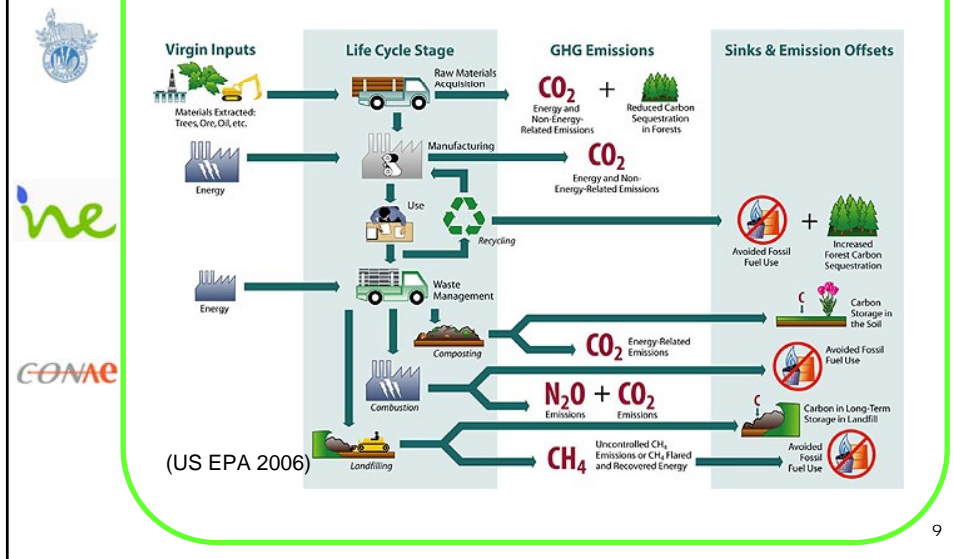
CONAE

Emisiones de por vida de los RS	
Cadmio	0.52 Ton
Dioxinas	2.9 g
Metano	694,000 Ton
Óxidos de Nitrógeno	9,900 Ton
Partículas	200 Ton
Dióxido de Azufre	2,000 Ton

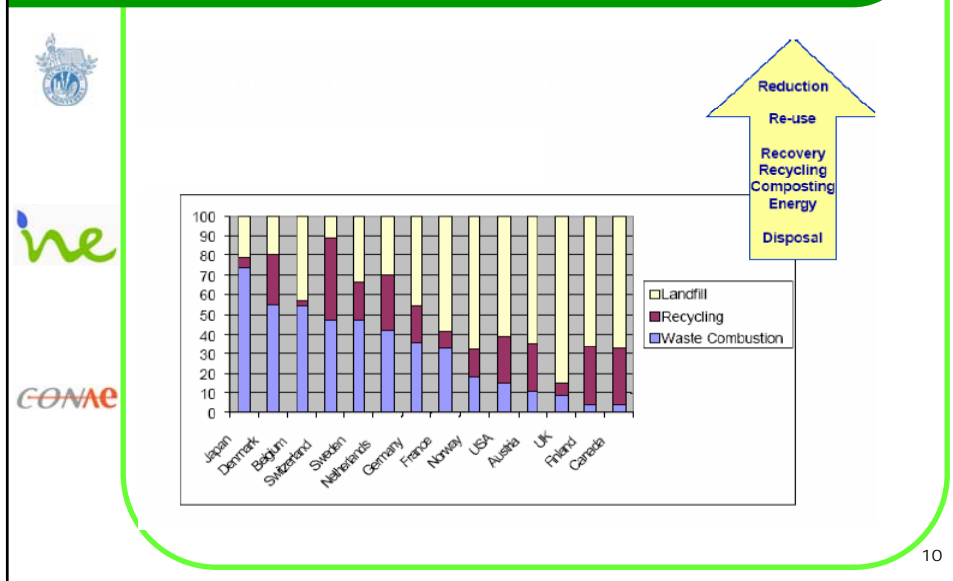
British Government 2006




8

Ciclo de vida de productos y potencial de emisión de GEI



Métodos de manejo de los Residuos Sólido Municipales








Incineración de residuos

11

Definición




- La incineración es cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos. En esta definición se incluye la pirólisis, la gasificación, y plasma, sólo cuando los subproductos combustibles generados en esos procesos sean sometidos a combustión en un ambiente rico en oxígeno.

(LGPGIR, 2004)

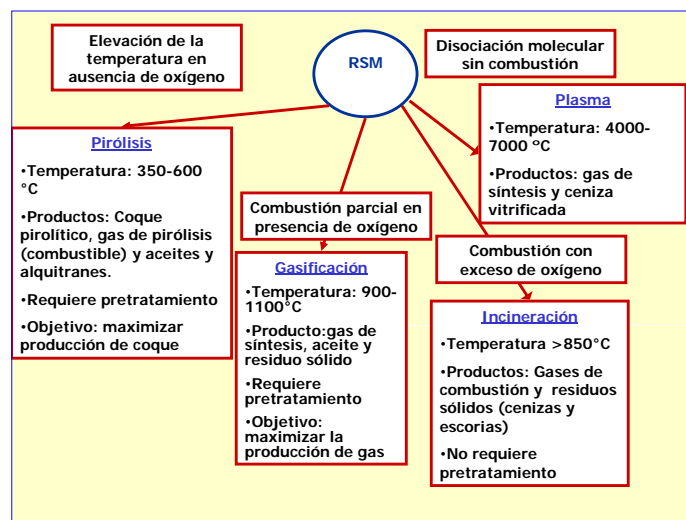
12

Marco Regulatorio

	PROY-NOM-040-ECOL-2001	Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera.
	PROY-NOM-098-ECOL-2000	Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
	LGEEPA	Art 10, 151 Bis,
	LGPGIR	Art. 50, Fracc. V
	Reglamento Interior SEMARNAT	Art. 28, Fracc. XIII

13

Tecnologías de tratamiento térmico



14

Incineración de residuos



ETAPAS:



- RECEPCIÓN, PREPARACIÓN Y CARGA DEL RESIDUO (SEPARACIÓN DE MATERIALES FÉRRICOS, TRITURACIÓN, PELETIZACIÓN, ETC.).
- COMBUSTIÓN.
- RECUPERACIÓN DE ENERGÍA.
- DEPURACIÓN DE GASES.
- RECOLECCIÓN Y EVACUACIÓN DE CENIZAS Y ESCORIAS PARA SU DEPÓSITO EN VERTEDERO O REUTILIZACIÓN.
- CONTROL DE EMISIONES.

15

Incineración de residuos



- Destrucción térmica de los residuos mediante su oxidación completa (porcentaje de no incinerables inferior al 5%), para su transformación en una corriente gaseosa (gases de combustión) y unos subproductos sólidos (cenizas y escorias).
- El oxígeno se aporta en cantidad superior a la estequiométrica para garantizar la combustión completa.
- La temperatura de combustión se sitúa entre 850 y 1.400 °C, dependiendo del combustible y de la configuración física del combustor.
- Los gases de combustión resultantes son principalmente CO₂ y H₂O y pequeñas cantidades de SO₂, HCl, NO_x, partículas, etc.
- Básicamente existen tres tipos de hornos incineradores: rotativo, parrilla y lecho fluido, siendo el de parrilla el de mayor aplicación para RSM.

16

Incineración de residuos y conversión a energía



ve

CONAE

- Basura a energía (EfW)
 - Incineración de RSM en instalaciones dedicadas, con recuperación de energía en forma de calor o electricidad
 - Co-incineración de residuos tratados para su uso en plantas generadoras, reemplazando combustibles tradicionales
 - Co-incineración de residuos tratados en operaciones/procesos, reemplazando combustibles tradicionales (cemento,papel)

17

Caracterización de residuos



ve


CONAE

- Contenido de humedad
- Poder calorífico
 - Superior e inferior
- Sales inorgánicas
 - Acumulación en el interior del incinerador (↑ costos de mantenimiento)
- Contenido de azufre y halógenos
 - Formación de ácidos que dañen equipo (↑ costos de mantenimiento)
- Composición de cenizas
- Toxicidad
- Corrosividad
- Estabilidad térmica y química



18


Poder calorífico de diversos materiales



Combustible	Poder calorífico (kJ/kg)
Basura (RSM)	5,800
Biomasa mezclada	15,100
Papel y cartón	17,400
Textiles	18,600
Carbón (bituminoso)	26,200
Carbón (antracita)	28,000
Neumáticos	31,400
Petróleo crudo	39,500

19

Tipos de residuos






Poder calorífico (kcal/kg)	Humedad (% en peso)	Sólidos no combustibles (% en peso)	Otros (% en peso)
4730	10	5	Papel, cartón y madera. Hasta 10% de petroquímicos
3610	25	10	Hasta 20% de residuos de restaurantes, sin desechos petroquímicos. Fuentes comerciales, industriales
2390	50	7	Residuos sólidos municipales
1390	70	5	Residuos de animales y vegetales de restaurantes, hoteles, hospitales, etc.
560	85	5	Residuos biológicos de hospitales, laboratorios y fuentes similares
A calcular según composición			Residuos líquidos o semilíquidos (lodos, pinturas solventes)
			Plásticos y otros desechos

Adaptado de HE Hesketh, 1991

20




Combustible derivado de la basura (peletización)


Combustible derivado de la basura (peletización)

21

Combustible derivado de la basura

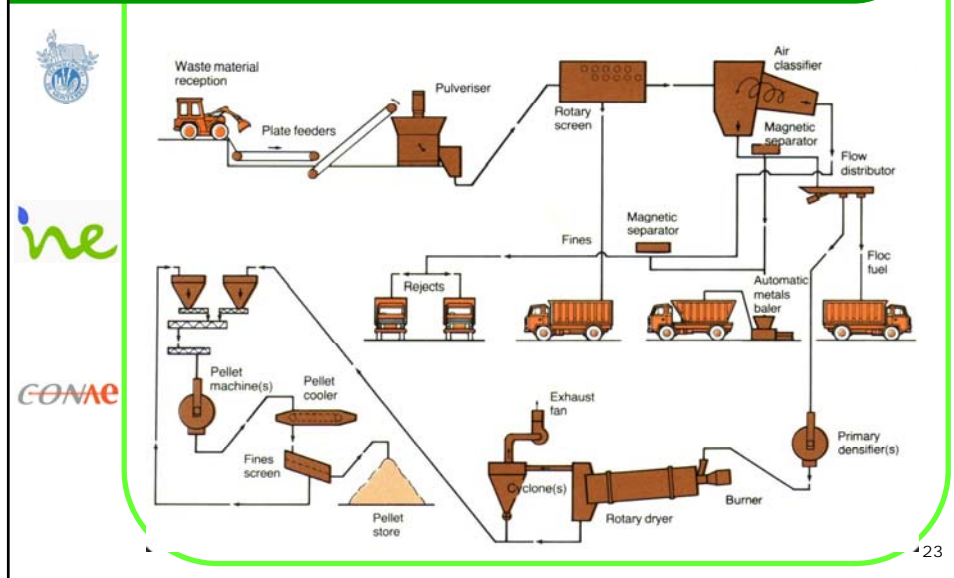




- Basura procesada (peletización)
 - Separación de materiales inertes, reducción de tamaño y densificación
- Incrementa su poder calorífico
- Puede utilizarse en plantas de generación eléctrica convencionales
- Necesaria la separación de materiales no combustibles
- Separación de sustancias y residuos peligrosos
- Facilidad al almacenar y transportar los "pelets"

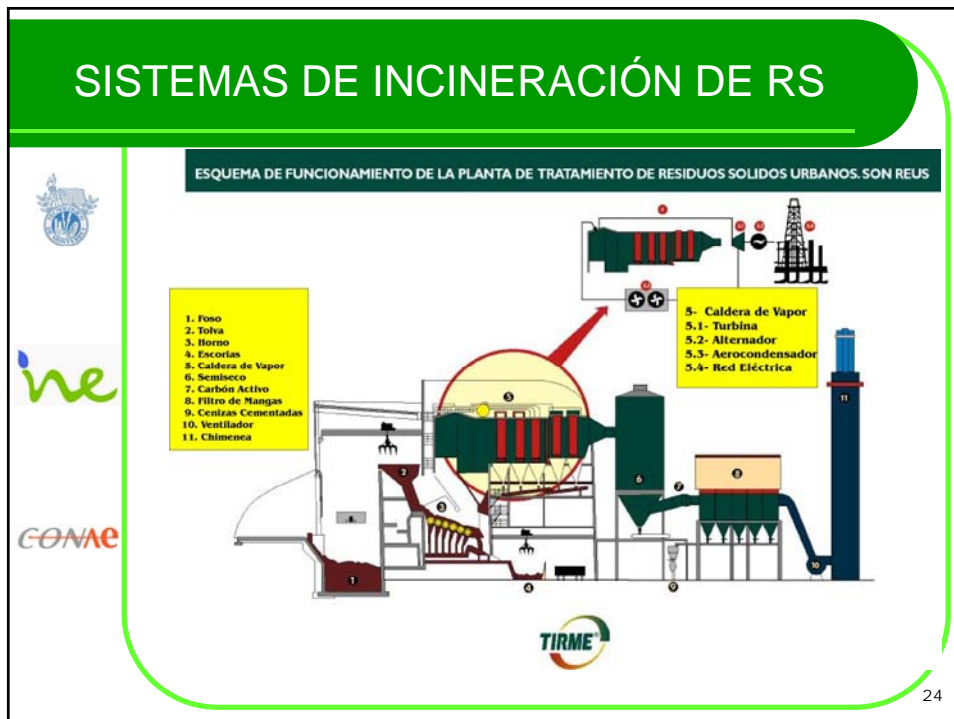


22

Combustible derivado de la basura



SISTEMAS DE INCINERACIÓN DE RS



¿ Es la incineración una alternativa aceptable ?



ve

CONAE

- **Beneficios**
 - Disminución inmediata del volumen de residuos
 - Posibilidad de monitorear las emisiones atmosféricas
 - Destrucción de las sustancias tóxicas combustibles y material patógeno
 - Menores requerimientos de terreno vs RS
 - Recuperación de energía
- **Desventajas**
 - Altos costos de instalación y operación
 - Generación de dioxinas y furanos
 - Emisión de metales
 - La ceniza debe ser confinada y puede ser peligrosa
 - Combustible adicional si el poder calorífico del residuo no es suficiente

25

Dioxinas y furanos (generación)

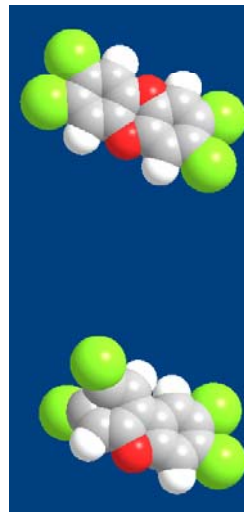


ve

CONAE

- A partir del contenido presente en los materiales de alimentación de la combustión
 - Poco probable en los modernos sistemas de combustión
- De compuestos precursores (moléculas que pueden reaccionar rápidamente para formarlos) en los RSM
- De la síntesis reciente de moléculas inocuas relativamente de menor peso molecular
 - Inadecuada turbulencia e inadecuada alimentación del sistema
 - Pueden producirse en la combustión o en el proceso de enfriamiento de los gases
- La máxima generación de DyF se da entre los 300 y 400 °C

Gordon McKay, 2002



26

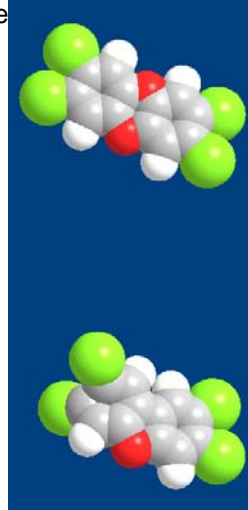
Dioxinas y furanos (control)



ve

CONAE

- Eliminar cualquier fuente de cloro desde el pretratamiento
- Triturar y secar los residuos para aumentar la eficiencia del proceso
- Temperatura de combustión superior a 1000 °C
- Tiempo de residencia superior a 1 s
- Adecuada turbulencia en la cámara de combustión
- Rápido enfriamiento de los gases de 400 a 250 °C
- Lavado semiseco con cal y filtros de bolsa acoplados con inyección de carbón activado



Gordon McKay, 2002

27

Emisiones anuales de las plantas de conversión de residuos a energía (WTE) en Alemania



ve

	De todas las fuentes alemanas	Instalaciones residuos a energía 2005	Instalaciones residuos a energía 1990
Dioxinas	400 g TEQ	0.5 g TEQ	Menor a 70 g TEQ
Partículas	25,000Kg	3,000 Kg	171,000 Kg
Mercurio	347 Kg	4.5 Kg	31,000 Kg
Plomo	58,000 Kg	130 Kg	624,000 Kg

German Government 2005

28

Las emisiones de Dioxinas de incineradores han disminuido

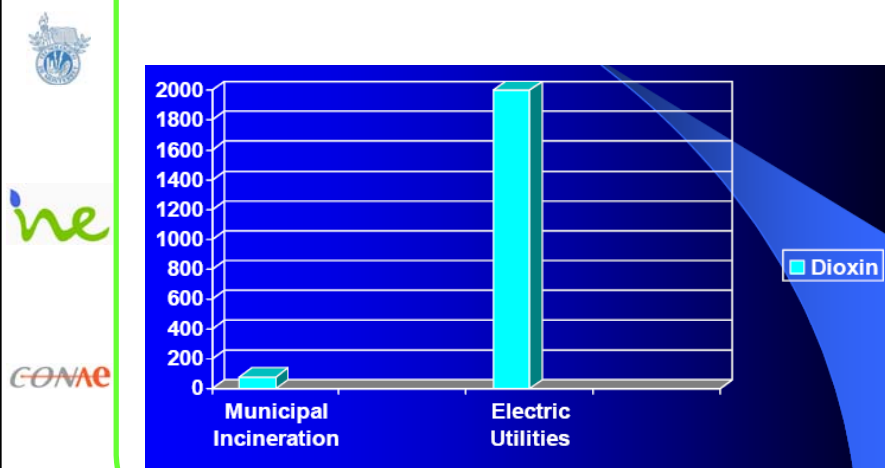
	Combustión de residuos 1989	Combustión de residuos 2000	Todas las Fuentes 2000
U.S	8,900 g TEQ	79 g TEQ	1530 g TEQ
Alemania	400 g TEQ	0.5 g TEQ	menor a 70g TEQ
Inglaterra	500 g TEQ	3 g TEQ	

Quema de patio = 580 g TEQ en USA

US EPA 2005

29

Las plantas convencionales de energía emiten más dioxinas que los incineradores



USEPA 2006

30

Los incineradores producen dos tipos de cenizas



ve

CONAE

- Las cenizas pesadas (del 80% al 90% de la ceniza) son materiales no combustibles que permanecen en el horno después de la combustión
- El 96% del contenido de metales de las cenizas pesadas es Al, Fe, Cr y Cu (Jung et al., 2004)
- Las cenizas son enviadas a los RS o usados en la construcción (camino, cubierta de RS, bloques de cemento)
- La lixiviación de metales en RS a partir de las cenizas pesadas no es más grande que la lixiviación regular de un residuo sólido municipal
- En la UE los lixiviados de los RS son tratados para cumplir con los estándares de agua potable

31

Depuración de gases



ve

CONAE

Contaminantes	Sistema de depuración
Partículas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Electro filtro ✓ Ciclones ✓ Filtro de mangas
Gases ácidos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lavado seco ✓ Lavado húmedo ✓ Lavado semiseco
Óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> ✓ SNCR (inyección de cal para neutral.) ✓ SCR (húmedo o semi-húmedo)
PCDD/PCDF	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inyección de carbón activado ✓ SCR

32

Costos estimados de una planta de recuperación de energía, en Santiago de Chile



ve

CONAE

- Capacidad de 1200 ton/d
- Costos de construcción: USD \$80 millones
- Costos de operación (se incluye la disposición de cenizas): USD \$2-3 millones/año
- Ingresos totales por USD \$12 millones/año
 - Costo al municipio: USD \$4 millones /año (cuota de disposición igual a USD \$10 ton)
 - Producción de energía: USD \$8 millones/año (USD \$0.034/kWh)

Columbia University 2003

33

Costos de incineración de basura con generación de energía






ve

CONAE

Capacidad de Incineración Ton/d	Capacidad de Generación (MW)	Inversión USD Millones	Op y Mant USD /Ton
400	6 a 9	19.8	7
350	9.6	29	36.5
500	12	95	82.7
2000	50	200 millones de EUROS	65 millones de EUROS




IIE, 2006

34

Aplicaciones y casos

35

La incineración en Europa

- Hay 304 instalaciones distribuidas en 18 países
- El 96% recupera energía de los residuos
- La capacidad promedio es de 177,000 ton/año
- La electricidad generada es equivalente al total de la demanda eléctrica de Suiza
- El uso de la incineración se está incrementando en la UE

36

Situación de la incineración en el mundo

Porcentaje de incineración de residuos municipales		Cantidad de incineradores	
Europa	Suiza	80 %	30
	Dinamarca	65 %	30
	Suecia	60 %	30
	Francia	40 %	200
	Alemania	25 %	60
	Italia	17 %	30
	Reino Unido	6 %	20
Asia	Japón	75 %	1700
América del Norte	U.S.A.	15 %	150
	Canadá	6 %	20
Otros países		5 %	
Promedio mundial		<5 %	

37

¿Cuánta energía se puede producir?

- La cantidad promedio dispuesta durante un año en un contenedor de residuos sólidos municipales puede generar
 - Electricidad para tu televisor durante 5,000 horas continuas,
 - Proporcionar el suficiente calor para usar la regadera hasta por 3,500 veces.
- Los residuos generados por cinco millones de personas en París, proveen la suficiente energía para calentar 198,000 departamentos.
- Una planta de incineración de residuos con recuperación de energía, produce suficiente vapor para generar hasta el 15% de la electricidad de la Ciudad de Ámsterdam.
- Una planta de incineración de residuos con recuperación de energía, produce suficiente energía para destilar hasta seis millones de metros cúbicos de agua por año en la ciudad de Rotterdam.

Assure, 2005

38

¿Cuánta energía se puede producir?

- En Alemania se estima que los residuos de siete casas pueden proveer del total de calor y electricidad necesarios para una casa durante un año
- ¿Las tecnologías de recuperación de energía desalientan el reciclaje?
 - No. Ambas actividades son complementarias. Algunos países de la Comunidad Europea con altas tasas de reciclaje también utilizan las tecnologías de recuperación de energía de forma complementaria
- ¿Existe un riesgo a la salud para la población cercana a los incineradores?
 - El Departamento de Salud del Reino Unido ha reportado desde 1990 que:
 - Las emisiones de Pb en las plantas de incineración han disminuido hasta en un 97% y las de dioxinas ha disminuido en un 99%

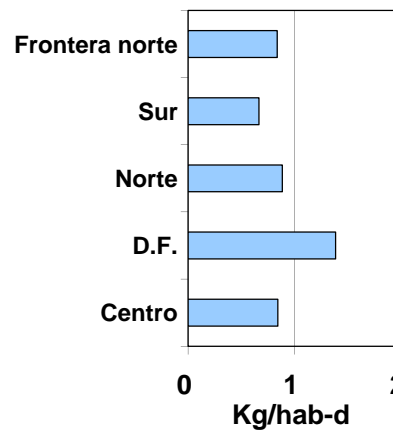
Assure, 2005

39

La basura en México

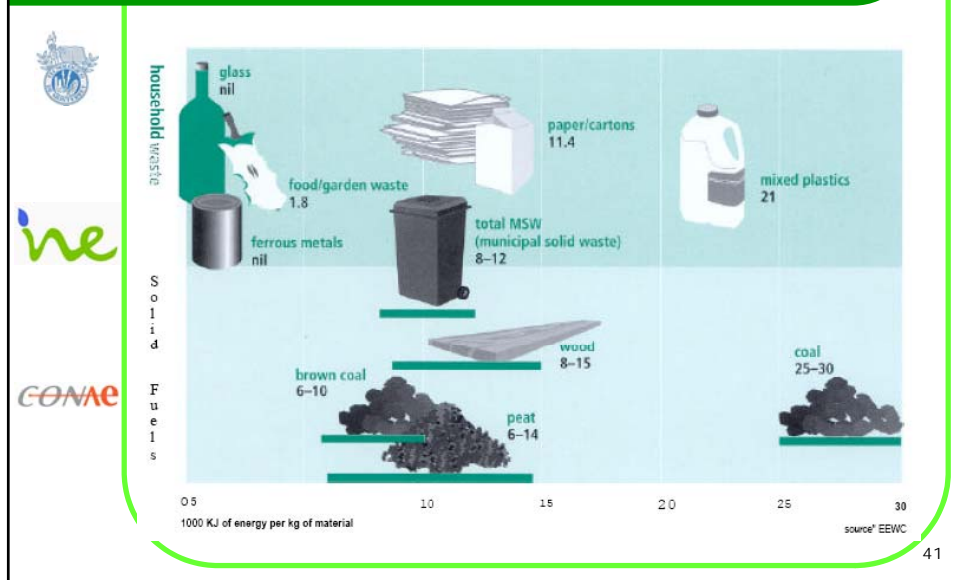
- Generación de basura 21 millones de ton en 1991, 31.9 millones de ton en 2001
- Contenido de materia orgánica 52.4% (SEDESOL, 2001)
- En 1995 el 28% de la basura generada se depositó en RS. En 2001 fue el 59%

Generación de basura (SEDESOL, 2002)



40

Poder calorífico de diversos materiales



41

Neumáticos

- Están formados por 80% de carbono e hidrógeno,
- Combustibles en procesos industriales, o para producir energía
- En Modesto, California se incineran
 - Más de 5 millones de neumáticos cada año
 - 65 toneladas de vapor a 65 bar y 500 °C por hora
 - Energía suficiente para 15,000 hogares

42

Productos de pirolisis de neumáticos usados



ve

CONAE

Producto de pirolisis	Cantidad (%)	Poder calorífico (kJ/kg)
Carbón (hollín)	30-52	28,270
Gas (metano)	6-30	50,240
Hidrocarburos líquidos	40-50	~38,000

43

Cementeras



ve

CONAE

- El clínquer de cemento se produce alimentando caliza, sílice y arcilla a grandes hornos rotatorios
- El consumo neto de energía en el proceso es 1,750 kJ/kg de cemento aprox.
- Residuos orgánicos como desechos domésticos, aceites, neumáticos usados, etc.
- Se debe modificar el horno de cemento
 - Segunda zona de combustión en el lado de alimentación del horno

44

Cementeras



ve

CONAE

- Los neumáticos se introducen al horno, completos o desintegrados
 - Se pueden alimentar granos y polvo de hule en forma similar al combustible normal, en el extremo de descarga del horno
- Largos tiempo de retención
- Temperatura de combustión, hasta de 2,000°C

45

Cementeras



ve

CONAE

- Los neumáticos permiten una alimentación homogénea sin fluctuaciones en su composición
 - Incineradores son fáciles de manejar
- Las cenizas pueden ser usadas en la industria del acero, para construcción de caminos o por su alto contenido de zinc
 - Pueden ser dispuestas sin mayores consideraciones
- En Alemania, los neumáticos son hasta un 15% del total del combustible para producir cemento

46

Cementeras en México

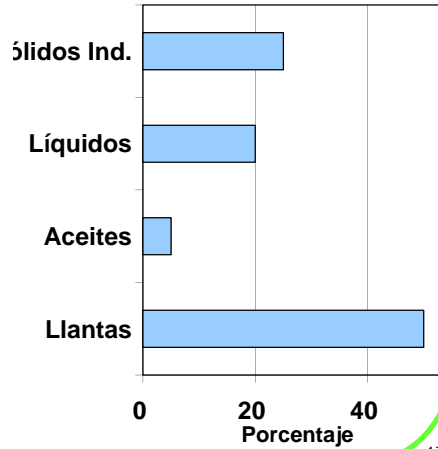


ne

CONAE

- Existen 31 plantas cementeras en nuestro país
- En los últimos 10 años se han coprocesado 4 millones de toneladas de residuos
- Durante el 2005 el porcentaje de energía que se sustituyó fue de 5%

Coprocesamiento de residuos en hornos cementeros



SEMARNAT, 2006

47

Convenio de Colaboración SEMARNAT-CANACEM-CRUZ AZUL



ne

CONAE

Objetivos

- Fortalecer las acciones para fomentar el aprovechamiento de residuos dentro de los procesos productivos de la industria del cemento, así como ampliar la concertación de acciones entre la SEMARNAT y dicho sector industrial para lograr su participación en materia de preservación y mejoramiento del ambiente, y aprovechamiento racional de los recursos naturales.

SEMARNAT, 2006

48

Combustibles derivados de residuos (CDR) en Colima



ne

CONAE

- Instalación de tres plantas de tratamiento en puntos estratégicos que abarcará todos los municipios del estado de Colima
- Separación de materiales, y conversión en CDR
- Consumo de los CDR por la cementera Apasco
- Cruz Azul tiene experiencia en el uso de CDR en sus hornos y ha expresado la voluntad de consumir este combustible alternativo en sus plantas de Aguascalientes e Hidalgo



49

Recuperación de energía y mercado






ne

CONAE




- El valor de la energía recuperada debe exceder el aumento en la inversión y costos de operación
- Se debe dar preferencia a un sistema confiable y económico de manejo integral de residuos
- Mejores oportunidades en mercados con diversos generadores
 - Absorber demanda en caso de una suspensión en las operaciones (respaldo para usuarios)
- Proyectos a largo plazo
- Tener la certeza para el proceso de compra-venta de la energía producida

50

Conclusiones

51

Prioridades en América Latina

- Incrementar el reciclado
 - Es la mejor opción ambiental
 - Crea más fuentes de trabajo que el tratamiento térmico
- Incrementar la recuperación de biogás de los RS
 - Reduce la emisión de gases de efecto invernadero
- Necesario incrementar la recolección de residuos en las áreas marginadas
 - Es un problema ambiental aún más grande que los RS o el tratamiento térmico

52

Prioridades en América Latina



ne

CONAE

- El reciclaje y la composta por si mismos no son suficientes para resolver el problema, particularmente en las grandes áreas urbanas
- En estudios comparativos, los RS son la opción menos favorable con respecto a la contaminación ambiental
- El tratamiento térmico es la opción más cara
 - No es sustentable para la mayoría de las pequeñas ciudades de AL
- La disposición de las cenizas puede ser un problema
- Aún después del reciclaje, hay varios residuos (10-30%) que requieren ser dispuestos
- Las opciones son:
 - Quema incontrolada
 - RS
 - Tratamiento térmico
- La quema incontrolada debe ser desalentada
 - Produce grandes cantidades de Dioxinas y otros COPs

53

Prioridades en América Latina



ne

CONAE

- Los problemas ambientales asociados con el tratamiento térmico son manejables pero costosos
- En cuanto las reservas internacionales del petróleo decaigan, el tratamiento térmico será una opción más atractiva para la generación local de electricidad
- El reciclado, la incineración y el tratamiento biológico son opciones que necesitan ser expandidas para minimizar el uso de los RS
- América Latina necesita incrementar su nivel de reciclamiento (mejor alternativa)
- En América Latina, los RS continuarán como la principal opción para disponer de los residuos sólidos municipales (costos y oposición a la incineración)
- En las grandes ciudades de esta región, las tecnologías de incineración y gasificación con recuperación de energía se volverán más atractiva (falta de espacios para RS, necesidad de incrementar el reciclado)

54

Conclusiones



Gracias por su atención !!!

myarto@ine.gob.mx