



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**PONENCIA**

# Control medioambiental de la valorización energética de residuos urbanos

Ponente: José María Baldasano

Cargo: Catedrático

Institución: Universidad Politécnica de Cataluña



# Control medioambiental de la valorización energética de residuos urbanos

Dr. José M. Baldasano Recio

Catedrático de Ingeniería Ambiental  
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

y

Premio Rey Jaime I de Medio Ambiente, 1997

## 1. INTRODUCCIÓN

Los dos sistemas más antiguos que ha utilizado y sigue utilizando el hombre para disponer la basura que genera han sido el vertido incontrolado y su quema. No fue hasta finales del siglo XIX, que se pusieron los primeros elementos de lo que hoy se conoce como la *gestión de los residuos*. En la actualidad, se entiende por gestión y tratamiento de residuos el conjunto de operaciones encaminadas al aprovechamiento de los recursos materiales y energéticos contenidos en ellos o a la disposición de una forma ambientalmente segura de los mismos o de la parte de los mismos imposible de aprovechar.

La incineración, que no hay que confundir con la quema de residuos, tiene su origen en Europa con más de cien años de existencia, su historia empezó con la instalación del primer "destructor" de residuos municipales (RM) en la ciudad inglesa de Nottingham en 1874. En EE.UU. la primera instalación se realizó en "Governor's Island" en Nueva York, y en 1921 ya había más de 200 unidades instaladas. Barcelona en los años veinte dispuso ya de un incinerador de basuras.

Los hornos de incineración para residuos de origen industrial derivan de los hornos para los residuos municipales. Los primeros hornos rotativos fueron instalados en Alemania. En EE.UU. no fue hasta el año 1948 en las instalaciones de Dow Chemical Company en Midland (Michigan) (Dempsey y Oppelt 1993).

## INCINERACIÓN DE RM

El término de incineración se puede definir de diferentes modos, pero básicamente se refiere a la combustión de sustancias orgánicas mediante un proceso de oxidación química. Cuando la oxidación se realiza de forma rápida, la temperatura del material aumenta rápidamente debido a la incapacidad para transferir el calor generado hacia el exterior tan rápidamente como se está produciendo. Como resultado, se emite radiación visible, a la cual nos referimos como la llama.

Como se ha indicado, la incineración de los RM, tal y como se concibe hoy día, tiene sus comienzos a finales del siglo XIX, quemándose en aquella época unos residuos



domiciliarios que contenían cantidades significativas de restos de carbón. Muchas de aquellas instalaciones operaban pobremente y tenían un sistema de alimentación a cargas, alguna tenía un sistema de recuperación de vapor.

Sin embargo, tras la crisis posterior a la Primera Guerra Mundial, la incineración deja de utilizarse, a causa del su empobrecimiento energético de la basura. Para cobrar un nuevo interés posteriormente, debido tanto a las nuevas técnicas de combustión y de depuración de los gases de combustión, como a la evolución favorable de la composición de las basuras desde el punto de vista energético.

Hasta el año 1950, el incinerador y su acompañante humo, se aceptaba como un requisito inevitable y se consideraba su funcionamiento de la forma más barata posible. Sin embargo, cuando los humos de una chimenea dejaron de ser un símbolo de prosperidad y las normativas sobre contaminación del aire empezaron a emerger, en los años sesenta y setenta, la incineración como sistema mejoró drásticamente. Estas mejoras incluían una alimentación en continuo, mejoras en el control de la combustión, el uso de cámaras múltiples de combustión, la recuperación de la energía de forma sistemática y la aplicación de sistemas de depuración para los gases de combustión.

Pero es a finales de los años 80, cuando la incineración de residuos, recibe un nuevo impulso, al desarrollarse sistemas mejores de combustión, de control y tratamiento de los gases de combustión, que permiten avanzar hacia una situación cercana a la emisión a la atmósfera quasi-nula y convertirse en un sistema de tratamiento de residuos ambientalmente seguro, y con unos mejores rendimientos energéticos de funcionamiento. Al tener que hacer frente a los nuevos retos ambientales, a su aceptación pública y a unas normas legales mucho más estrictas.

La incineración de los RM es utilizada actualmente de forma amplia en los países desarrollados como uno de los sistemas de tratamiento de los RM. Ha habido ciudades, como es el caso de París, que han usado este sistema desde principios del siglo XX de una forma continuada e intensiva. La cantidad de RM tratadas mediante este sistema en España no alcanza el 4%, las plantas están instaladas de forma mayoritaria en Cataluña.

La incineración de RM puede realizarse con o sin la recuperación del calor generado en la combustión. Pero sin recuperación de calor no tiene sentido, salvo en determinados casos muy particulares. La dimensión mínima para que la instalación de incineración de RM con recuperación de energía salga adecuada se sitúa a partir de las 140-150 t/día. Consiste, pues, en un proceso de combustión controlada que transforma las basuras en gases de combustión, escorias y cenizas: a) una en estado gaseoso, formado por los gases de combustión, del orden del 73% en peso de la materia entrada, y b) y dos en estado sólido, constituida por 1) las escorias ( $\approx 25\%$ ) y 2) las cenizas ( $\approx 2\%$ ), o los sólidos de depuración ( $\approx 4-5\%$ ), en función del tratamiento adoptado para la depuración de los gases de combustión.

## **LEGISLACIÓN SOBRE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS**



En España las primeras disposiciones legales que limitan las emisiones datan del año 1975 (Decreto 833/75), y consideran únicamente un límite de emisión a las partículas en suspensión, con valores nada exigentes.

En junio del año 1989 la Unión Europea (UE) adopta para este tipo de instalaciones dos directivas, al objeto de prevenir la contaminación atmosférica, tanto a nivel de los límites de emisión a la atmósfera como de las condiciones de control del proceso de combustión, y de las condiciones de monitorización de la instalación. Son la Directiva 89/369/CEE para las nuevas instalaciones y la Directiva 89/429/CEE para las instalaciones existentes. España las incorporo a su derecho interno con retraso en septiembre de 1992 (Real Decreto 1088/92)

La adopción de estas directivas supone un proceso de modernización de las instalaciones de incineración de residuos en el contexto europeo, tanto para las nuevas instalaciones como para la adaptación de las existentes, que termino aproximadamente en el año 1997. Estas directivas implican también la extensión de la normativa alemana del año 1986 para este tipo de instalación al conjunto de la UE. Aunque Alemania, modifico su normativa durante el año 1990, adoptando límites y condiciones más exigentes.

En diciembre de 1994 la UE adopta la Directiva 94/67/CE relativa a la incineración de residuos peligrosos. Que implica también la extensión de la normativa alemana del año 1990 para la incineración de los residuos peligrosos al conjunto de la UE. Que España transpone mediante el Real Decreto 1217/97 en Julio 1997, y que modifica parcialmente el Real Decreto 1088/92.

Cataluña había aprobado en Noviembre de 1994 el Decret 323/94 de aplicación tanto para residuos municipales como para residuos peligrosos, que incorporaba ya el contenido de la Directiva 94/67/CE.

Finalmente, el año pasado la UE adopto Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos, que actualiza las anteriores, y la cual no hace distinción entre la incineración de residuos municipales y peligrosos. Tiene que ser incorporada al derecho interno de los estados miembros antes del 28 de diciembre de 2002. Tiene prevista su entrada en vigor para las nuevas instalaciones en diciembre del año 2002 y la para las instalaciones existentes en diciembre de 2005. Esta directiva implica los límites de emisión a la atmósfera más exigentes que existen hoy en día a escala mundial para cualquier tipo de instalación. Implica también la adopción de límites de emisión para los óxidos de nitrógeno y una reducción sustancial en la emisión de metales pesados. De nuevo, también supone, extender a toda la UE la normativa alemana de incineración.

En la tabla nº 1 se puede ver la importante evolución de reducción que los valores límites de emisión han tenido en la UE y España en los últimos 25 años.

Para ilustrar el efecto progresivo de estas reducciones en los valores límites de emisión, se ha calculado cual sería la dispersión que tendrían estas emisiones para un incinerador de basuras de 1000 t/día; así como la capacidad de depuración de las actuales tecnologías de depuración de los gases de combustión. Como contaminante se ha considerado las partículas en suspensión, que es donde están asociadas la



mayor parte de las dioxinas que se emiten (véase la figura 1). Puede verse fácilmente, el avance que represento la legislación del año 1989, y que con la legislación del 2000 y la tecnología actual que ya se está aplicando, se está frente una situación de emisión quasi-nula.

## TECNOLOGÍAS DE INCINERACIÓN DE RM

La incineración de residuos requiere una gran atención al nivel de dominio de las condiciones de combustión. Una buena combustión se rige por la **regla llamada de las "3 T": temperatura, tiempo de residencia y turbulencia**. Estos parámetros generalmente se fijan en el momento de la concepción del horno, pero el que lo explota, conserva el dominio de la temperatura haciendo variar la carga térmica, y el dominio del caudal de aire de combustión. La mala regulación de uno de estos parámetros puede generar condiciones inadecuadas de funcionamiento.

Ello se deriva del principio; que es muy importante tener en consideración, de que es tan importante *lo que quemamos*, como la *forma en que lo quemamos*.

Debido a la composición heterogénea de la basura doméstica, el proceso de combustión se desarrolla en condiciones de exceso de aire (la legislación exige un mínimo del 6% de oxígeno en exceso). Durante la combustión, el carbono que contiene la basura se transforma a CO<sub>2</sub>. De esta forma, un defecto de oxígeno podrá generar monóxido de carbono (CO) por combustión incompleta del carbono. De la misma forma, un defecto de oxígeno provocará la generación de partículas inquemadas y productos incompletos de combustión (PIC).

Para la aplicación de este sistema de tratamiento, es necesario que los mismos posean un poder calorífico inferior, superior a las 1400 kcal/kg, a fin de asegurarse la autocombustión. En los incineradores de pequeña capacidad, hay que incorporar combustible adicional, que suele ser habitualmente fuel-oil o propano, aunque también se utiliza GN.

En los *gases de combustión* de la incineración de RM se pueden encontrar:

- gases tales como el CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub> y el oxígeno no utilizado en la combustión;
- partículas de polvo más o menos finas cuya concentración antes de su depuración es del orden de 5 a 10 g/Nm<sup>3</sup>. Estas partículas de polvo están constituidas esencialmente por sales minerales o metálicas, y por partículas inquemadas;
- gases procedentes de la composición de los residuos incinerados, principalmente se trata de cloro, ácido clorhídrico, óxidos de azufre y de nitrógeno, y de compuestos orgánicos inquemados.

El contenido en agua de los residuos a veces es muy importante, del orden de 50%. Esta agua, que constituye un lastre térmico, ya que consume calorías en su evaporación, pero tiene influencia sobre los equilibrios químicos implicados en las



reacciones de combustión. De esta forma, cuanto más aumentan la concentración del vapor de agua y la temperatura, más disminuye la concentración en cloro gaseoso, debido al equilibrio de DEACON.

Las *escorias* (cerámicas, tierras, vidrio, objetos metálicos, etc.) se suelen enfriar con agua y se extraen del foso de descarga mediante transportadores continuos. Están formadas, principalmente, por óxidos metálicos y silicatos, además de cantidades menores de carbonatos, cloruros y sulfatos, así como aluminio, calcio, sodio, y hierro (en Cataluña, su valorización está reglamentada por la Generalitat mediante la "Ordre de 15.2.1996, sobre *valorització d'escòries*", para su aprovechamiento como firme de vías públicas). La fracción metálica férrica contenida en las escorias se debe extraer y reciclar, mejorando la manejabilidad y utilización posterior de la fracción de escorias restante.

El reciclaje de la fracción férrica es elevado, en cambio el reciclaje del grueso de las escorias también se recicla en los distintos países europeos, pero en porcentajes más limitados (50% Francia y Alemania, 70% Dinamarca, y 100% Holanda).

Las *cenizas o residuos de depuración* están compuestas también, en gran parte, de óxidos metálicos y silicatos. Tienen la consideración de residuos peligrosos y deben ser depositados en un vertedero controlado. Estamos hablando de un 2-4% de la cantidad total de los residuos incinerados.

En la llamada primera generación de incineradores (años sesenta), se emplearon como sistemas de depuración de los gases de combustión: filtros electrostáticos (mayoritariamente) y torres de lavado (en menor cantidad). Estos sistemas eran claramente insuficientes como sistemas de depuración de los gases de combustión. En los incineradores de segunda generación (esencialmente a partir de finales de los años ochenta), los sistema de depuración de los gases de combustión a utilizar para alcanzar los límites establecidos en algunos países europeos (Alemania, Holanda, p.e.) y en la Directiva de la CEE, son varios:

*Procesos de lavado en seco.* Los lavados por vía seca, se realizan mediante la inyección de cal en un reactor, con posterior filtración en un filtro electrostático o de mangas.

*Procesos de lavado semisecos* (o semihumedos). En los procesos de lavado semisecos (o semihumedos), la cal es utilizada en forma de lechada, lo que permite una mejor reactividad de la cal y un enfriamiento de los gases por enfriamiento de los gases por evaporación del agua de dilución de la cal. Los sistemas de filtración son los mismos.

*Procesos de lavado por vía húmeda.* Se descomponen en dos fases: a) tratamiento de las partículas en suspensión mediante filtros electrostáticos, y b) tratamiento de los gases mediante columnas de absorción.

En el diseño de las *calderas* de recuperación es fundamental la selección del tipo de caldera a utilizar, en función de los requisitos de operación (balance térmico de la instalación), y los espacios disponibles. El objetivo debe ser garantizar un



funcionamiento factible y continuo de la caldera, con el óptimo aprovechamiento del calor de los gases de combustión y con un mínimo consumo energético de los equipos auxiliares, cumpliendo a su vez con las limitaciones impuestas en las emisiones a la atmósfera.

Son esencialmente dos los factores que determinan el aprovechamiento del calor generado en proceso de incineración:

- La recuperación del calor para la generación de la corriente eléctrica, de vapor de producción o de vapor de calefacción con el fin preliminar de recuperar el potencial energético que tienen ciertos residuos y además reducir los costes de explotación de las propias plantas de incineración.
- El enfriamiento de los gases de combustión producidos en el horno a temperaturas aceptables para su depuración y descontaminación posteriores.

Un balance térmico promedio en un incinerador puede tener los siguientes valores, base de cálculo respecto al 100% de la entrada:

- 18% de pérdidas en la zona de combustión y caldera
- 0,8 % de pérdidas en el turbo generador
- 48,2 % en la refrigeración (aerocondensador)
- 6% autoconsumo
- 27 % producción de energía eléctrica

## **EMISIÓN DE DIOXINAS**

En todos los procesos de combustión, cuando hay presencia de átomos de Cloro, pueden producirse dioxinas, en mayor o menor cantidad según tenga lugar dicho proceso. La incineración de residuos municipales fue con anterioridad a los años noventa una de las principales fuentes de emisión de dioxinas, pero dado la exigencia legal de limitar su emisión y la adopción de medidas tecnológicas, hoy en día su emisión se ha reducido fuertemente (véase la tabla nº 2). Las emisiones de dioxinas en los incineradores españoles ha disminuido por un factor de 17 entre el año 1997 y 1999.

## **PRINCIPALES VENTAJAS E INCONVENIENTES**

Los plantas de incineración de basuras presentan frente a los otros sistemas de tratamiento de RM las siguientes ventajas:

- Recuperar la energía térmica contenida en las basuras, obteniendo vapor y/o electricidad
- Reciclar del orden del 20% de los materiales quemados (escorias)
- Importante disminución del volumen de las basuras ( $\approx 90\%$ )
- Importante reducción del peso de las basuras ( $\approx 75\%$ )
- Costes operacionales moderados o bajos en el caso de incinerar con recuperación de energía





- Limitada utilización de terrenos
- Puede tratar cualquier tipo de residuo si su poder calorífico es adecuado
- Permite el reciclaje de los materiales férricos contenidos en las basuras
- Permite la reutilización de las escorias como material en la construcción de carreteras

Como inconvenientes se pueden considerar:

- No supone un sistema de disposición total, precisa un acondicionamiento para las escorias (si no son recicladas) y especialmente para las cenizas o sólidos de depuración
- Alta inversión económica inicial
- Costes operacionales elevados en el caso de incinerar sin recuperación de energía
- Exposición a paros y averías
- Limitada flexibilidad para adaptarse a variaciones estacionales de la generación de residuos, o necesidad de un sobredimensionamiento
- Necesita de sistemas de control y prevención para los gases de combustión
- Limitada aceptación pública

Otros sistemas de tratamiento de tratamiento: el compostaje y la biometanización, tienen el grave inconveniente que solo se pueden aplicar a determinadas fracciones de la basura, a la fracción biodegradable, que se puede cuantificar como del orden del 40% del total actualmente en nuestro país. En consecuencia, aun considerando las fracciones directamente reciclables, todavía puede quedar una fracción del orden también del 40% para disponer.

Fracción, que como se le ha extraído la parte más húmeda, aunque también es verdad que se le han retirado fracciones combustibles, ha aumentado su poder calorífico (alrededor de los 2300 kcal/kg). En consecuencia, no tiene mucho sentido que esta fracción residual sea vertida cuando puede ser aprovechada energéticamente, y consume además menos territorio.

Si se comparan distintos modelos de gestión de residuos municipales, en lo que respecta al potencial de cada uno de ellos para su contribución a la emisión de gases que incrementan el efecto invernadero. Se observa claramente que los modelos de gestión integrados son los que presentan un menor factor de emisión, especialmente cuando se incorpora en ellos la incineración de la fracción residual.

## **CONCLUSIONES**

Conviene señalar que las críticas que se han hecho y continúan haciéndose a la incineración de residuos, tenían su justificación en las instalaciones que funcionaron hasta finales de los años ochenta, pero a partir de ese momento, especialmente en la UE por la adopción de límites estrictos de emisión a la atmósfera en el año 1989 y su entrada y aplicación progresiva, han perdido razón de ser. Con la última directiva comunitaria el pasado año 2000, puede afirmarse que la incineración de residuos es la





## Congreso Nacional del Medio Ambiente

Cumbre del Desarrollo Sostenible

Del 1 al 5 de diciembre de 2008

MADRID. Palacio Municipal de Congresos del Campo de Las Naciones

[Inicio](#) | [Fundación CONAMA](#) | [Decálogo de principios](#) | [Ediciones anteriores](#)

actividad, tanto industrial como de infraestructura, que esta sometida a los más exigentes límites de emisión a la atmósfera.

Teniendo en consideración el fuerte proceso de urbanización, a que la humanidad esta sometida en este momento, y que todas las perspectivas indican que en este siglo XXI que acaba de comenzar deberá intensificarse. La incineración constituye hoy en día una de las alternativas más claras que existen para la gestión de los residuos. Aunque, su uso debe considerarse no como la solución, sino como un elemento base dentro de un sistema integrado de gestión de RM, aprovechando las ventajas que los diversos sistemas de tratamiento de basuras ofrecen, e intentado obviar los inconvenientes de cada uno de ellos.

Otro aspecto importante a considerar, no solo en la incineración, sino todos los sistemas de tratamiento de basuras, es que deben responder a los máximos criterios de una gestión de calidad.

**Tabla nº 1 Evolución legislativa de las concentraciones de los valores límites de emisión a la atmósfera para incineradores de residuos**

Contaminante (mg/m <sup>3</sup> )	RD 833/75 España Incineración	89/369/CE Incineración Residuos Municipales (> 3 t/h)	94/67/CE Incineración Residuos Peligrosos	2000/76/CE Incineración Residuos
Período de medida		24 h	24 h	24 h
Partículas totales	150	30	10	10
HC (total C)		20	10	10
HCl		50	10	10
HF		2	1	1
SO <sub>2</sub>		300	50	50
NO <sub>x</sub>		-	-	200/400
CO		100	50	50
Cd+Tl			< 0.05 (< 0,1)	< 0.05 (< 0,1)
Hg			<0.05 (<0.1)	<0.05 (<0.1)
Sb+As+Pb+Cr +Co+Cu+Mn+ Ni+V+Sn			< 0.5 (<1)	< 0.05 (<1)
Pb+Cr+Cu+Mn		5		
Ni+As		1		
Cd+Hg		0.2		
Dioxinas +Furanos (ng TEQ-IE/m <sup>3</sup> )			0.1	0.1

[Medidos en mg/m<sup>3</sup> a 273 K, 101.3 kPa, 11% O<sub>2</sub> y gas seco]

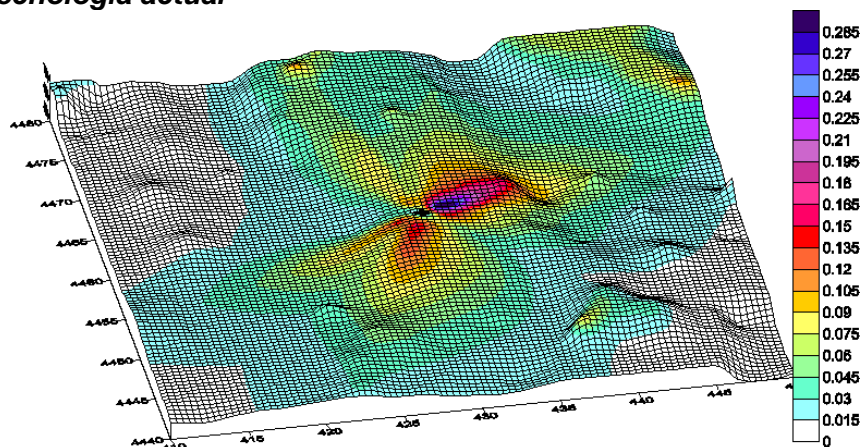
**Temperatura de combustión:** comp. orgánicos no halogenados: 850 °C  
 comp. orgánicos halogenados: 1100 °C



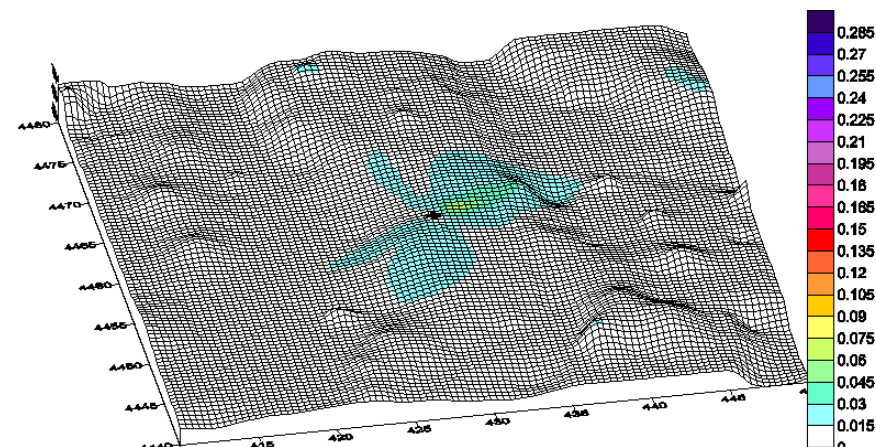
Tabla nº 2 Emisión de dioxinas en los incineradores de RM españoles durante el año 1999 (Fuente: CIEMAT, CSIC).

Incineradora	t/año	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /t RM	emisión ng/m <sup>3</sup>	emisión mg/año	factor emisión µg/t
Mallorca	273902	1280	4673	0,003-0,007	3,84-8,96	0,014-0,032
Madrid	217722	1300	5971	0,05-0,1	65-130	0,29-0,6
Tarragona	121294	652.5	5379	0,002-0,004	1,3-2,6	0,01-0,02
Girona	31000	200	6452	0,03-0,7	6-140	0,1-4,5
Mataró	137378	720	5241	1.08	777	5.65
Montcada	50053	280	5594	0.1	28	0.56
San Adrián	273311	1040	3805	0.1	104	0.38
Melilla	35339	200	5659	0.1	20	0.56

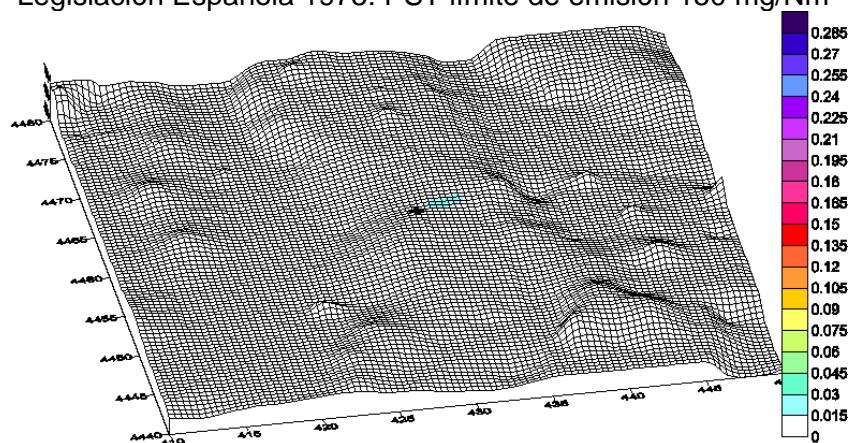
**Figura 1. Dispersión de la emisión desde un incinerador de RM en función de la antigüedad de la legislación y de la tecnología actual**



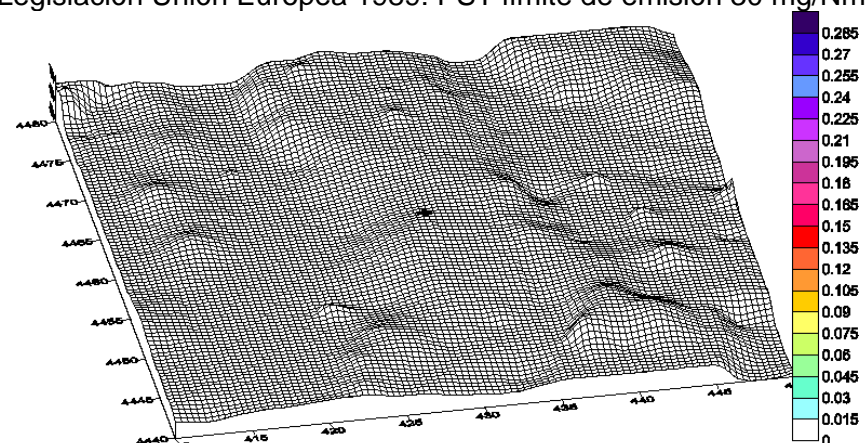
Legislación Española 1975: PST límite de emisión 150 mg/Nm<sup>3</sup>



Legislación Unión Europea 1989: PST límite de emisión 30 mg/Nm<sup>3</sup>

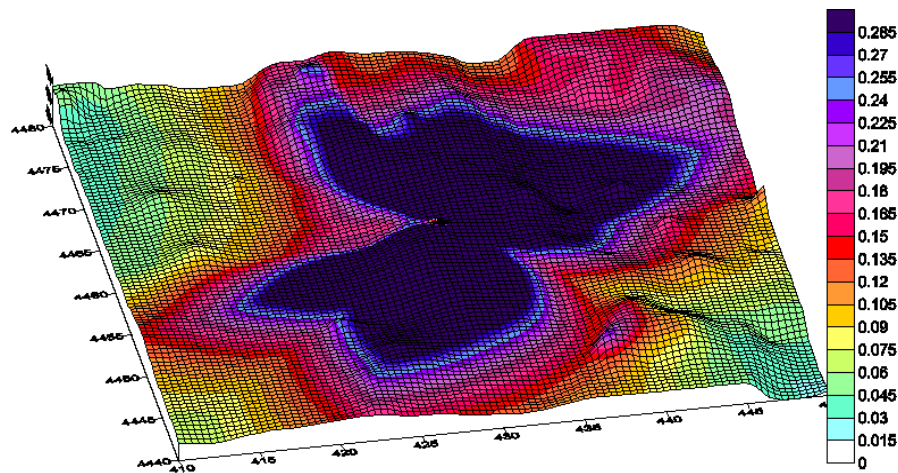


Legislación Unión Europea 2000: PST límite de emisión 10 mg/Nm<sup>3</sup>

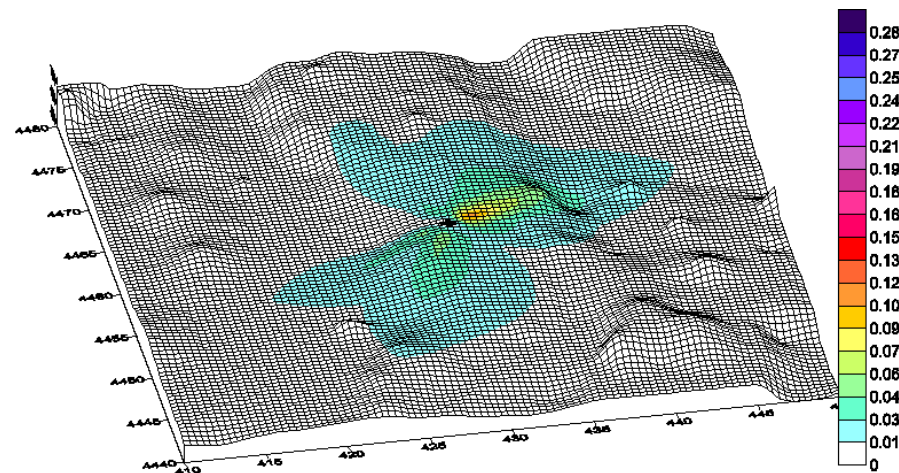


Tecnología actual: PST emisión 5 mg/Nm<sup>3</sup>

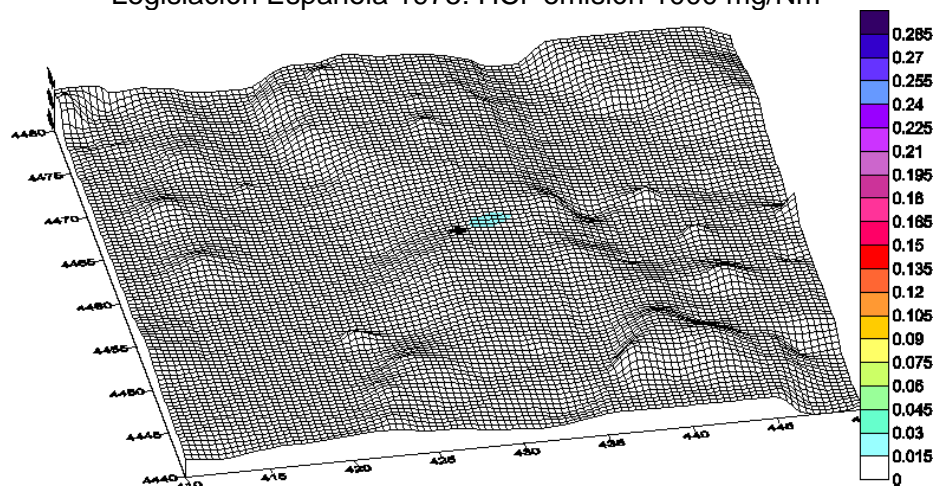




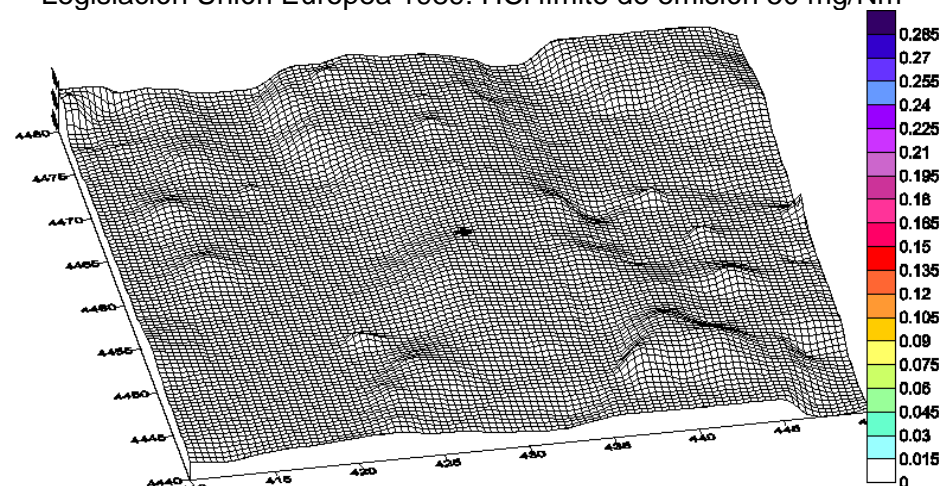
Legislación Española 1975: HCl emisión 1000 mg/Nm<sup>3</sup>



Legislación Unión Europea 1989: HCl límite de emisión 50 mg/Nm<sup>3</sup>



Legislación Unión Europea 2000: HCl límite de emisión 10 mg/Nm<sup>3</sup>



Tecnología actual: HCl emisión 5 mg/Nm<sup>3</sup>