



La incineració de residus: és una alternativa?

José María Baldasano Recio.
Catedràtic d'Enginyeria Ambiental
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Es repassen els avantatges i inconvenients de la incineració, fins i tot l'emissió de dioxines. La tesi de l'autor és que a partir de l'adopció de la directiva comunitària de l'any 2000, pot afirmar-se que la incineració de residus és una activitat sotmesa als més estrictes controls i als més exigents límits d'emissió a l'atmosfera. Per tant, la incineració seria, per a l'autor, una de les alternatives de base en el conjunt d'un sistema integrat de residus.

Els dos sistemes més antics que ha utilitzat l'home per disposar les deixalles han estat l'abocament incontrolat i la seva crema. No va ser fins al segle XIX que es van posar els primers elements del que avui es coneix com la gestió de residus.

A través dels segles, l'home va transportar, progressivament d'una manera més organitzada, les deixalles cap a àrees distants de les ciutats. A poc a poc, l'home es va adonar de la importància de la seva recollida, el seu transport i la seva disposició. Fou el 1906 als Estats Units que Parsons va escriure un llibre amb el títol *La Disposició dels residus municipals*, en què tractava el tema de les deixalles des del punt de vista de l'enginyeria per primera vegada. Els problemes amb rates, cremes indiscriminades, etc., van ser la raó del canvi radical en la manera de disposar les deixalles a principis del segle XX. El 1904 la ciutat de Champlain (Illinois) va començar a enterrar cada dia les seves deixalles. Ràpidament, altres ciutats com Columbus, Ohio (1906), Davenport, Iowa (1916), van adoptar aquest sistema. Però no fou fins a l'any 1930 que el terme rebuïment sanitari es va fer servir per primera vegada a la ciutat de Fresno (Califòrnia): significà el cobriment diari dels residus i el fet de deixar de cremar-los.

La incineració, que no s'ha de confondre amb la cremada o crema de residus, té el seu origen a Europa amb més de cent anys d'existència; la seva història va començar amb la instal·lació del primer "destructor" de residus municipals a la ciutat anglesa de Nottingham el 1874. Als EUA la primera instal·lació es va fer a Governor's Island, a Nova York, i el 1921, ja hi havia més de 200 unitats instal·lades. Barcelona ja dispo-

sava als anys vint d'una incineradora de deixalles.

Els forns d'incineració per a residus d'origen industrial deriven dels forns per als residus municipals. Els primers forns rotatius es van instal·lar a Alemanya. Als EUA no es van instal·lar fins a l'any 1948 a les instal·lacions de Dow Chemical Company a Midland (Michigan) (Dempsey i Oppelt, 1993).

El compostatge es basa en el procés de fermentació aeròbica, aplicable únicament a la fracció biodegradable de la deixalla. Els primers estudis d'aplicació d'aquest procés als residus municipals es van iniciar als Estats Units a principis dels anys vint. Les primeres plantes es van instal·lar, tant a Europa com als Estats Units, als anys quaranta. Avui dia, constitueix una tecnologia coneguda, desenvolupada i en procés de renovació i d'expansió.

La digestió anaeròbica (biometanització), també aplicable únicament a la fracció biodegradable de la deixalla, és un dels processos de tractament de desenvolupament més recent i és una de les tecnologies que ha rebut més atenció en els darrers vint-i-cinc anys. Fou als Estats Units on es van iniciar les investigacions en el camp de la biometanització dels residus municipals sense selecció prèvia. A Europa, l'interès en l'aplicació d'aquesta tecnologia va aparèixer més tard, a principis dels anys vuitanta. En aquella època fou quan van sorgir les primeres patents i les primeres plantes de demostració i ja fou en els anys noranta que sorgiren les plantes de dimensió industrial. En l'actualitat, s'entén per gestió i tractament de residus el conjunt d'operacions encaminades a l'aprofitament dels recursos materials i energètics continguts en aquests o a la disposició d'una forma



ambientalment segura dels residus de la part d'aquests impossible d'aprofitar. Els sistemes actualment més utilitzats per al tractament i la disposició dels residus municipals, de forma individual o bé en instal·lacions amb sistemes integrats, són:

- recollida selectiva en origen i reciclatge directe
- plantes de selecció i recuperació de materials
- plantes de fermentació aeròbica (compostatge)
- plantes de fermentació anaeròbica (metanització)
- plantes d'incineració amb recuperació d'energia i sense
- abocador controlat

També hi ha experiències limitades del seu tractament per mitjà de piròlisi i gasificació des dels anys setanta. Atesa la problemàtica dels residus, en els darrers anys s'està fent un esforç important per buscar sistemes de tractaments alternatius als sistemes tradicionals, amb una orientació d'aquests a potenciar els aspectes de reciclatge i de recuperació dels materials continguts a les deixalles.

També és necessari assenyalar que en els darrers anys, a escala mundial, hi ha hagut un augment de la quantitat de deixalles produïdes i de la variació de la composició d'aquestes. Algunes causes d'aquest increment de les quantitats i de la variació del seu contingut són:

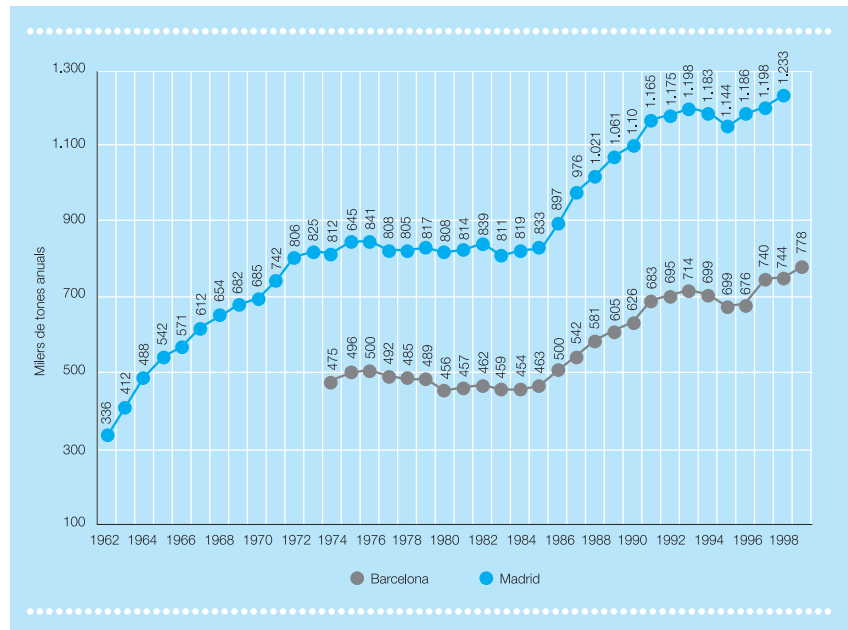
Quantitat:

- Creixement urbà
- Nombre més alt de consumidors
- Més consum

Composició:

- Més embalatges
- Més envasos d'usar i llençar
- Més consumidors individuals davant de consumidors familiars
- Nombre de dones treballant més alt
- Més autoservei
- Més conserves i congelats

Gràfic 1. Producció de deixalles a Madrid i Barcelona (1962-1999).



- Poder adquisitiu més alt

A la figura 1 podem veure l'evolució de les quantitats de deixalles que s'han produït a les ciutats de Madrid i Barcelona, on seria bastant senzill de fer un paral·lelisme amb els cicles econòmics que hi ha hagut durant els anys considerats.

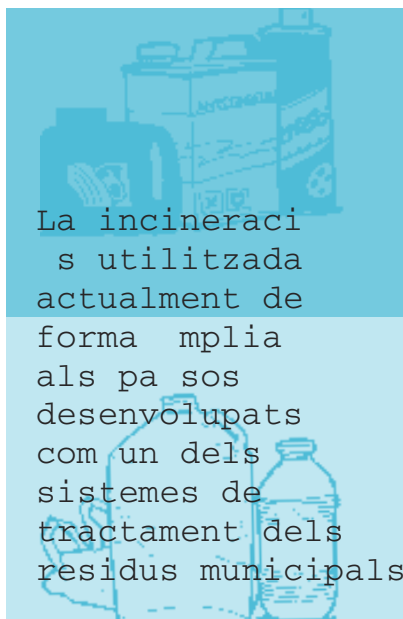
La CEE va adoptar una **estratègia comunitària per a la gestió de residus** respecte de les actuacions en aquest sector, d'acord amb el següent ordre jeràrquic d'actuació (*Comunicació de la Comissió al Consell i al Parlament Europeu: Una estratègia comunitària per a la gestió dels residus. SEC(89) 934 final, Brussel·les 18.9.1989; i Resolució (90/C122/02) del Consell de 7.5.1990, sobre la política en matèria de residus (DOC 122 18.5.1990)*):

1. Prevenció, tant en la producció com en els productes.

2. Foment de l'aprofitament, reciclatge i reutilització.
3. Reducció al mínim de l'eliminació final.
4. Reglamentació del transport.
5. Accions per posar remei (remeial).

Ratificada i complementada recentment per mitjà de la **RESOLUCIÓ del CONSELL de 24.2.1997, sobre una Estratègia comunitària per a la gestió dels residus (1997)**:

- On es confirma la jerarquia de principis de disposició
- Preferència de la valorització material sobre l'energètica
- Principi de proximitat
- Principi d'autosuficiència
- Necessitat de disposar de dades adequades (estadística sobre residus)
- Prevenció: tecnologies i productes nets i reutilització;
- Aprofitament: reciclatge i transformació de materials i aprofitament energètic;



La incineració s'utilitza actualment de forma àmplia als països desenvolupats com un dels sistemes de tractament dels residus municipals

- Eliminació: perfeccionament de l'explotació dels abocadors i de la incineració, preferentment combinada amb l'aprofitament energètic;
 - Transport: reducció al mínim i control dels trasllats de residus;
 - Acció reparadora: rehabilitació d'emplaçaments contaminats.
- Tant les disposicions legislatives sobre residus adoptades des de l'any 1989 com el cinquè Programa marc sobre medi ambient (1993-2000) s'inspiren en aquests conceptes principals, que són també els conceptes que inspiren els principis de la Convenció de Basilea (1989), adoptat pel Programa de les Nacions Unides per al medi ambient (PNUMA) per controlar el transport transfronterer de residus.

Incineració de residus municipals

El terme d'*incineració* es pot definir de diferents maneres, però bàsicament es refereix a la combustió de substàncies orgàniques per mitjà d'un procés d'oxidació química. Quan l'oxidació es fa de forma ràpida, la

► Taula 1. Comparació del tractament de RM a Europa.

País	kg/ hab/ dia	Abocador	Compost	Incineració	Reciclatge	Any
Àustria	0,88	55	17	12	16	1994
França	1,30	44	9	41	6	1991-1996
Alemanya	1,21	47		19	34	1996
Grècia	0,81	94		1	5	1995
Hongria	1,06	87		9	4	1996
Itàlia	0,96	90		6	4	1996
Luxemburg	1,48	20		65	15	1996
Holanda	1,14	50		17	33	1991-1995
Espanya	1,12	76	10	4	10	1991-1995
Suècia	0,96	36	5	49	10	1991
Suïssa	1,73	14		47	39	1995-1996
Regne Unit	1,54	90		8	2	1996

Font: ISWA 1998/1999.

temperatura del material augmenta ràpidament a causa de la incapacitat per transferir la calor generada cap a l'exterior tan ràpidament com s'està produint. Com a resultat, s'emet radiació visible, a la qual ens referim com la flama.

Com s'ha indicat, la incineració dels residus municipals, tal com es concep avui dia, té els seus inicis a la darrer part del segle passat, època en què es cremen uns residus domiciliaris que contenen quantitats significatives de restes de carbó. Moltes d'aquelles instal·lacions operaven pobrament i tenien un sistema d'alimentació de càrregues; alguna tenia un sistema de recuperació de vapor.

Això no obstant, després de la crisi posterior a la Primera Guerra Mundial, la incineració es deixa d'utilitzar a causa de l'empobriment energètic de les deixalles. Més endavant recuperarà un nou interès, a causa tant de les noves tècniques de combustió i de depuració dels gasos de combustió com de l'evolució favorable de la composició de les deixalles des del punt de vista energètic.

Fins a l'any 1950 l'incineradora i el seu acompanyant, el fum, s'acceptaven com un requisit inevitable i es considerava el seu funcionament de la forma més barata possible. Això no obstant, quan els fums d'una xemeneia van deixar de ser un símbol de prosperitat i les normatives sobre contaminació de l'aire van començar a emergir, en els anys seixanta i setanta, la incineració com

a sistema va millorar dràsticament. Aquestes millores inclouen una alimentació en continu, millores en el control de la combustió, l'ús de càmeres múltiples de combustió, la recuperació de l'energia de forma sistemàtica i l'aplicació de sistemes de depuració per als gasos de combustió.

Però va ser a les acaballes dels anys vuitanta que la incineració de residus va rebre un nou impuls en desenvolupar-se millors sistemes de combustió, de control i de tractament dels gasos de combustió, que van permetre avançar cap a una situació pròxima a l'emissió a l'atmosfera quasi nul·la, i es va convertir en un sistema de tractament de residus ambientalment segur i amb uns millors rendiments energètics de funcionament, perquè va haver de fer front als nous reptes ambientals, a la seva acceptació pública i a unes normes legals molt més estrictes.

La incineració és utilitzada actualment de forma àmplia als països desenvolupats com un dels sistemes de tractament dels residus municipals (vegeu taula núm.1). Hi ha hagut ciutats, com és el cas de París, que han fet servir aquest sistema des de principis del segle xx d'una forma continuada i intensiva. La quantitat de residus municipals tractada per mitjà d'aquest sistema a Espanya no arriba al 4%. Les plantes estan instal·lades de forma majoritària a Catalunya.

La incineració de residus municipals es pot fer amb la recuperació de la calor generada en la combustió o sense. Però sense la recu-



La incineració de residus municipals es pot fer amb la recuperació de la calor generada en la combustió o sense

► **Taula 2. Concentracions límit d'emissió a l'atmosfera per a incineradores de residus.**

Contaminant (mg/m ³)	RD 833/75 Espanya Incineració	89/369/CE Incineració Residus Municipals (> 3 t/h)	89/369/CE Incineració Residus Municipals (> 3 t/h)	2000/76/CE Incineració Residus
Període de mesura		24 h	24 h	24 h
Partícules totals	150	30	10	10
HC (total C)		20	10	10
HCl		50	10	10
HF		2	1	1
SO ₂		300	50	50
NO _x		-	-	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		
Dioxines + Furans (ng TEQ-IE/m ³)			0,1	0,1

[Mesurats en mg/m³ a 273 K, 101,3 kPa, 11% O₂ i gas sec]

Temperatura de combustió: Comp., orgànics no halogenats: 850 °C
Comp., orgànics halogenats: 1.100 °C

peració de la calor no té sentit, tret de determinats casos molt particulars. La dimensió mínima perquè la instal·lació d'incineració d'aquest tipus de residus amb recuperació d'energia sigui adequada se situa a partir de les 140-150 t/ dia. La calor alliberada es pot aprofitar per a la:

- Producció d'energia elèctrica per mitjà de vapor;
- Producció de vapor per a la seva venda directa;
- Producció d'aigua calenta per a la calefacció.

Consisteix, doncs, en un procés de combustió controlada que transforma les deixalles en gasos de combustió, escòries i cendres: 1) una en estat gasós, format pels gasos de combustió, aproximadament el 73% de la matèria entrada, i 2) i dues en estat sòlid, constituïda per 1) les escòries (= 25%) i 2) les cendres (= 2%) o els sòlids de depuració (= 4 - 5%), en

funció del tractament adoptat per a la depuració dels gasos de combustió.

El marc legislatiu

A Espanya, les primeres disposicions legals que limiten les emissions daten de l'any 1975 (Decret 833/75) i consideren únicament un límit d'emissió a les partícules en suspensió, amb valors gens exigents. Al juny de l'any 1989 la Unió Europea adopta per a aquest tipus d'instal·lacions dues directives per tal de prevenir la contaminació atmosfèrica, tant en l'àmbit dels límits d'emissió a l'atmosfera, com de les condicions de control del procés de combustió, i de les condicions de monitoratge de la instal·lació. Són la Directiva 89/369/CEE per a les noves instal·lacions i la Directiva 89/429/CEE per a les instal·lacions existents. Espanya les incorporà al seu dret intern amb retard al setembre de 1992 (Reial

decret 1088/92). L'adopció d'aquestes directives va suposar un procés de modernització de les instal·lacions d'incineració de residus en el context europeu, tant per a les noves instal·lacions com per a l'adaptació de les existents, que va acabar aproximadament l'any 1997. Aquestes directrius impliquen també l'extensió de la normativa alemanya de l'any 1986 per a aquest tipus d'instal·lació al conjunt de la Unió Europea, tot i que Alemanya va modificar la seva normativa durant l'any 1990, adoptant límits i condicions més exigents.

Al desembre de 1994, la UE va adoptar la Directiva 96/67/CE relativa a la incineració de residus peril·losos, que implicava també l'extensió de la normativa alemanya de l'any 1990 per a la incineració dels residus peril·losos al conjunt de la Unió Europea. Espanya la va traslladar per mitjà del Reial decret 1217/97 al juliol de 1997, que modifica parcialment el Reial decret 1088/92. Catalunya havia aprovat al novembre de 1994 el Decret 323/94 d'aplicació tant per a residus municipals com per a residus peril·losos, que ja incorporava el contingut de la Directiva 94/67/CE.

A l'últim, l'any passat la UE va adoptar la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineració de residus, que actualitza les anteriors i la qual no fa distinció entre la incineració de residus municipals i peril·losos. Ha de ser incorporada al dret intern dels estats membres abans del 28 de desembre del 2002. Té prevista la seva entrada en vigor per a les noves instal·lacions al desembre de l'any 2002 i per a les instal·lacions existents al desembre del 2005. Aquesta directiva implica els límits d'emissió a l'atmosfera més exigents que hi ha avui dia a escala mundial per a qualsevol tipus d'instal·lació. Implica també l'adopció de límits d'emissió per als òxids de nitrogen i una reducció substancial en l'emissió de metalls pesants. De nou, també suposa estendre a tota la UE la normativa alemanya d'incineració. A la taula núm. 2 es pot veure la important evolució de reducció que han tingut a la UE i a Espanya en els darrers 25 anys els valors límit d'emissió.

Als Estats Units, la primera legislació específica data de l'any 1970 i implica límits d'emissió exclusivament per a l'emissió de partícules. La segona data de l'any 1990 i està actualment vigent, tot i que és menys exigent que la legislació de la UE. L'any 1994 es publicà l'esborrany d'una nova legislació que encara no ha estat adoptada. Per il·lustrar l'efecte progressiu d'aquestes reduccions en els valors límit d'emissió, s'ha calculat quina seria la dispersió que tindrien aquestes emissions per a una incineradora de deixalles de 1.000 t/dia, així com la capacitat de depuració de les actuals tecnologies de depuració dels gasos de combustió. Com a contaminant s'han considerat les partícules en suspensió que és on hi ha associades la majoria de les dioxines que s'emeten (vegeu figures pàg. següent). Es pot veure fàcilment l'avenç que va representar la legislació de l'any 1989, i que amb la legislació del 2000 i la tecnologia actual que ja s'està aplicant s'està afrontant una situació d'emissió quasi nul·la.

Tecnologies d'incineració

La incineració de residus requereix una gran atenció en el nivell de domini de les condicions de combustió. Una bona combustió es regeix per **la regla anomenada de les "3 T": temperatura, temps de resistència i turbulència**. Aquests paràmetres generalment es fixen en el moment de la concepció del forn, però el que l'explota conserva el domini de la temperatura fent variar la càrrega tèrmica i el domini del cabal d'aire de combustió. La mala regulació d'un d'aquests paràmetres pot generar condicions de funcionament inadequades.

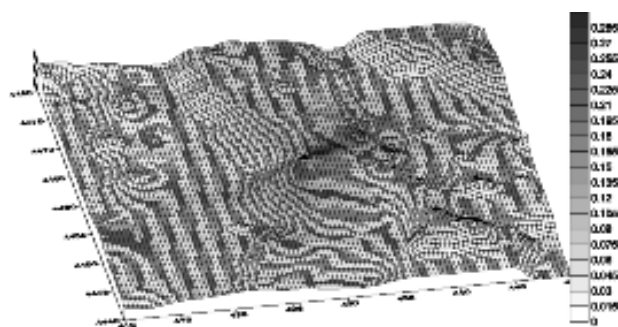
A causa de la composició heterogènia de les deixalles domèstiques, el procés de combustió es desenvolupa en condicions d'excés d'aire (la legislació exigeix un mínim d'un 6% d'oxigen en excés). Durant la combustió, el carboni que contenen les deixalles es transforma en CO₂. D'aquesta manera, un defecte d'oxigen podrà generar monòxid de carboni (CO) per combustió incompleta del carboni. De la mateixa

A l'últim, l'any passat la UE va adoptar la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineració de residus, que actualitza les anteriors i la qual no fa distinció entre la incineració de residus municipals i peril·losos

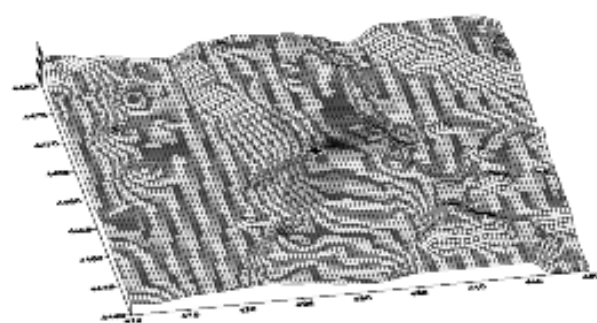




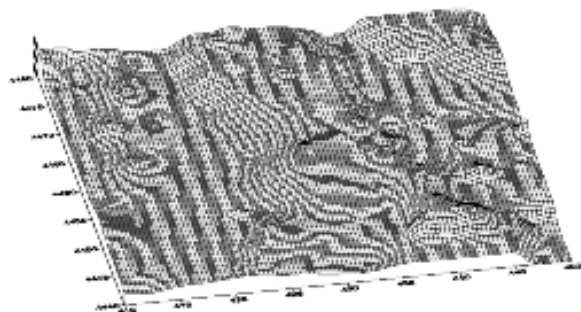
Legislació Espanyola 1975: PST límit d'emissió 150 mg/Nm³



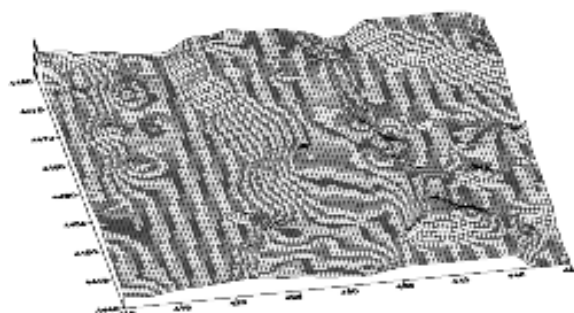
Legislació Unió Europea 1989: PST límit d'emissió 30 mg/Nm³



Legislació Unió Europea 2000: PST límit d'emissió 10 mg/Nm³



Tecnologia actual: PST emissió 5 mg/Nm³



manera, un defecte d'oxigen provocarà la generació de partícules incrementades i productes incomplets de combustió (PIC). Per a l'aplicació d'aquest sistema de tractament, és necessari que aquests tinguin un poder calorífic inferior, superior a les 1.400 kcal/kg, per tal d'assegurar-se l'autocombustió. En els incineradors de petita capacitat, cal incorporar-hi combustible addicional que acostuma a ser habitualment fuel o propà, tot i que també s'utilitza GN.

Per a això, els residus urbans són descarregats en una fossa d'emmagatzematge temporal, en depressió atmosfèrica respecte de l'exterior per tal d'evitar l'aparició de males olors a les zones properes a la instal·lació. Posteriorment són conduïdes a un forn on es cremen a una temperatura mínima de 850 °C durant almenys dos segons en presència d'un 6% d'oxigen, com a mínim després de la darrera injecció d'aire de combustió.

Els elements i els equips principals que configuren una incineradora de residus domèstics són els següents:

- a) una zona de descàrrega i emmagatzematge;
- b) una zona d'alimentació del forn, per mitjà d'una tremuja normalment;
- c) un forn i la seva càmera de combustió per assegurar una completa destrucció dels compostos orgànics;
- d) una zona de recollida i d'extracció d'escòries;

e) un sistema de refrigeració i la caldera per a la recuperació d'energia (en incineradores amb capacitat > 140 t/dia);
 f) una zona de depuració dels gasos de combustió;
 g) una zona de magatzem d'escòries i cendres, o altres productes recollits en els processos de depuració;
 h) i la zona final d'evacuació dels gasos depurats a l'atmosfera (ventilador i xemeneia).
 El forn no solament constitueix l'element suport de la combustió (ja sigui per mitjà de graelles o per mitjà de forn rotatiu), sinó que també fa que les deixalles avancin i es girin, cosa que permet la barreja de l'aire primari amb els residus per tal de garantir una bona barreja del combustible i del comburent.

A la zona del forn es poden considerar tres fases:

- 1) fase d'assecat: la seva durada depèn de el calor radiativa existent, del grau de barreja de les deixalles i del seu airejament;
- 2) fase de combustió pròpiament , i
- 3) fase d'acabament postcombustió, la graella està coberta per les escòries.

La càmera de postcombustió té com a funcions principals:

- permetre la barreja íntima entre l'aire i els gasos parcialment cremats, a fi d'obtenir una combustió completa.
- per radiació, escalfar i assecat les deixalles i permetre, per la seva gran inèrcia tèrmica, el manteniment de la temperatura necessària per a la correcta combustió dels gasos.

Entre els tipus de forns per a residus municipals es poden assenyalar essencialment:

- Forns de graella (d'avang, de corrons, etc.)
- Forns rotatius
- Llit fluiditzat: aquesta tecnologia s'utilitza molt al Japó; a Europa és a Suècia especialment on més s'ha aplicat (és un procediment avançat utilitzat en plantes termoelectriques de carbó polvoritzat, fangs i en la combustió de biomassa).

En els gasos de combustió de la incineració de residus urbans es poden trobar:

- Gasos tals com el CO₂, H₂O, N₂ i l'oxigen no utilitzat en la combustió.
- Partícules de pols més o menys fines la concentració de les quals abans de la seva depuració és d'aproximadament de 5 a 10 g/Nm³. Aquestes partícules de pols estan constituïdes essencialment per sals minerals o metàl·liques, i en ocasions per partícules incremades.
- gasos procedents de la composició de residus incinerats, principalment es tracta de clor, àcid clorhídric, òxids de sofre i de nitrogen i de compostos orgànics incremats.

El contingut d'aigua dels residus és, de vegades, molt important, aproximadament del 50%. Aquesta aigua, que constitueix un llast tèrmic ja que consumeix calories en la seva evaporació, té influència sobre els equilibris químics implicats en les reaccions de combustió. D'aquesta manera, com més augmenta la concentració del vapor de l'aigua i la temperatura, més disminueix la concentració de clor gasós, a causa de l'equilibri de DEACON.

Les escòries (ceràmiques, terres, vidre, objectes metàl·lics, etc.) s'acostumen a refredar amb aigua i s'extrauen de la fossa de descàrrega per mitjà de transportadors continus. Estan formades, principalment, per òxids metàl·lics i silicats, a més de quantitats menors de carbonats, clorurs i sulfats, així com alumini, calci, sodi, ferro (a Catalunya, la seva valoració està reglamentada per la Generalitat per mitjà de l'Ordre de 15-2-1996 sobre valorització d'escòries, per al seu aprofitament com a ferm de vies públiques). La fracció metàl·lica fèrria continguda a les escòries s'ha d'extraure i reciclar, i, d'aquesta manera, es millora la manejabilitat i la utilització posterior de la fracció d'escòries restant.

El reciclatge de la fracció fèrria és elevat; en canvi el reciclatge del gruix de les escòries també es recicla en els diferents països europeus, però en percentatges més limitats (50% a França i Alemanya; 70% a Dinamarca, i 100% a Holanda).

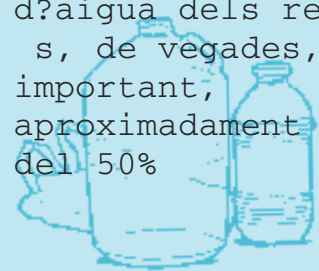
Les cendres o residus de depuració estan compostos també, en gran part, per òxids metàl·lics i silicats. Tenen la consideració

de residus perillosos i han de ser dipositats en un abocador controlat. Estem parlant d'un 2-4% de la quantitat de residus incinerats.

En la primera generació d'incineradores de residus urbans (anys seixanta), es van servir com a sistemes de depuració dels gasos de combustió: filtres electrostàtics (majoritàriament) i torres de rentat (en menys quantitat). Aquests sistemes eren clarament insuficients com a sistemes de depuració dels gasos de combustió.

A les incineradores de segona generació (essencialment a partir de finals dels anys vuitanta), els sistemes de depuració dels

El contingut d'aigua dels residus s, de vegades, molt important, aproximadament del 50%



gasos de combustió que s'han d'utilitzar per assolir els límits establerts en alguns països europeus (Alemanya, Holanda, p. ex.) i a la Directiva de la CEE, són diversos:

– *Processos de rentat en sec.* Els rentats per via seca es fan per mitjà de la injecció de cal en un reactor, amb posterior filtració en un filtre electrostàtic o de mànigues.

– *Processos de rentat semisechs* (o semihumits). En els processos de rentat semisechs (o semihumits), la cal és utilitzada en forma de beurada, cosa que permet una millor reactivitat de la cal i un refredament dels gasos per evaporació de l'aigua de dilució de la cal. Els sistemes de filtració són els mateixos.

– *Processos de rentat per via humida.* Es descomponen en dues fases: a) tractament de les partícules en suspensió per mitjà de filtres electrostàtics, i b) tractament dels gasos per mitjà de columnes d'absorció.

En el disseny de les calderes de recuperació és fonamental la selecció del tipus de caldera que s'ha d'utilitzar en funció dels requisits d'operació (balanç tèrmic de la instal·lació) i els espais disponibles. L'objectiu ha de ser garantir un funcionament factible i continu de la caldera, amb l'aprofitament òptim de la calor dels gasos de combustió i amb un consum energètic dels equips auxiliars mínim, complint alhora amb les limitacions imposades a les emissions a l'atmosfera.

Són essencialment dos els factors que determinen l'aprofitament de la calor generada en procés d'incineració.

- La recuperació de la calor per a la generació del corrent elèctric, de vapor de producció o de vapor de calefacció amb la finalitat preliminar de recuperar el potencial energètic que tenen alguns residus i, a més, reduir els costos d'explotació de les mateixes plantes d'incineració.

- El refredament dels gasos de combustió produïts al forn a temperatures acceptables per a la seva depuració i descontaminació posteriors.

Un balanç tèrmic mitjà en una incineradora pot tenir els valors següents, essent la base de càlcul respecte del 100% de l'entrada:

▼ **Taula 3. Emissió de dioxines a les incineradores de RM espanyols durant l'any 1999.**

Incineradora	t/ any	106 m3/ any	m3/t RM	emissió		factor emissió
				ng/m3	mg/ any	
Mallorca	273.902	1.280	4.673	0,003-0,007	3,84-8,96	0,014-0,032
Madrid	217.722	1.300	5.971	0,05-0,1	65-130	0,29-0,6
Tarragona	121.294	652,5	5.379	0,002-0,004	1,3-2,6	0,01-0,02
Girona	31.000	200	6.452	0,03-0,7	6-140	0,1-4,5
Mataró	137.378	720	5.241	1,08	777	5,65
Montcada	50.053	280	5.594	0,1	28	0,56
San Adrià	273.311	1.040	3.805	0,1	104	0,38
Melilla	35.339	200	5.659	0,1	20	0,56

Font: CIEMAT, CSIC.

- 18% de pèrdues a la zona de combustió i caldera
- 0,8% de pèrdues en el turbogenerador
- 48,2% en la refrigeració (aerocondensador)
- 6% autoconsum
- 27% producció d'energia elèctrica

Emissió de dioxines

En tots els processos de combustió, quan hi ha presència d'àtoms de clor, es poden produir dioxines, en més o menys quantitat segons com tingui lloc aquest procés. La incineració de residus municipals fou amb anterioritat als anys noranta una de les principals fonts d'emissió de dioxines, però, atesa l'exigència legal de limitar-ne l'emissió i l'adopció de mesures tecnològiques, avui dia la seva emissió s'ha reduït fortament (vegeu taula núm. 3). Les emissions de dioxines a les incineradores espanyoles ha disminuït per un factor de 17 entre l'any 1997 i 1999.

Avantatges i inconvenients

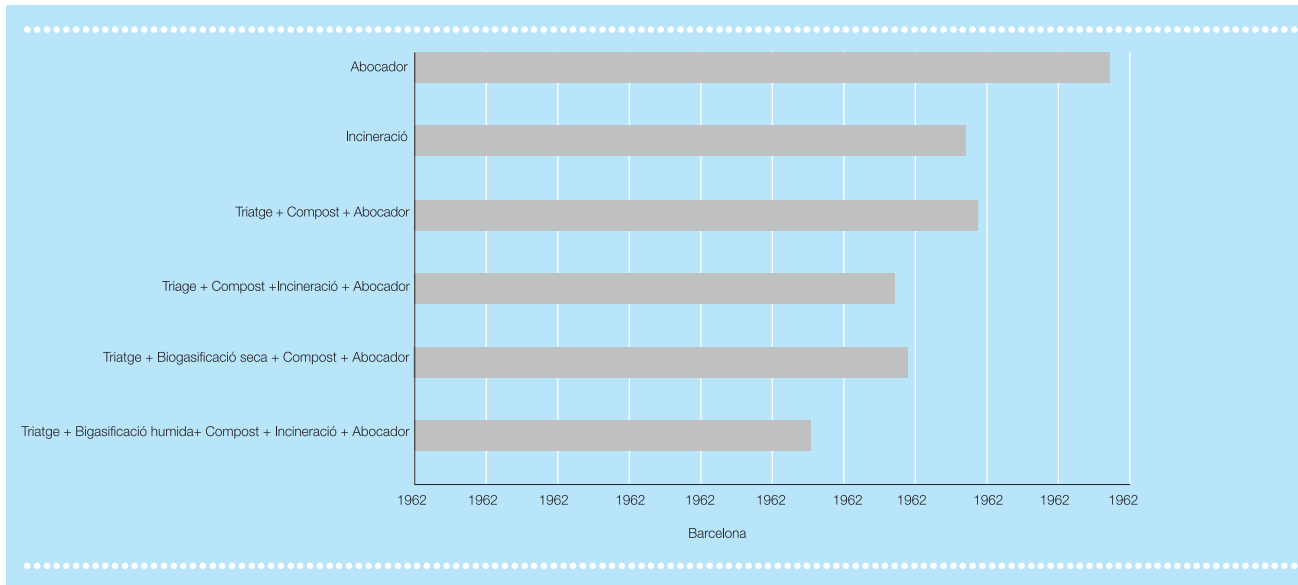
Les plantes d'incineració de deixalles presenten davant els altres sistemes de tractament de residus urbans els avantatges següents:

- Recuperar l'energia tèrmica continguda a les deixalles, obtenint més vapor i/o electricitat
- Reciclar aproximadament el 20% dels materials cremats (escòries)

- Important disminució del volum de deixalles (= 90%)
 - Important reducció del pes de les deixalles (= 75%)
 - Costos operacionals moderats o baixos en el cas que s'incineri amb recuperació d'energia
 - Utilització de terrenys limitada
 - Pot tractar qualsevol tipus de residu si el seu poder calorífic és adequat
 - Permet el reciclatge dels materials ferris continguts a les deixalles
 - Permet la reutilització de les escòries com a material en la construcció de carreteres
 - Com a inconvenients es poden considerar:
 - No suposa un sistema de disposició total, necessita un condicionament per a les escòries (si no són reciclables) i especialment per a les cendres o sòlids de depuració
 - Alta inversió econòmica inicial
 - Costos operacionals elevats en el cas que s'incineri sense recuperació d'energia
 - Exposició a aturades i avaries
 - Flexibilitat limitada per adaptar-se a variacions estacionals de la generació de residus o necessitat d'un sobredimensionament
 - Necessita sistemes de control i prevenció per als gasos de combustió
 - Acceptació pública limitada
- Altres sistemes de tractament, el compostatge i la biometanització, tenen el greu inconvenient que tan sols es poden aplicar a determinades fraccions de les deixalles, a la fracció biodegradable, que actualment es pot quantificar com d'aproximadament



Gràfic 2. Factors d'emissió de gasos d'efecte hivernacle segons els sistemes de tractament de RES.



el 40% del total al nostre país. Com a conseqüència, tot i considerant les fraccions directament reciclables, encara pot quedar una fracció d'aproximadament també el 40% per disposar.

Aquesta fracció, que com se li ha extret la part més humida, encara que també és cert que se li han retirat fraccions combustibles, ha augmentat el seu poder calorífic (al voltant dels 2.300 kcal/kg). Com a conseqüència, no té gaire sentit que aquesta fracció residual sigui abocada quan pot ser aprofitada energèticament i consumeix, a més, menys territori.

De fet, es poden comparar diferents models de gestió de residus municipals, pel que fa al potencial de cada un d'aquests en la seva contribució a l'emissió de gasos que incrementen l'efecte hivernacle (vegeu figura núm. 2). S'observa clarament que els models de gestió integrats són els que presenten un factor d'emissió menor, especialment quan s'hi incorpora la incineració de la fracció residual.

Conclusions

Cal assenyalar que les crítiques que s'han fet i es continuen fent a la incineració de residus tenien la seva justificació en les instal·lacions que van funcionar fins a la fi dels anys vuitanta, però a partir d'aquell moment, especialment a la Unió Europea en què es van adoptar límits estrictes d'emissions a l'atmosfera, han perdut raó de ser.

Amb l'adopció de la darrera directiva comunitària de l'any 2000, es pot afirmar que la incineració de residus és l'activitat, tant industrial com d'infraestructura, que està sotmesa als límits d'emissió a l'atmosfera més exigents.

Tenint en consideració el fort procés d'urbanització al qual la humanitat està sotmesa en aquests moments, i que totes les perspectives indiquen que, en aquest segle que acaba de començar, s'intensificarà, la incineració constitueix avui dia una de

les alternatives clares que hi ha per a la gestió del residus.

Amb tot, el seu ús no s'ha de considerar com una solució, sinó com un element base dins d'un sistema integrat de gestió de residus municipals, que aprofiti els avantatges que ofereixen els diferents sistemes de tractament de deixalles i que intenti evitar els inconvenients de cada un d'aquests.

Un altre aspecte important que s'ha de considerar, no tan sols en la incineració, sinó en tots els sistemes de tractament de deixalles, és que han de respondre als màxims criteris d'una gestió de qualitat. ●