



Les noves tecnologies d'incineració de Residus Sòlids Urbans (Gasificació, piròlisi i plasma)

Centre d'Ecologia i Estudis Alternatius, 2010

Pros i contres de la incineració

La generació de residus ha assolit unes magnituds arreu del món que posen en evidència els límits físics, químics i biològics del planeta. Per una banda, estem consumint massa ràpidament els recursos que existeixen, sense respectar els temps i la capacitat de la Terra per regenerar-los. Per l'altra, la Terra és incapaç d'absorbir i continuar absorbint les quantitats ingents de residus que es generen any rere any.

Existeix un consens sobre la necessitat de trobar fórmules per reduir els nivells d'extracció de matèries primeres i la quantitat de rebuig generat, que s'ha de disposar finalment al sòl. Però, per aconseguir-ho existeixen dues grans tendències. Les que assumeixen que els models de producció i consum actuals no tenen perquè veure's afectats pels problemes socioambientals que es generen a conseqüència del seu funcionament; i les que consideren que el problema no es podrà solucionar si no se'n busquen les causes profundes. Identificar i actuar sobre l'arrel del problema significa qüestionar els models de creixement actuals basats en el consum desmesurat i en el joc de poders dels sectors econòmics que disposen del capital i la informació. La primera via assumeix que el ciutadà no té perquè, ni vol, modificar els seus hàbits ni estils de vida; la segona, parteix de la base que una població ben informada ha de tenir l'opció d'elegir quin camí vol seguir, per tal de triar un model que no atempti contra les mateixes bases de la vida al planeta, tot i que això suposi promoure el canvi en els models de producció i consum imperants.

Els defensors de les incineradores són a la vegada defensors de l'estil de vida "modern", del consumisme i de la producció de necessitats autoimposades. Per aquest motiu, tots els arguments estan orientats a lloar les grans virtuts d'aquestes tecnologies comparativament a d'altres de final de canonada i no tant a considerar les alternatives basades en la prevenció en origen. Un clar exemple d'aquest paradigma és el recentment aprovat Programa Metropolità de Gestió de Residus Municipals que destina un 90% de les inversions a instal·lacions de tractament finalista de resta i rebuig i ben poc a actuacions encaminades a la prevenció.

Els punts forts de l'argumentació pro-incineradores són:

- La incineració elimina el problema dels residus, perquè en disminueix el seu volum en més del 90%. D'aquesta manera es redueix significativament la quantitat de sòl per a disposició de més d'una tercera part dels residus municipals generats a Catalunya [1].

- No produeix emissions de CO₂ i a més, se n'obté energia "renovable" que evita la crema d'una porció de combustibles fòssils. D'aquesta manera s'afegeix a la llista d'accions alternatives per fer front al Canvi Climàtic.

En aquest sentit, el Col·legi d'Enginyers Industrials de Barcelona fa una clara defensa de la incineració argumentant a més a més [2]:

1. La compatibilitat de la incineració amb el reciclatge
2. Que el tancament de l'activitat implica la finalització de la contaminació
3. La reducció efectiva del residu en més del 96% en pes i en volum
4. La mínima utilització d'espai i ocupació del sòl
5. Que la valorització energètica de residus està inclosa en el règim especial de generació per al foment de les fonts renovables i alternatives de generació elèctrica
6. La contribució a la reducció de gasos d'efecte hivernacle

Les administracions al·leguen que alguna cosa s'ha de fer amb els residus que no s'han pogut reduir ni reciclar, i busquen referents a nivell internacional d'altres països on s'està ampliant la capacitat d'incineració, tot dient que les emissions s'han pogut reduir gràcies a les noves tecnologies.

Però potser el què difereix entre partidaris i detractors de la incineració és el punt de vista a partir del qual s'analitza. Potser no es tracta d'identificar quines són les tecnologies de final de canonada que menys impacten el medi i la salut de les persones i invertir quantitats exorbitants de diners en la millora de la seva gestió i eficiència, sinó en creure que no és necessari generar un problema si s'ha de solucionar després, sinó que sempre la millor estratègia és evitar-lo, és a dir, la Prevenció.

Tanmateix, estratègies de gestió dels residus com el reciclatge, el compostatge, i més encara, la reutilització de materials i productes, permeten evitar els grans perjudicis sobre el medi que es generen en la fase d'extracció i producció de materials per a la fabricació de nous productes (generació de residus, contaminació de l'aigua, l'aire, emissions de CO₂, consum energètic o escalfament global). La reutilització i el compostatge permeten reintroduir els materials en l'etapa de producció i consum disminuint els impactes de la fabricació significativament, aplicant el cicle del bressol al bressol i no del bressol a la tomba. Per tant, la incineració no és una solució sostenible, principalment perquè no evita els efectes nocius de les etapes de producció i sobretot, d'extracció.

A aquest raonament s'hi afegeix el fet que, l'eficiència energètica d'una incineradora no supera el 20% per a la generació d'electricitat (50% a 55% per a la generació d'electricitat amb cicle combinat) i el 50% per a la generació de calor, cosa que la situa molt per sota de l'eficiència d'una planta de carbó o de gas [3].

Per altra banda, l'argument a favor de la reducció dels gasos d'efecte hivernacle deixa de tenir sentit quan s'analitza el balanç d'emissions en el procés global. Molt sovint la indústria de la incineració omet les emissions generades per la crema de biomassa (emissions de carboni d'origen biogènic) al·legant que es

tracta d'emissions neutrals per al clima^[4]. Són emissions que han estat compensades prèviament durant la fase de creixement d'aquesta biomassa i es justifiquen, argumentant que fins i tot l'International Panel for Climate Change no inclou les emissions derivades dels residus orgànics en els inventaris nacionals. No obstant, l'IPCC inclou aquestes emissions en altres seccions dels inventaris i exposa textualment, que tot i no haver-se d'incloure en les estimacions nacionals, si la incineració de residus s'usa amb propòsits energètics s'han de considerar tant les emissions d'origen fòssils com les biogèniques^[5].

Les noves tecnologies i la Directiva d'Incineració

A nivell global, la incineració consisteix en un procés d'oxidació de substàncies orgàniques on es redueixen els residus a diòxid de carboni i altres gasos, escòries i una proporció de residus no combustibles, que es dipositen junt a les cendres en un dipòsit sanitari, mentre els gasos són alliberats a l'atmosfera. Durant el procés, alguns materials no combustionats són recuperats (metalls, ferralla, etc.). Aquest tractament forma part de les tecnologies anomenades de tractament tèrmic.

La piròlisi, la gasificació o les tecnologies d'arc de plasma són tipologies de tractament tèrmic que pretenen la transformació de les substàncies sotmetent-les a calor. Allò que diferencia les unes de les altres són principalment les temperatures de funcionament i les operacions i velocitat amb què s'obtenen aquestes temperatures.

La Directiva 2000/76/CE d'Incineració dels Residus, en vigència des del 28 de desembre de l'any 2000, explicita la consideració d'incineració per aquestes noves tecnologies al definir instal·lació d'incineració com "qualsevol unitat tècnica o equip fix o mòbil, dedicat al tractament tèrmic dels residus amb o sense recuperació del calor produït per la combustió, inclosa la incineració per oxidació dels residus, **així com la piròlisi, la gasificació o altres processos de tractament tèrmic, per exemple el procés de plasma, en la mesura en què les substàncies resultants del tractament s'incinerin a continuació**".

També contempla la possibilitat de la co-incineració, considerant-la tota instal·lació fixa o mòbil, la finalitat principal de la qual sigui la generació d'energia, així com la fabricació de productes materials, però que utilitzi residus com a combustible habitual o complementari, o en la qual els residus rebin un tractament tèrmic per a la seva eliminació. Quan aquesta incineració té lloc de forma que el principal propòsit de la instal·lació sigui el tractament tèrmic dels residus, llavors es considerarà directament instal·lació d'incineració.

La Directiva té l'objectiu de prevenir o reduir, tant com sigui possible, els efectes negatius sobre el medi causats per la incineració o la co-incineració de residus, especialment a l'aire, sòl, les aigües superficials i subterrànies, i per tant, reduir els riscos per la salut. Per aquest motiu fixa les condicions operacionals, els requisits tècnics i els valors límits d'emissions de les plantes de la UE. Es marquen límits d'emissió per NO_x, SO₂, HCl, HF, metalls, pesants, dioxines i furans. La majoria dels tipus d'instal·lacions d'incineració entren en l'àmbit d'aplicació de la Directiva tot i que hi ha algunes excepcions com per exemple, les que tracten exclusivament biomassa (residus vegetals i forestals) o les plantes experimentals amb una capacitat limitada, usades per a la investigació en la millora i desenvolupament de processos.

Aquesta Directiva també marca unes condicions per considerar quan es produeix la valorització energètica. Per fer-ho, utilitza una fórmula matemàtica que permet determinar quan és normativament acceptable cremar residus per a l'obtenció d'energia. El resultat d'aquesta fórmula ha de superar el 60%. Però quan es calcula el balanç energètic del procés es dona un valor 2,6 cops major a l'energia produïda pel sistema que a l'energia necessària per garantir-ne el seu funcionament, forçant l'obtenció de balanços positius que emmascaren la realitat [6].

Per altra banda, la llei 16/2002 de Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica obliga a les empreses cimenteres a sotmetre's al procediment d'Autorització Ambiental Integral (AAI). Però són diverses les empreses que, per motius de rendibilitat econòmica, aprofiten l'expedient de l'AAI per sol·licitar la substitució de combustible tradicional per la incineració de neumàtics, plàstics i altres residus com llots de depuradores, vernissos, olis o dissolvents (fins i tot de farines càrniques) la combustió dels quals genera substàncies tòxiques i perilloses per a la salut, metalls pesats com el mercuri, i contaminants orgànics persistents com les dioxines i els furans que es formen a partir de la combustió de l'1% del clor contingut en els neumàtics.

Moltes comunitats autònomes han autoritzat projectes en aquesta via, tot i que aquestes autoritzacions vulneren, fins a fer-lo inviable, el Principi de Precaució [7].

Incineració convencional

La **incineració convencional** és una combustió en presència d'oxigen en quantitats suficients per a què es produeixi una "combustió completa"¹. El carboni contingut en la matèria orgànica es transforma en diòxid de carboni (CO₂) i aigua (H₂O), que són compostos estables.

Durant el procés es desprèn calor degut a l'oxidació ràpida de la matèria orgànica. Generalment el grau d'heterogeneïtat del residu d'entrada és elevat i per tant, el calor després variarà en funció de la seva composició.

La incineració amb recuperació energètica aprofita el calor contingut en els materials per a la generació de vapor i/o electricitat. Molt sovint, bona part de l'energia generada s'inverteix en el propi funcionament del forn.

Durant el procés es generen també cendres volàtils altament tòxiques, cendres de fons que han de ser inertitzades i dipositades en abocadors especials (2 a 4% del residu incinerat), i partícules i fums que són alliberats a l'atmosfera. Un dels grans inconvenients d'aquest efluent és que es generen gasos extremadament tòxics com les dioxines i els furans, així com gasos àcids com el clorur d'hidrogen (HCl) o el sulfur d'hidrogen (H₂S), causants de la pluja àcida, que posteriorment hauran de ser depurats.

La generació de nanopartícules i partícules ultrafines és també un factor negatiu important. Els estudis han demostrat que aquestes partícules són més tòxiques

¹ En moltes ocasions, no obstant, aquest procés no s'acaba de produir generant una combustió *incompleta*, incrementant la quantitat de productes nocius pel medi i les persones.

que les de major diàmetre degut a l'elevat ràtio superfície/massa de què disposen, que influeix en la seva toxicitat en el sistema respiratori, així com en una major eficiència en la seva disposició en la regió alveolar [8].

Les escòries (ceràmiques, terres, vidre, objectes metàl·lics, etc.) estan formades principalment per òxids metàl·lics i silicats i quantitats inferiors de carbonats, clorurs i sulfats, alumini, calci, sodi i ferro. Generalment es refreden amb aigua i s'extrauen del fosal de descàrrega mitjançant cintes transportadores. La fracció metàl·lica fèrrica s'extrau a banda i se sotmet a recuperació.

Des d'un punt de vista tècnic, els paràmetres bàsics que s'han de controlar per a un bon funcionament dels sistemes d'incineració, suposant que el disseny hagi estat l'adequat, són la temperatura, el temps de residència de les matèries al forn i la turbulència generada. La mala regulació d'un d'aquests paràmetres pot generar condicions inadequades de funcionament provocant l'aparició de compostos com el monòxid de carboni (CO), partícules no combustionades i productes incomplets de la combustió [9] que incrementen els problemes de contaminació.

A nivell general són susceptibles de ser incinerats aquells materials amb un PCI (Poder Calorífic Inferior) suficient per a què la combustió sigui autosostinguda. Quan això no passa, s'ha d'afegir un combustible addicional. Les plantes operen a unes condicions de funcionament mínimes de: 850°C de temperatura, 2 segons de residència al forn i presència d'un mínim del 6% d'oxigen en excés.

És important també controlar el contingut d'humitat del material d'entrada. Alts percentatges d'humitat dificulten la combustió. En ocasions s'utilitzen combustibles convencionals per assecar el material.

Generalment, en les incineradores de petita capacitat, s'ha d'incorporar combustible addicional, que pot ser habitualment fuel-oil o propà, tot i que també pot utilitzar-se Gas Natural.

En els incineradors convencionals es generen cendres altament tòxiques que han de ser dipositades en abocadors especials. La composició d'aquestes cendres, així com el seu contingut, condiona les temperatures d'operació a causa dels problemes que puguin derivar-se de la seva fusió i de la formació d'escòries [5].

Els fums generats poden ser també contaminants. Poden contenir partícules d'òxids metàl·lics i clorurs metàl·lics (procedents de taps, xapes, llaunes i altres envasos), monòxid de carboni (CO), òxids de sofre (SO₂ i SO₃) o de nitrogen (NO, NO₂ i en menor proporció, N₂O), halurs, compostos orgànics volàtils, substàncies orgàniques amb clor, etc. Poden arribar a volatilitzar-se sense arribar a cremar, productes continguts en els residus o generats durant la combustió, com pesticides o líquids volàtils, que poden ser tòxics si s'escapen per la xemeneia [10]. Per això és necessari instal·lar sistemes altament eficaços i costosos de depuració de gasos. En algunes ocasions, aquests sistemes poden arribar a suposar entre un 30 i un 50% del cost total d'inversió, o fins a més de la meitat del cost total de la planta. Paradoxalment, la proporció de cendres que queda després d'un procés d'incineració, i per tant, la reducció dels residus a destinar a abocador depèn dels filtres. Com més eficients siguin aquests, més cendres quedaran i més tòxiques podran ser.

En el cas del mercuri, els incineradors moderns usen filtres de carbó actiu per a la seva eliminació del corrent residual. No obstant, el carbó acaba formant part de les cendres volants, que molt sovint són reintroduïdes al forn per aprofitar al

màxim el seu poder calorífic. Per tant, el mercuri és reintroduït de nou al procés incrementant les possibilitats que acabi essent emès a l'atmosfera [11].

El mercuri i els seus derivats són substàncies altament tòxiques, especialment pel sistema nerviós. La toxicitat per humans i altres organismes depèn de la forma química de l'exposició, la quantitat, la via i la vulnerabilitat de la persona exposada. Una de les formes més perilloses és el metilmercuri que pot generar-se per activitat microbiana un cop s'ha dipositat, el mercuri elemental, al sòl o l'aigua. Aquest compost té la propietat de bioacumular-se i biomagnificar-se, especialment en medis hídrics. És un neurotòxic d'efectes importants especialment en dones embarassades [12].

Les dioxines i els furans² produïts pel funcionament de les incineradores són difícils de tractar i altament perjudicials per la salut en acumular-se al greix humà i animal. Nombrosos estudis han demostrat la relació causal entre els processos d'incineració i l'emissió de dioxines i furans [13]. Però, tot i que tradicionalment l'eliminació d'aquests compostos es focalitza en la neteja dels gasos, no només s'alliberen dioxines a partir de les emissions, sinó que també se'n troben en els residus sòlids, en els efluents líquids del depurador i en el residu resultant dels filtres que s'usen per eliminar les dioxines de l'aire, fent que qualsevol tipus de control sobre la seva emissió es converteixi en ineficient si no s'analitzen tots els fluxos de sortida del procés. Aquest fet és degut a què els sistemes de depuració de gasos en realitat capturen i concentren els contaminants i els traspassen a altres fluxos residuals com els llots del depurador o el filtre de mànigues, que després han de ser tractats com a residus perillosos[14].

A més a més, les anàlisis de continguts de dioxines i furans en els corrents gasosos de sortida de les xemeneies són altament costosos i difícils de realitzar. Com a conseqüència, fins al moment, les dades recollides de les emissions en les instal·lacions d'incineració recollen fotografies instantànies d'aquestes emissions, no en continu, i per tant, les dades publicades en aquest sentit, s'han d'interpretar sota aquesta òptica.

Tot i ser cert que els sistemes de depuració de gasos han millorat molt en els darrers anys i, que en la fase de disseny poden arribar a reduir notablement la quantitat de substàncies tòxiques i nocives que seran alliberades a l'atmosfera, l'alta dependència d'aquestes instal·lacions d'unes condicions de funcionament adequades al material d'entrada³, fa que en la majoria dels casos, mals funcionaments disminueixin significativament l'eficàcia d'aquests sistemes, produint nivells de contaminació que suposen un risc massa elevat per a les poblacions i el medi.

² Famílies de compostos aromàtics clorats tricíclics. Es diferencien en el nombre d'àtoms d'oxigen de la molècula; mentre els furans només en tenen un, les dioxines en tenen dos.

³ Segons Jiménez, S. i Morilla, A.Ll. a *La incineración como tratamiento aplicable a diferentes residuos* "...el proyecto d'una planta incineradora es fa sempre per un material d'unes característiques físiques, químiques i energètiques (poder calorífic) predefinides, doncs el seu funcionament és molt rígid en relació a la composició del residu alimentat i té poca flexibilitat per adaptar-se a variacions que pugui experimentar."

Piròlisi

La **piròlisi** consisteix en un procés de descomposició tèrmica de compostos orgànics sense l'aportació de comburent exterior sigui aire, aire enriquit amb oxigen o algun altre. El sòlid original es descomposa en una barreja de residu sòlid carbonós, olis pirolítics i gas combustible. Com que l'aport tèrmic inicial ha de provenir del propi material que es vol incinerar, això condiciona enormement el seu contingut d'humitat d'entrada.

El procés es desenvolupa a temperatures entre els 400 i els 800°C. En funció de les condicions d'operació (temperatura, temps d'exposició dels residus i composició del material d'entrada, principalment) es generaran productes diferents.

Quan el temps d'exposició és curt (generalment a temperatures elevades) el procés genera altes concentracions de determinats gasos àcids (com el HCl i el H₂S, als quals s'ha d'afegir calç per neutralitzar-los), formaldehid, fenol, furans, etc. i en menor concentració benzè, benzopirè i altres materials tòxics i cancerígens.

En el rang alt de temperatures es genera un gas de síntesis de baix poder calorífic, que pot ser cremat igualment per a l'obtenció, tot i que poc eficient, de vapor o electricitat. En el rang inferior es produeixen olis, quitrans, metà i altres hidrocarburs de cadena més llarga.

Els gasos i vapors que surten del reactor (a temperatura d'uns 500°C) són condensats i separats en fases per refredament. Els olis pirolítics es condensen i s'usen per produir electricitat. Els incondensables van a una caldera de recuperació on es valoritza l'energia calorífica continguda.

Aquesta tecnologia és altament dependent de les condicions de partida del material, que ha de ser molt homogeni i amb un contingut d'humitat inferior al 10%. Així doncs, la matèria primera requereix processos de tractament previ com la trituració, l'assecatge o altres.

A més a més, el procés global és endotèrmic i per tant, requereix l'aportació de calor exterior. Per això una part important de l'energia que es produeix durant la piròlisi s'ha de reinvertir en el propi procés, disminuint-ne l'eficiència energètica total significativament.

Finalment, les quantitats de coc produïdes han de ser sotmeses a incineració per a la seva eliminació. Per tant, la piròlisi per si sola no té sentit com a tractament finalista sinó que ha d'anar combinat amb altres processos de gasificació o incineració.

Gasificació

El procés de **gasificació** consisteix en la conversió de la matèria orgànica en un gas de síntesi, de baix o moderat poder calorífic, que pot ser cremat per a l'obtenció d'energia. Durant el procés es limita la quantitat d'oxigen a un 25-30% del necessari per aconseguir l'oxidació completa. La temperatura d'operació està entre els 650°C i 1.100°C, i s'utilitza aire, oxigen, vapor d'aigua o H₂ com agents gasificants.

S'obtenen també altres productes com el metanol, l'etilè o l'amoniac. Els gasos resultants són una barreja de CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₂, C₂H₆, en proporcions variables, amb unes condicions de combustibilitat que en permet la crema per a l'obtenció d'energia, en forma de vapor, aigua calenta o electricitat.

El procés actualment requereix que el material d'entrada tingui una alta homogeneïtat i uns continguts d'impropis limitats. En funció d'aquests paràmetres, el procés es realitza en una sola etapa (gasificació) o en dues (piròlisi i gasificació), cosa que afegeix complexitat al procés i sobretot, incrementa la necessitat d'establir etapes prèvies de pre-tractament (tritació, assecatge, separació magnètica, per corrents de Foucault, cribatge i tamisat). Per cada tipologia de combustible residual cal dissenyar el procés adequat de gasificació^[15].

Tot i que la gasificació per si sola és exotèrmica, el procés global (piròlisi + gasificació) és endotèrmic, és a dir, que necessita l'aportació extra d'energia. Aquesta pot provenir del propi residu, però en molts casos prové d'una font externa.

La piròlisi prèvia a la gasificació es realitza en absència d'aire o oxigen i a unes temperatures d'uns 500°C, mitjançant l'aport de calor exterior. El residu ric en carboni que entra a piròlisi es converteix en una fracció gasosa (gas més vapor) i una fracció sòlida en forma de coc de carboni, metalls i minerals. La manca o restricció d'oxigen provoca que apareguin espècies més inestables com el CO, l'H₂ o el CH₄ i altres molècules petites com el C₂H₆ o el CH₃OH, per tant, el residu resultant s'enriqueix en carboni ^[10].

La fracció volàtil es duu a gasificació amb aire atmosfèric o enriquit amb oxigen pur, mentre que la fracció sòlida es refreda i es duu a un segon pre-tractament per procedir posteriorment a la vitrificació⁴ o smelter ^[10].

Al vitrificador, els materials operen a temperatures superiors als 1.200°C que s'aconsegueixen autotèrmicament per l'oxidació parcial del coc, addicionant aire o aire enriquit amb oxigen pur. La fracció volàtil produïda es torna a gasificar obtenint una nova porció de gas de síntesi. Alguns dels residus inorgànics resultants poden ser recuperats i utilitzats en la construcció ^[10].

Els gasos obtinguts durant la gasificació són una combinació de gasos combustibles (rics en CO i CH₄) i no combustibles, aigua, pols, compostos de sulfur i compostos de nitrogen. Aquests constitueixen fraccions indesitjables perquè generen condensats corrosius i contaminants en els gasos alliberats com els NO_x, principals causants de la pluja àcida^[16].

En funció de l'agent oxidant utilitzat el gas resultant té un poder calorífic diferent. Si és aire, el *gas pobre*, com s'anomena al producte gasós resultant, té un poder calorífic que no supera el 25% del del gas natural. Si és oxigen o aire enriquit, la manca o limitació de nitrogen incrementa el poder calorífic del producte resultant, el *gas de síntesi*, fins a un màxim d'un 40% del gas natural. En tot cas, aquest gas es pot cremar per generar vapor o electricitat, i per tant, aconseguir una certa recuperació energètica.

⁴ La vitrificació consisteix en inserir el contaminant, essencialment de naturalesa inorgànica, en la xarxa atòmica d'un silicat amorf, per lo general complex. Si el procés està ben fet, el contaminant, no podrà sortir de la matriu: ni per impacte mecànic (abració), ni per agressió química (lixiviació). Elias, X. (2009) Ecosessions. Jornades ECOCITY a Ecomed Polluted.

Un dels paràmetres crítics és l'evolució de la temperatura amb el temps. En funció de la major o menor velocitat a la què incrementa la temperatura, les espècies formades podran variar, i això influirà en les condicions amb què s'haurà de dur a terme la depuració dels gasos.

Des d'un punt de vista enginyeril, la incineració convencional es considera un tractament finalista, mentre que la gasificació i la piròlisi no, perquè han d'anar combinats amb altres processos de combustió per a l'eliminació total dels residus. No obstant, a efectes pràctics, el resultat acaba essent el mateix i aquesta afirmació no deixa de tenir un punt de demagògia, perquè es miri com es miri, el tractament que es fa dels residus no deixa de prioritzar l'opció finalista.

Tanmateix en els darrers anys s'han realitzat nombrosos esforços en la promoció d'aquesta tecnologia, però a l'actualitat poques plantes operen de forma contínua i competitiva en el mercat. Les principals dificultats es troben molts cops en la definició i propietats dels combustibles utilitzats, i en la natura complexa i tecnificada de la pròpia reacció [10].

Els processos operats en les plantes de gasificació no difereixen massa dels de les incineradores convencionals, per tant acaben generant problemes de contaminació, especialment emissions, similars en ambdós casos. En aquest sentit, les regulacions d'agències del medi ambient com la EPA (Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units) demanen el compliment dels mateixos requisits per ambdós tipus d'instal·lacions.

Piròlisis per plasma

Finalment la tecnologia de **plasma** tracta d'aconseguir temperatures més altes a l'interior del forn per produir una descomposició total de la matèria. Les grans temperatures s'aconsegueixen mitjançant la producció d'un plasma, és a dir ionitzant un gas transportador com ara el nitrogen, l'aire, el vapor o fins i tot, un gas inert com l'argó, aplicant uns electrodes que generin un corrent elèctric. El plasma, que és el quart estat de la matèria, té la propietat de ser conductor i per tant, permetre aquest fluxe de corrent que finalment, alliberarà grans quantitats de calor.

En funció del gas transportador utilitzat, a l'interior del forn s'aconseguiran atmosferes reductores com les de la piròlisi o oxidants, com les de les incineradores convencionals, que donaran lloc a reaccions diferents amb productes resultants diferents.

S'assoleixen unes temperatures de fins a 14.000°C, que provoquen la dissociació molecular de qualsevol tipus de residu, orgànic o inorgànic, destruint els compostos tòxics. S'utilitza habitualment per a residus tòxics i perillosos amb tractaments substitutius molt cars. El resultat és un material vitrificat amb metalls i un gas combustible de poder calorífic considerable, que conté CO, H₂ i nitrogen, clor i sofre.

La massa vitrificant, segons molts fabricants, pot utilitzar-se com a material de la construcció o com a material agregat per a diferents aplicacions, però actualment encara no és un producte amb capacitat de ser comercialitzat.

Els seus promotors consideren aquesta tècnica totalment "ecològica" perquè genera gas de síntesis - com en el procés de gasificació - que pot cremar-se per

obtenir energia provocant, segons aquests, un balanç energètic favorable; no produeix gasos tòxics com les dioxines o els furans; limita considerablement la formació de gasos àcids; i elimina tot tipus de fums, cendres i altres subproductes [17]. Els compostos inorgànics presents (cristalls, metalls, metalls pesants, etc.) formen una mena de lava volcànica que es refreda generant un basalt inert, no lixiviable i amb una estructura cristal·lina on queden atrapats i per tant, neutralitzats i inertitzats tots els compostos tòxics (cadmi, plom, mercuri, arsènic, etc.). Abans del seu refredament els components metàl·lics poden ser recuperats quasi totalment (un 92-98%) i comercialitzats. La lava pot també comercialitzar-se com a subbase per carreteres, formigó, aïllants, totxanes decoratives, etc.

Malgrat tot, cal considerar que aquesta tecnologia és molt sensible a les disfuncions del sistema. Els problemes incrementen quan passem de la petita escala pilot a l'escala de planta industrial comercial. Mantenir la flama encesa 24 hores al dia amb el residu a altes temperatures desgasta l'aïllament del forn i el manté sotmès a constants reparacions [6]. A més a més, els costos d'explotació i construcció són força elevats.

Un dels inconvenients més importants, i que contribueix significativament al fet que aquestes tecnologies no siguin encara competitives a nivell comercial, és que requereixen d'una gran quantitat d'energia per alimentar la torxa. En contra del què diuen els seus fabricants, el balanç energètic resultant és desfavorable en comparació a un incinerador de massa convencional, encara que es consideri la capacitat del gas de síntesi de produir energia.

En certs sectors s'argumenta que la tecnologia d'arc de plasma no consisteix en una tecnologia d'incineració. No obstant, i obviant l'evidència que la Directiva sobre incineració la considera explícitament dins la definició d'instal·lacions d'incineració, hem de tenir present que es tracta d'una conversió tèrmica o un procés d'oxidació d'un residu orgànic a un gas, amb la generació d'una fracció residual sòlida, modificada o no combustionada, i una de gasosa que al final tornaran a ser dipositades i/o alliberades al medi, i que per tant, requereixen una gestió i/o tractament previ⁵.

Depuració de gasos

Els processos de tractament tèrmic requereixen la instal·lació de sistemes de depuració de la fracció residual gas que es genera. Aquests sistemes de control i tractament, acostumen a representar una fracció força elevada del cost de construcció de les instal·lacions.

En els processos de combustió de matèria orgànica es poden produir els següent compostos:

- Gasos com el diòxid de carboni, el vapor d'aigua, el nitrogen i l'oxigen no utilitzat a la combustió. Quan s'addiciona aire atmosfèric al reactor, també es poden produir diòxid de nitrogen i altres compostos contaminants.
- Partícules i nanopartícules de pols amb una concentració entre 5 a 10 g/Nm³ abans de ser depurades. També partícules ultrafines de menys d'una micra de diàmetre. Estan constituïdes principalment per sals

⁵ Paradoxalment, en les tecnologies d'arc de plasma els fums tòxics es netegen abans de ser cremats.

minerals o metàl·liques, i en ocasions per partícules no combustionades.

- Gasos procedents de la composició dels residus incinerats, principalment clor, clorur d'hidrogen (HCl), òxids de sofre (SO_x), nitrogen i compostos del nitrogen i compostos orgànics no combustionats. Poden generar-se també dioxines i furans.

Als anys 70s, amb la primera generació d'incineradors, els sistemes habitualment utilitzats per a la depuració de gasos eren els filtres electroestàtics i les torres de rentat, que no eliminaven completament la toxicitat i perillositat dels fums generats.

Posteriorment, a finals dels 80s, apareix la segona generació d'incineradores que incorporen altres processos com el rentat en sec; rentat semisec; i rentat per via humida, que disminueixen significativament l'emissió de contaminants a l'atmosfera. Les partícules en suspensió que hi ha als fums són recollides mitjançant filtres i altres sistemes segons el tipus de forn, i es complementa amb ciclons, precipitadors electroestàtics, filtres de mànega o filtres ceràmics.

Els metalls pesants apareguts en els fums, com el cadmi, el mercuri o l'arsènic, requereixen de tècniques addicionals, que seran instal·lades. En canvi, no s'incorporen equips específics per destruir o retenir el monòxid de carboni i altres substàncies orgàniques, que aniran apareixent en funció del comportament de la combustió.

Per a les tècniques de gasificació, piròlisi i plasma no s'instal·len sistemes de control i tractament per dioxines o furans, perquè es considera que l'atmosfera generada a l'interior del reactor, una atmosfera reductora en absència d'oxigen, n'evita la formació. En cas que es generin, s'ha de suposar que les altes temperatures assolides les destruirà.

El sistema de tractament de gasos pot incorporar al final del procés un filtre de carbó actiu per si fallés alguna de les etapes prèvies.

Finalment doncs, els sistemes de control i tractament de gasos aplicats actualment assoleixen uns nivells d'eliminació de la contaminació continguda en els fums, que fan considerar als defensors de la incineració les tecnologies de tractament tèrmic com a "tecnologies sostenibles".

No obstant, hi ha nombrosos casos d'exemple de plantes amb problemes de funcionament que finalment han hagut de tancar per problemes de contaminació, amb unes pèrdues econòmiques considerables [18].

Alguns estudis demostren que la generació de dioxines i furans continua produint-se tot i les noves tecnologies⁶. En molts casos es demostra com tot i la suposada inoqüïtat dels corrents residuals de sortida, en realitat aquestes noves instal·lacions no estan exemptes de la seva generació [13].

⁶ Alguns referents:

- Behaviour of PCDD/F under pyrolysis conditions. *Mohr, K.; Nonn, Ch.; y Jager, J.* (1997) *Chemosphere* Núm. 34, pàgs. 1053-1064
- Formation characteristics of PCDD and PCDF during pyrolysis processes. *Weber, R., Sakurai, T.* (2001) *Chemosphere* Núm. 45, pàgs. 1111-1117

A més a més, encara que funcionin en condicions de no oxigen, els residus que entren, entren carregats d'aire i les dioxines s'acaben produint en altres parts de la instal·lació.

En altres ocasions, algunes de les partícules de tamany molt reduït, com les ultrapartícules, no poden ser captades per molts dels equips de depuració de gasos més moderns⁷. En aquestes condicions, són alliberades a l'atmosfera i acaben viatjant a llargues distàncies restant en suspensió durant períodes prolongats de temps. Quan surten de la incineradora aquestes partícules poden estar rodejades de metalls tòxics i compostos orgànics que incrementen els problemes de salut.

Les dioxines i els furans tenen la propietat d'acumular-se al greix animal i al greix del cos humà. L'home generalment no té la capacitat d'expulsar-les; la dona en canvi, sí, i ho fa a través de la seva descendència. Les dioxines de la mare, acumulades durant 20 o 30 anys als seus greixos, van a parar majoritàriament al fetus, interferint amb el seu desenvolupament, provocant disfuncions o destruint els sistemes hormonals (hormones sexuals, tiroides, insulina i altres)⁸.

Per la seva banda, les nanopartícules són partícules tan petites que poden travessar fàcilment la membrana dels pulmons i erosionar-los per assolir el torrent sanguini. Als pulmons poden provocar un estrès oxidatiu que n'alteri la química cel·lular, causant-ne la inflamació i desencadenant una allau de problemes de salut.

Al torrent sanguini poden provocar respostes immunes i augmentar la viscositat de la sang, incrementant el risc d'atacs cardíacs i infarts. Un cop aquí poden atravesar la membrana de qualsevol teixit [⁶].

Concha Zorrilla, coautora de l'estudi monogràfic del 2009 realitzat pel Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya sobre la Gestió de Residus justifica que les noves incineradores avui dia no presenten riscos de contaminació: "la incineración, que hoy ya no presenta riesgos contaminantes como en el pasado (los filtros eliminan la emisión de toxinas) y, además, puede ser fuente de generación de energía"⁹.

Conclusions

Les barreres d'aquestes noves tecnologies són moltes. L'alta sensibilitat a la variació de paràmetres crítics com la humitat i la qualitat del material d'entrada, la quantitat d'oxigen present al reactor, el tipus d'agent comburent, la velocitat a la què incrementa la temperatura, etc. fa que siguin necessaris sistemes de control i tractament de les fraccions residuals molt estrictes. De no ser-hi, el mal

⁷ Els filtres de mànega usats habitualment normalment atrapen només les nanopartícules de major diàmetre, permetent escapar al 70-95% de les partícules més perjudicials.

⁸ Per a més informació es pot consultar *El Nostre Futur Robot* (1994) Colborn, T.; Peterson, J.; Dumanoski, D. o l'argumentari de *Developmental Effects of Dioxins, Environmental health Perspectives* (1995) Birnbaum, L. Health Effects Research Laboratory, US EPA. Núm. 103: 89-94.

⁹ El País, 4 de març de 2009. Per a més informació es pot consultar la pàgina web oficial del Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya:
http://www.eic.cat/wps/portal/Portal/Informar-se/Banc_de_recursos/Publicacions/Monogràfic/.

manteniment provoca un mal funcionament del sistema, generant explícitament els fenòmens de contaminació que sobre el paper, la nova generació d'incineradores es diu que ha aconseguit superar.

És un eufemisme dir que els contaminants que entren a procés junt al residu que ha de ser incinerat són "eliminats", perquè tot allò que entra al procés n'ha de sortir, en una forma o una altre; el que es fa si de cas, és desplaçar-lo a un altre medi. Per això, abans de realitzar cap procés s'ha d'analitzar molt bé el material de partida, per conèixer-ne la composició i el comportament quan se'l sotmet a determinades temperatures. En tot moment s'ha de saber on van a parar les substàncies contaminants o potencialment contaminants que es generen i circulen pel procés, per saber quin tipus de mecanismes de control i d'eliminació de la contaminació s'han d'utilitzar.

A més a més, la incineració en totes les seves formes, modernes o tradicionals, genera cendres volants tòxiques en proporcions prou significatives. El seu tractament o gestió és diferent en funció de cada país, però generalment sempre acaba demandant una disposició final en abocador especial. Per tant, l'abocament zero, usat com a excusa per justificar la necessitat d'instal·lació de plantes d'incineració, no és una opció viable considerant aquestes tecnologies com a base del sistema de gestió dels residus.

Per altra banda, els nous sistemes continuen generant emissions tòxiques a l'atmosfera. Es genera diòxid de carboni, vapor d'aigua i gasos àcids, però també dioxines i furans, tot i que en les referències tècniques modernes sobre la incineració generalment s'omet aquest fet. També es generen nanopartícules, i partícules ultrafines, que superen tots els sistemes de seguretat, escapen a tots els filtres i acaben essent emeses a l'atmosfera. Per això es requereix de sistemes molt eficients i massa estrictes de depuració de gasos, que molt sovint acaben no complint el seu objectiu.

La manca de legislació específica per aquests compostos, les nanopartícules, fa que instal·lacions com les incineradores basin la seva innocuïtat en el fet que compleixen estrictament la legislació, tot i no ser conscients dels problemes de salut que es poden estar generant, i pels quals no s'han establert límits d'emissió/immissió. La major part de la legislació desenvolupada a nivell de límits d'emissió, abocament, etc. per qualsevol tipus d'instal·lació es basa en la identificació d'uns límits tècnics, obviant que no tenen perquè coincidir amb els límits de tolerància des del punt de vista toxicològic [19]. La perillositat d'aquestes substàncies es basa en què la ingesta o la respiració de quantitats petites al llarg del temps pot acabar tenint efectes molt perjudicials per la salut humana, i és en aquest sentit, que la toxicologia ambiental ens demana basar el centre del debat previ a la presa de decisions en el Principi de Precaució.

Per altra banda, la suposada capacitat d'aquestes noves tecnologies de generar balanços energètics positius desapareix quan analitzem les entrades i sortides d'energia de tot el sistema. El balanç energètic dels processos d'incineració s'ha de calcular tenint en compte l'energia utilitzada durant l'extracció, processament, fabricació i transport dels productes que representaven durant la seva vida útil.

Des d'aquesta perspectiva, la comparativa entre la incineració, el reciclatge i la reutilització és desfavorable a la primera; la incineració és un malbaratament d'energia perquè l'energia recuperada és una fracció molt petita de l'energia invertida en la seva producció.

Reciclar els productes pot evitar la despesa energètica de noves extraccions, transport i processament. Reutilitzar, a més a més, elimina la necessitat de

tornar-los a fabricar [20]. Per contra, la incineració desincentiva el reciclatge i la reutilització i no impedeix la necessitat d'extracció de noves matèries primeres del sòl.

Alguns exemples¹⁰:

- L'energia estalviada al reciclar paper mixt enlloc d'incinerar-lo és de 9,49 GJ/Tn mentre que la seva incineració només produeix 2,25 GJ/Tn. Això significa una recuperació energètica de 4,2 vegades més per a reciclar que no incinerar.
- En el cas dels plàstics HDPE, reciclar estalvia 64,27 GJ/Tn, mentre que incinerar només produeix 6,30 GJ/Tn. Això significa una recuperació energètica 10,2 vegades major.
- Pel PET, el reciclatge estalvia 85,16 GJ/Tn, mentre la incineració produeix 3,22 GJ/Tn. Això significa una recuperació energètica de 26,4 vegades més.
- Per altres tipus de plàstic, reciclar estalvia 52,09 GJ/Tn mentre que incinerant només es produeixen 4,76 GJ/Tn . Això significa una recuperació energètica de 10,9 vegades més.

Els enormes costos d'inversió d'aquestes instal·lacions no compensen la llarga llista de problemes de funcionament de què disposen. Hi ha molts exemples arreu del món de plantes que han hagut de tancar poc temps després de la seva posada en funcionament. En són exemples la planta de Thermoselect a Karlsruhe (Alemanya), un dels incineradors per gasificació de residus sòlids urbans més gran del món, que després de patir continus problemes operatius i pèrdues per valor de més de 400 milions d'euros hagué de tancar al 1004 [14]; o el termovaloritzador de Brescia que ha costat 300 milions d'euros i només ha creat 80 llocs de treball.

Els casos d'Alemanya i Àustria són prou il·lustratiu d'una altra realitat d'aquest tipus d'instal·lacions. Per tal d'alimentar el sobredimensionament al què han estat sotmeses aquestes incineradores es veuen obligades a importar residus d'altres països com Itàlia, deixant de banda que s'estan plantejant cremar plàstic, cartró i altres fraccions amb alt poder calorífic per mantenir la productivitat, sense considerar l'increment de contaminació i efectes per la salut que això pot suposar.

Comparativament amb la creació de llocs de treball en la indústria del reciclatge i el compostatge, la incineració és una indústria que genera molt pocs llocs. Aquestes tecnologies competeixen amb els programes de reciclatge pel mateix finançament i pels mateixos materials, i per tant poden disminuir les oportunitats de generar treball. Per cada 100 llocs de treball que es generen a partir del reciclatge només es perden 10 llocs a la indústria dels residus sòlids i 3 a la forestal[13].

Per aquest i molts d'altres motius exposats en els apartats anteriors, la consideració de la major o menor adequació de les tècniques d'incineració per a la solució dels problemes dels residus s'ha de basar, no només en l'anàlisi de l'evolució de la seva millora tecnològica i el cost ambiental respecte d'altres tècniques finalistes com l'abocament, sinó per comparació amb alternatives vinculades a la prevenció, la reutilització i el reciclatge.

¹⁰ ICF Consulting 2005.

En aquest sentit, la incineració representa un malbaratament de diner públic, un excés de pressió sobre els recursos naturals, un malbaratament d'energia i una pèrdua de l'oportunitat de combatre l'escalfament global^[6].

Quan el Col·legi d'Enginyers Industrials de Barcelona alega en favor de la incineració la seva contribució a la reducció de gasos d'efecte hivernacle i la considera una bona alternativa per fer front al Canvi Climàtic hauria de tenir en compte que incinerar per produir energia elèctrica estalvia 10 kg de gasos d'efecte hivernacle per tona de residu sòlid urbà cremat, mentre que reciclar o compostar n'estalvia fins a 46 vegades més¹¹. Per tant, en realitat la incineració representa una pèrdua de l'oportunitat de combatre l'escalfament global.

És evident que la incineració disposa de defensors i detractors en funció del punt de vista amb què s'ho miri cadascú. No obstant, pensar que la tecnologia pot solucionar tots els problemes de la societat de consum actual és no voler fer front a un problema que amb els anys s'ha anat i s'anirà fent més gran. El tractament dels residus no és un problema tecnològic, sinó d'estratègia, educació, organització i projecció industrial¹².

Estendre i promocionar la instal·lació de tecnologies finalistes per a la gestió dels residus desincentiva completament la prevenció en la seva generació. D'aquesta manera, permet consolidar i institucionalitzar unes pautes productivistes i consumistes que impulsen a la societat a buscar solucions un cop s'ha produït el problema, ben lluny de les directrius sostenibilistes que ens marquen considerar globalment i en origen tots els impactes d'un procés.

La nostra tasca en el segle 21 no és tant trobar la millor forma de destruir els residus que es produeixen sinó com aturar la producció d'envasos i productes que han de ser destruïts a curt termini!.

CEPA-EdC

Gener 2010

¹¹ Waste Management Options and Climate Change, AEA 2001. Slide from Attilio Tornavacca.

¹² El Dr. Paul Connett és el portantveu de l'estratègia Zero Residus i professor emèrit de química a la Universitat de St. Lawrence a Nova York, on ha impartit classes durant més de 17 anys. És graduat en Ciències Naturals per la Universitat de Cambridge i doctor en Química pel Dartmouth College dels Estats Units.

Durant els passats 15 anys ha investigat sobre la gestió dels residus amb especial èmfasi en els perills associats a les incineradores i la recerca d'alternatives disponibles més segures i sostenibles. Ha participat en nombroses conferències internacionals sobre gestió de residus i ha exercit pressió social contra nous projectes d'incineració a diferents països.

Referències

- [1] *La incineració i el futur de les polítiques de gestió de residus*. Diagnosi. La gestió de residus de Catalunya. Varis (2009). Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya.
- [2] Visión global de la valorización energética. Modelos de la Unión Europea. *Zorrilla, C.* (2009) Ecosessions. Jornades ECOCITY a Ecomed Polluted.
- [3] Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Murphy, J.D.; McKeogh, E.* (2004) *Renewable Energy*, Núm. 29 (7). Pàgs. 1043-1057 A Incineración de residuos urbanos en el S. XXI. Solución o problema? *Simon, J.M.* (2009)
- [4] Basura cero para Calentamiento Cero. Declaración de GAIA sobre Basura y Cambio Climático. Disponible a: <http://www.no-burn.org/article.php?id=608>
- [5] Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 5.5: Desechos, Incineración e incineración abierta de desechos. *Guendehou, S.; et al.* Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme, p. 5.5, 2006. Disponible a: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_5_Ch5_IOB.pdf
- [6] Incineración de residuos en el siglo XXI ¿Solución o problema? *Simon, J.M.* (2009) *Residuos*, 113.
- [7] Text extret de la Proposició no de llei, sobre incineració il·legal de neumàtics i altres residus en fàbriques de ciment, per al seu debat a la Comissió de Medi Ambient, Agricultura i Pesca. *Herrera, J.* Secretari General d'Iniciativa per Catalunya Verds (2010).
- [8] Particulate Emissions and Health. Proposed Ringaskiddy Waste-to-Energy Facility. *Howard, V.* (2009).
- [9] La incineración de residuos: ¿es una alternativa? *Baldasano, J.M.* (2000)
- [10] La incineración como tratamiento aplicable a diferentes residuos. *Jiménez, S.; Leló, A.* (1998) Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia. Monografía V: Los residuos y sus riesgos para la salud.
- [11] Arguments against incineration and other thermal destruction processes. *Connett, P.* (2009) Exposició realitzada a Nàpols, el 19 de febrer, dins el 5th Zero Waste Interantional Dialog. Organitzat per GAIA Global Alliance for Incinerator Alternatives.
- [12] Global Mercury Assessment Report. Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC). UNEP Chemicals (2002)
- [13] Formation characteristics of PCDD and PCDF during pyrolysis processes. *Weber, R.; Sakurai, T.* (2001) *Chemosphere*, 45. Pàgs. 1111-1117.
- [14] Pirólisis, gasificación y plasma. Recurs digital-Video. *Emanuel, J.* (Salud Sin Daño [<http://noalaincineracion.org/2009/08/12/video-sobre-pirolisis-gasificacion-y-plasma/#more-1110>])
- [15] Altres processos de valorització energètica. Gasificació. *Cot, A.* (2009) Enginyers Industrials de Catalunya.
- [16] Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Estrada, C.A.; Zapata, A.* (2004) *Scientia et Technica*. Any X, Núm. 25.
- [17] *El plasma aplicado a la valoración, reciclado y aprovechamiento energético de los RSU*. *Bannel, Y.* (1997) *Revista Tecnoambiente*, Núm. 77.

-
- [18] Incineradores disfrazados. Estudios de caso sobre el funcionamiento de las tecnologías de gasificación, pirólisis y plasma en Europa, Asia y Estados Unidos. Greenaction for Health and Environmental Justice; Alianza Global para Alternativas a la Incineración (GAIA). Abril de 2006.
- [19] Una industria que vende humo. 10 razones por las que los incineradores por gasificación, pirólisis y plasma no son "soluciones verdes". GAIA Global Alliance for Incineration Alternatives. Juny, 2009.
- [20] Waste-to-Energy = Waste of Energy. *Tangri, N.* (2008) GAIA Campaigner World Summit for Sustainable Development Special Issue.