

0] Índex

Introducció	pàg. 2
Antecedents	pàg. 2
Objectius	pàg. 4
Identificació del perill	pàg. 5
• Focus emissors: descripció dels cremadors	pàg. 5
• Identificació dels contaminants	pàg. 8
• Ruta del iodur de plata al medi natural	pàg. 10
Avaluació de l'exposició	pàg. 11
• Resultats	pàg. 15
Avaluació de la toxicitat	pàg. 17
• Característiques toxicològiques dels contaminants	pàg. 17
• Concentracions d'immissió de referència	pàg. 21
Conclusions i càlcul dels índexs de perill	pàg. 22
Bibliografia	pàg. 24
Annexos	
• Annex 1: Dades i nomenclatura emprades en l'avaluació de riscos.	
• Annex 2: Imatges, figures i gràfics.	
• Annex 3: Documentació addicional.	

1] Introducció

Teniu a les mans el primer estudi que pretén avaluar, seriosament i des d'una perspectiva exhaustiva, l'impacte ambiental de les emissions de iodur de plata (AgI), producte emmarcat dins del programa per a la lluita contra la pedra que desenvolupa, en exclusiva, l'Agrupació de Defensa Vegetal (a partir d'ara ADV) "Terres de Ponent" en una zona que mostra una superfície superior a les 250.000 Ha, equivalent a més del 10% del territori català (vegeu l'annex 2).

La present avaluació se centra en demostrar que les emissions de iodur de plata provinents dels anomenats "cremadors" o "generadors" poden comportar un risc, potencial i real alhora, per a la salut pública i els ecosistemes. La justificació de l'avaluació de les conseqüències de l'alliberament d'aquest producte a l'entorn rau en què l'entitat responsable de la seva gestió, durant 28 anys d'existència, no ha dut mai a terme una anàlisi ambiental en profunditat de les seves activitats més enllà del seguiment de la concentració de plata metàl·lica en l'aigua de pluja i en sòls, quan en realitat el conjunt de contaminants secundaris associats a la dispersió del iodur de plata va més enllà dels metalls pesants, i abraça tot un seguit de no menys de quatre substàncies addicionals: els vapors de iode, els d'acetona i els seus derivats de combustió incompleta, les partícules en suspensió i les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

Per tot això, i perquè creiem que el nostre deure és omplir un dèficit informatiu i alertar als organismes competents amb responsabilitats civils (Ajuntaments, Diputacions Departaments, etc.) sobre els problemes d'una activitat que, massa sovint, s'ha qualificat d'innòcua o no contaminant de manera precipitada, us demanem que dediqueu una part del vostre temps a la lectura detallada d'aquest estudi, i que en valoreu els resultats de la forma que cregueu més encertada.

2] Antecedents

L'ADV Terres de Ponent basa una part important de la seva lluita contra els efectes de les pedregades en l'ús de la tècnica del iodur de plata que, en el seu vessant més conegut (n'hi ha d'altres de menys oficials, com ara els mitjans aeris), es duu a terme mitjançant els anomenats generadors cetònics de base terrestre model "Vòrtex" (vegeu l'annex 2), que poden ser fixos o mòbils, instal·lats en una cinquantena de municipis de la província de Lleida (vegeu l'annex 2) i, en moltes ocasions, dins del casc urbà mateix, fet que, com es veurà més endavant, incrementa el perill potencial d'aquestes microestructures.

La història del iodur de plata comença als anys quaranta, als laboratoris de la General Electric Company (Nova York), on el químic Irving Langmuir concentra els seus esforços en la producció artificial de pluja, amb la intenció de fertilitzar grans extensions de terrenys desèrtics. És aleshores quan, experimentant amb un núvol de laboratori, s'adona que perquè plougi fa falta o bé una disminució dràstica de la temperatura a l'interior del núvol de tempesta (via tèrmica) o bé la presència de partícules en suspensió al voltant de les quals es puguin formar les gotes de pluja o gel (via col·loidal). L'any 1946 aconsegueix la primera pluja artificial.

La via tèrmica es porta a terme, majoritàriament, injectant diòxid de carboni sòlid (conegut com a gel sec o neu carbònica) a -78°C a la part més alta del núvol de tempesta amb l'ajut d'avions.

La via col·loidal implica augmentar el nombre de partícules sòlides (de diàmetre inferior als 0,0001 mm) per metre cúbic d'aire respecte les partícules de pols naturals,

de manera que s'incrementi la quantitat de nuclis sobre els quals es pugui condensar el vapor d'aigua. Dins d'aquesta segona via és on s'emmarca l'ús del iodur de plata.

Avui dia les coses han fet un gir inesperat. Descartada la via tèrmica pels seus elevats costos, sorprenentment, en les mans exclusives de l'ADV Terres de Ponent, el iodur de plata fa gairebé 30 anys que s'aplica, de forma experimental, amb la intenció de lluitar contra la pedra, no pas per produir pluja. A més, s'ha optat per potenciar les tècniques d'aplicació d'aquest producte més econòmiques i, per tant, menys segures: els cremadors cetònics fixos de base terrestre.

Els defensors d'aquesta tècnica argumenten que no és contaminant, i que la seva acció preventiva contra les pedregades és, estadísticament parlant, eficaç, elevada i exempta d'efectes secundaris indesitjables. Les consideracions que els permeten fer aquesta mena d'afirmacions són, bàsicament, cinc:

- 1- El iodur de plata és altament *insoluble en aigua* i, per tant, és un producte no contaminant.
- 2- Encara que el iodur de plata fos contaminant, les quantitats alliberades al medi són prou baixes com per garantir la seva innocuïtat.
- 3- L'estructura cristal·lina *hexagonal* de les partícules de iodur de plata afavoreix el creixement dels nuclis de gel a la seva superfície, tot aconseguint un increment de la velocitat dels processos de nucleació que conduirà a la disminució de la grandària de la pedra (més pedres, però més petites).
- 4- La tècnica del iodur de plata no pot provocar mai una *disminució de les precipitacions* locals en l'àrea d'aplicació.
- 5- Si l'eficiència del mètode encara no és la desitjable és perquè no hi ha una *xarxa prou estesa de cremadors* i, per tant, cal ampliar-la (en contradicció amb 2).

El Col·lectiu Antiiodur de Plata, en canvi, té formada una opinió molt diferent sobre l'estat d'aquesta qüestió, i els seus arguments són els següents:

- 1- L'Organització Meteorològica Mundial (OMM) no ha reconegut mai oficialment l'eficiència del iodur de plata pel que fa a la modificació artificial del cicle hidrològic, i fins i tot el Butlletí de la Reial Societat Americana de Meteorologia no deixa de publicar, actualment, articles on es constata la poca fiabilitat del mètode (vegeu documentació adjunta a l'annex 3).
- 2- L'ADV Terres de Ponent no ha fet públic ni un sol estudi exhaustiu d'avaluació de l'impacte ambiental de les seves activitats, relatives a l'ús del iodur de plata. El Col·lectiu, en canvi, està elaborant l'esmentat estudi basat en dades de camp sobre els cremadors, i els resultats preliminars indiquen que el iodur de plata no és tan innocu com l'ADV pretén fer creure a l'opinió pública: en condicions atmosfèriques adverses, la dispersió de iodur de plata des dels cremadors pot conduir a la producció d'episodis de contaminació per *partícules en suspensió, metalls pesants i vapor de iode*, altament irritant per a les mucoses i les vies respiratòries. A més, si la combustió que té lloc als cremadors no és completa, cal considerar les emissions addicionals d'acetona i d'altres productes orgànics de combustió incompleta (PCI).
- 3- El iodur de plata és un producte *fotosensible*, és a dir, la radiació solar el descompon a un ritme prou alt, de l'ordre d'un 10% en pes per hora. En aquestes condicions, queda invalidat l'argument de l'acció positiva de l'estructura hexagonal del producte, atès que la descomposició abans esmentada també n'altera l'estructura cristal·lina.
- 4- Les estadístiques elaborades en el període 1976-2000 mostren, sense cap dubte, un *augment sostingut dels dies de pedregada anuals* (vegeu l'annex 2).

- 5- Les elevades temperatures assolides pels cremadors de iodur de plata poden arribar a *descompondre fins a un 15% del producte* abans d'abandonar el cremador.
- 6- Hi ha evidències clares que l'ADV fa servir mitjans aeris, prohibits per llei a Catalunya, per a la sembra de núvols de desenvolupament vertical amb iodur de plata. En aquestes condicions és possible avortar el procés de desenvolupament del núvol sembrat, tot inhibint la precipitació posterior. Només és una qüestió de temps demostrar l'existència dels esmentats *mitjans aeris il·legals*.

Tot i aquestes reserves relatives a la bondat de la tècnica, des de fa gairebé 20 anys, la lluita contra la pedra ha estat declarada obligatòria per la Generalitat de Catalunya, malgrat que la tècnica del iodur de plata, pel que fa referència a la seva suposada activitat modificadora del cicle hidrològic, en fa més de 30 que es considera en fase d'experimentació, com ja s'ha comentat abans. Mentrestant, l'ADV Terres de Ponent continua ampliant el conjunt de cremadors de forma progressiva, argumentant que el iodur de plata és una substància no contaminant i que, per tant, l'expansió de les seves activitats no suposa cap mena d'amenaça per a la salut pública. La nostra opinió va més aviat en sentit contrari; l'objectiu del present estudi és evidenciar els problemes ambientals inherents a la utilització del iodur de plata i, atès els dubtes sobre la seva eficiència, invocar el **principi de precaució** per tal d'aturar la dispersió indiscriminada i incontrolada d'aquest producte pel territori català.

3] Objectius

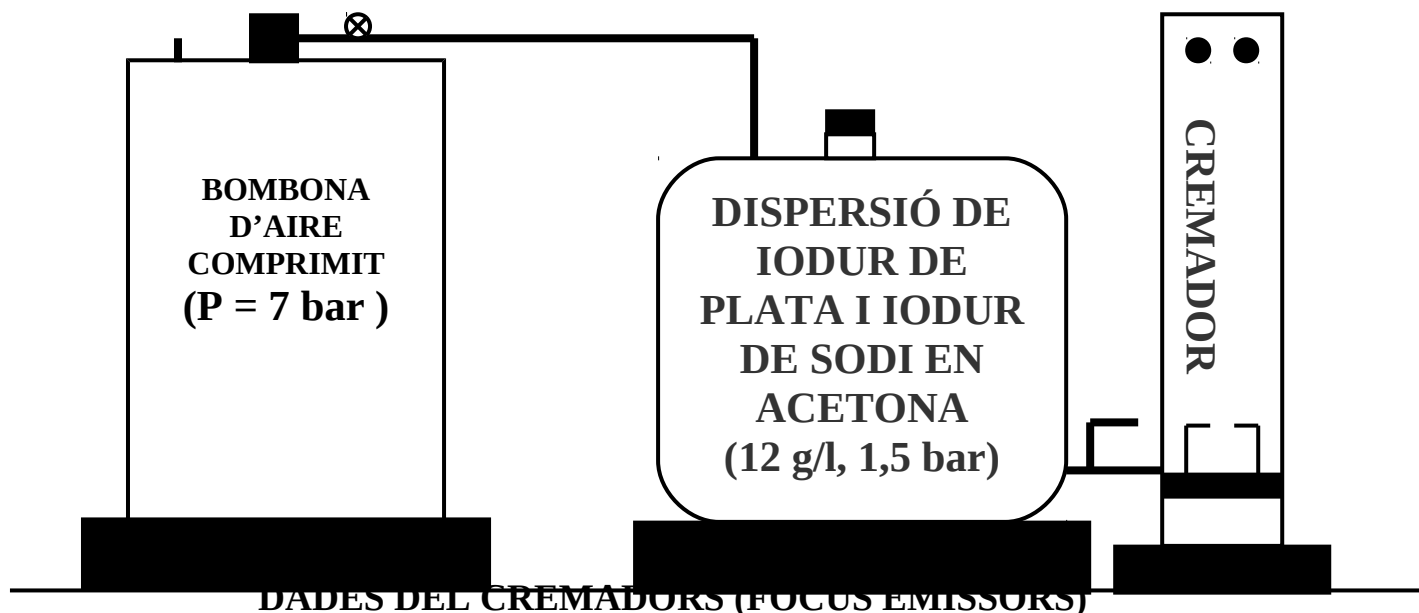
L'estudi que hem dut a terme es basa en els 4 punts que caracteritzen qualsevol avaluació de riscos ambientals que pretengui ser mínimament seriosa, i que venen a definir els eixos vertebradors essencials del treball:

- **Identificació del perill.** Es tracta d'una etapa prèvia en què s'analitzen en detall, per una banda, les característiques bàsiques dels focus emissors, en aquest cas els generadors de iodur de plata, i les propietats fisicoquímiques dels contaminants emesos al medi, tant els primaris com els secundaris, per una altra. Tanmateix, es determinen les concentracions d'emissió dels contaminants.
- **Avaluació de l'exposició.** Constitueix l'etapa més laboriosa, en què l'aplicació de models teòrics (ja que no es disposa de dades de camp experimentals que haurien de ser publicades periòdicament per l'ADV) de predicció del destí dels contaminants ens permet estimar les concentracions d'immissió que s'assoliran quan siguin alliberats al medi.
- **Avaluació de la toxicitat.** Aquesta fase es reserva a la recerca bibliogràfica de textos legals i de caire mèdic que ens han de permetre conèixer tant les concentracions màximes d'immissió (la quantitat que es considera segura pel que fa a la incorporació del contaminant als organismes receptors) com la ruta que segueixen les substàncies una vegada assimilades per l'organisme (quins són els òrgans que, preferentment, es veuen més afectats per l'acció del contaminant). Tanmateix, en aquesta fase també es decideix quina és la principal via d'accés del contaminant a l'organisme: ingestió, inhalació o via dèrmica (a través de la pell).
- **Càlcul dels índexs de perill.** És l'etapa de conclusions, en què es comparen les concentracions de contaminant obtingudes en la fase d'avaluació de l'exposició amb les dades toxicològiques, i es decideix, en base a una escala quantitativa, el grau de perillositat i el nivell de riscos per a població i els ecosistemes.

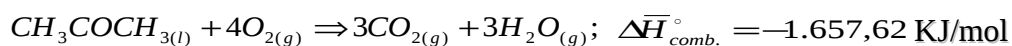
4] Identificació del perill

4.1- Els cremadors cetònics de iodur de plata

Característiques i dimensionat. Model Vòrtex.

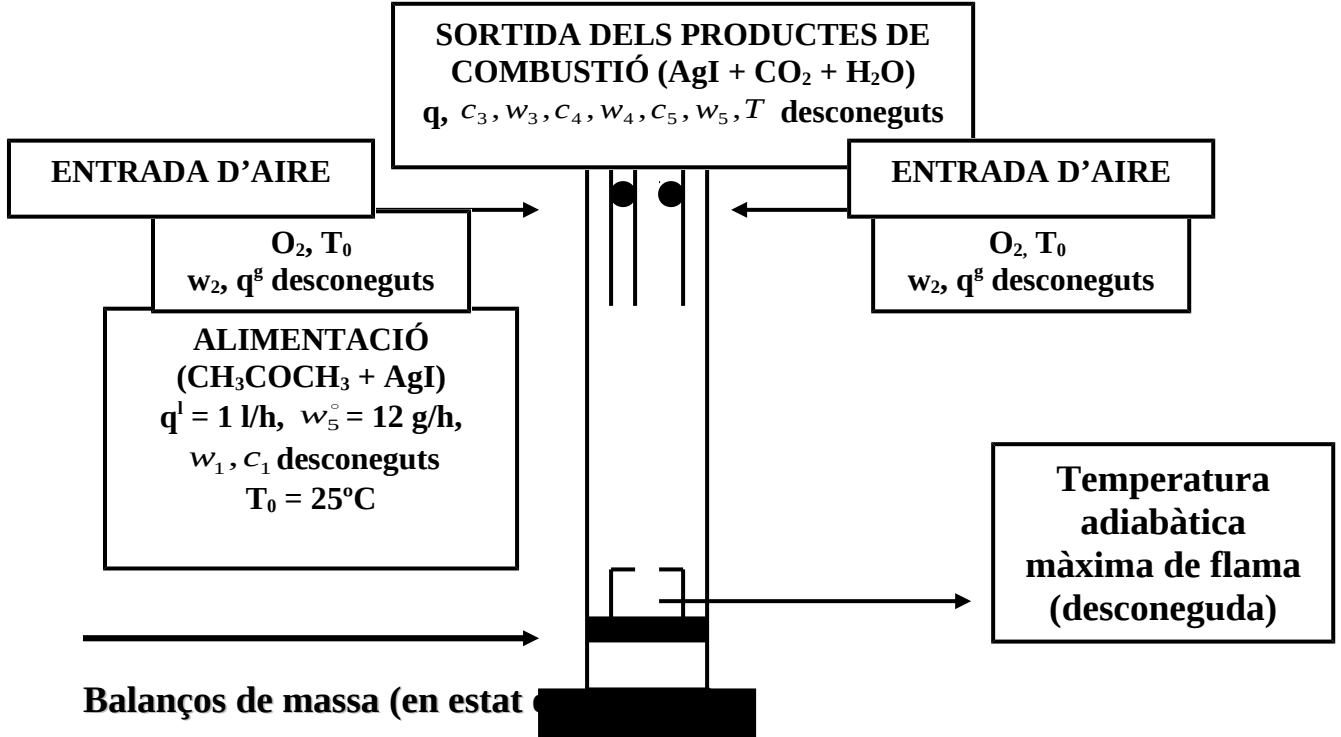


- Alçada: 1,01 m. $Volum = 25,7l = 25,7 \cdot 10^{-3} m^3$
 $A_l (\text{àrealateral}) = 0,57 m^2$; $A_b (\text{àreabase}) = 25,4 \cdot 10^{-3} m^2$
- Secció: 0,18 m.
- Gruix de paret: 1,1 mm.
- Composició: planxa d'acer inoxidable ($\lambda = 46 \frac{W}{m \cdot K}$).
- Consum: 1 l/h de mescla, equivalent a 12 g/h de AgI.
- Radi d'acció teòric: 2.500 m.
- Superfície total coberta: 250.000 ha.
- Nombre de cremadors: 55 (reconeguts oficialment).
- Funcionament: del 15 d'abril al 15 d'octubre, unes 308 h/any de mitjana.
- Espècies químiques involucrades: CH_3COCH_3 (1), O_2 (2), CO_2 (3), H_2O (4) i AgI (5).
- Processos químics:



R = velocitat extensiva de reacció

A partir d'aquestes dades, és possible estimar les característiques de la combustió que té lloc als cremadors, segons l'esquema adjunt, on q expressa cabals volúmics, W cabals màssics i C concentracions.



$$\frac{dn_1}{dt} = w_1 - R = q^l c_1 - R = 0$$

$$\frac{dn_2}{dt} = w_2 - 4R = \frac{q^g}{\bar{V}_2} - 4R = 0; \bar{V}_2 = \frac{RT}{P_2}$$

$$\frac{dn_3}{dt} = 3R - w_3 = 3R - qc_3 = 0$$

$$\frac{dn_4}{dt} = 3R - w_4 = 3R - qc_4 = 0$$

$$\frac{dn_5}{dt} = w_5^o - w_5 = 0 \Rightarrow w_5^o = w_5 \Rightarrow q^l [AgI] = qc_5$$

$$q = (6R + q^l [AgI]) \cdot \frac{RT}{P_T}$$

Balanç d'energia (en estat estacionari):

El balanç d'energia complet hauria d'incloure les següents contribucions, considerant termes advection, convectius, radiatius i de reacció química:

a) Pel flux gasós de sortida

$$\epsilon_{Fe} \sigma A_1 T_2^4 + \Delta \bar{H}_{comb}^o \cdot R = w_3 \bar{C}_{p3} (T_1 - T_0) + w_4 \bar{C}_{p4} (T_1 - T_0) + w_5 \bar{C}_{p5} (T_1 - T_0) + h A_l (T_1 - T_2) + \epsilon_{aire} \sigma A_l T_1^4$$

b) Per la paret exterior

$$h(T_1 - T_2) + \varepsilon_{aire} \sigma T_1^4 + \varepsilon_{aire} \sigma T_0^4 = \varepsilon_{Fe} \sigma T_2^4 - h(T_2 - T_0) \Leftrightarrow T_2 = \left(\frac{h}{\varepsilon_{Fe} \sigma} T_0 + \frac{h}{\varepsilon_{Fe} \sigma} T_1 + \frac{\varepsilon_{aire}}{\varepsilon_{Fe}} T_1^4 + \frac{\varepsilon_{aire}}{\varepsilon_{Fe}} T_0^4 \right)^{\frac{1}{4}}$$

A la pràctica, però, només es tindran en compte els termes advectionals, radiatius i de reacció química dels gasos de sortida, per tal de simplificar els càlculs:

$$\varepsilon_{aire} \alpha_l T_0^4 + \Delta \bar{H}_{comb.} \cdot R = w_3 \bar{C}_{p3} (T_1 - T_0) + w_4 \bar{C}_{p4} (T_1 - T_0) + w_5 \bar{C}_{p5} (T_1 - T_0) + \varepsilon_{aire} \alpha_l T$$

equació que ens mena a un valor sobreestimat, però prou vàlid pels nostres propòsits, de $T = 671,4K \equiv 398,4^\circ C$.

Els càlculs també donen una estimació de la temperatura adiabàtica màxima de flama de $1.618^\circ C$.

Una vegada determinada la temperatura d'expulsió dels gasos, disposem de 11 equacions independents donades pels balanços de massa i de 12 paràmetres desconeguts: $c_1, c_3, c_4, c_5, q^g, q, R, w_1, w_2, w_3, w_4, \bar{V}_2$. Però si tenim en compte que es compleix, assumint l'additivitat dels volums: $V = n_1 \bar{V}_1 + n_5 \bar{V}_5$; amb $V = 1l$, llavors el sistema resta completament determinat.

Una vegada els paràmetres ja han estat calculats, és possible obtenir una estimació del temps de residència (τ) del iodur de plata a l'interior del cremador. Aquesta informació està directament relacionada amb el percentatge de producte pirolitzat, i

s'obté a partir de $\tau = \frac{n_5}{w_5} = \frac{Vc_5}{qc_5} = \frac{V}{q}$. Tanmateix, a partir del coneixement del cabal

volúmic de gasos emesos pel cremador (q) és possible estimar la velocitat de sortida del iodur de plata per la boca del cremador, ja que $q = vA_b$. Tanmateix, la informació trobada és essencial per al tractament ambiental posterior, ja que determina l'alçada màxima de les emissions.

Resultats

$$c_1 = 13,6 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$c_3 = c_4 = 9,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$c_5 = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

$$q^g = 1337,1 \frac{\text{l}}{\text{h}} \text{O}_2$$

$$q = 4525,7 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

$$R = 3,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$w_2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$w_3 = w_4 = 1,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\tau = 20 \text{s}$$

$$v = 5,0 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$T = 671,4 \text{K} \equiv 398,4^\circ \text{C}$$

4.2- Identificació i característiques físicoquímiques dels contaminants

Contaminant primari: el iodur de plata (AgI)

a) Dades generals

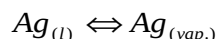
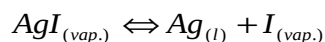
- Aspecte: pols groguenca.
- Sistema cristal·lí: hexagonal.
- Punt de fusió normal: 558°C .
- Punt d'ebullició normal: 1.506°C .
- Massa molecular: $234,77 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Densitat: $5,68 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.
- Solubilitat en aigua (a 25°C): $2,14 \cdot 10^{-6} \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$

b) Dades termodinàmiques i de reactivitat

- Reacció de descomposició tèrmica (piròlisi): $\text{AgI}_{(s)} \xrightarrow{\Delta(\text{cremador})} \text{Ag}_{(s)} + \text{I}_{(vap.)}$

Es desconeix la forma de l'equació cinètica i la velocitat de descomposició, tot i que a partir de la temperatura de combustió assolida al cremador ha estat possible estimar la seva extensió o grau d'avanç. Atès que la temperatura màxima adiabàtica de flama

calculada és de 1.618°C, la fase estable del iodur de plata és la gasosa i la de la plata és líquida en equilibri amb el seu vapor. En conseqüència, tenen lloc simultàniament els processos:



que equivalen a la reacció global: $AgI_{(vap.)} \Leftrightarrow Ag_{(vap.)} + I_{(vap.)}$. Aquest procés presenta un grau de dissociació pel iodur d'un 15% ($\xi = 0,15$) a 1.600° C. Això significa que un 15% en massa del iodur ja es descompon tèrmicament (es pirolitza) en contacte amb la flama del cremador. Com ja s'ha dit, no es coneix la cinètica (velocitat) del procés, però a aquesta temperatura, és probable que el ritme de descomposició sigui alt.

- Reacció de descomposició fotoquímica: $AgI_{(s)} \xrightarrow{h\nu(\text{radiació solar})} Ag_{(s)} + I_{(vap.)}$

El procés segueix una cinètica de primer ordre, amb un ritme de descomposició d'un 10% de producte per hora.

Contaminants secundaris

A partir de les dades de funcionament del focus emissor (cremador) i de les reaccions de descomposició del iodur de plata, és possible la identificació de fins a quatre contaminants secundaris associats al procés de dispersió del iodur:

1- Un metall pesant, la plata (Ag)

- Massa atòmica: 107,87 g·mol⁻¹.
- Densitat: 10,5 g·cm⁻³.
- Punt de fusió: 960,5°C.
- Punt d'ebullició: 1.950°C.

2- Un halogen gasós actiu, el iode (I)

- Massa atòmica: 126,90 g·mol⁻¹.
- Densitat: 4,93 g·cm⁻³.
- Punt de fusió: 114,00°C.
- Punt d'ebullició: 183,00°C.
- Densitat relativa a l'aire: 8,8.
- Pressió de vapor a 25°C: 0,3 mmHg.

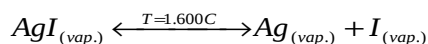
3- Les partícules en suspensió, (PS) suma de les partícules de iodur sense descompondre i les de plata provinents de la descomposició del iodur

4- Tota la família de productes orgànics generats tant per la combustió completa (CO₂ i H₂O) com incompleta de l'acetona (C₃H₆O), atès que la combustió completa d'aquesta última requereix, segons els càlculs anteriors, un cabal de 1337 litres per hora d'oxigen, difícilment assolible en les condicions en què funcionen els cremadors. Cal tenir present que no s'aporta oxigen addicional per facilitar la combustió (té lloc simplement amb l'oxigen de l'aire, no hi ha cap cabal d'entrada d'aquest element conjuntament amb l'alimentació de la mescla combustible). En conseqüència, caldria esperar la presència de contaminants del tipus CO, HCHO, etc. generats en els processos paral·lels al de combustió completa de l'acetona, com ara: $2C_3H_6O_{(l)} + 3O_{2(g)} \Rightarrow 4HCHO_{(vap.)} + 2CO_{(g)} + 2H_2O_{(vap.)}$ L'avaluació de la producció d'aquest tipus de contaminants entra de ple dins del camp de la monitorització i, per tant, no són objecte d'anàlisi d'aquest estudi ara per ara, tot i que no es descarta en un futur. Tanmateix, sí que es portarà a terme una estimació de la producció de diòxid de carboni que es produeix durant tota la campanya anyal d'encesa dels cremadors.

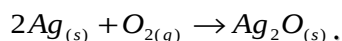
Per cloure l'etapa d'identificació del perill i introduir la d'avaluació de l'exposició, es presenta, doncs, el conjunt de processos que afecten el iodur i els seus contaminants associats quan són alliberats a l'entorn (vegeu l'annex 2).

4.3- Ruta del iodur de plata al medi natural

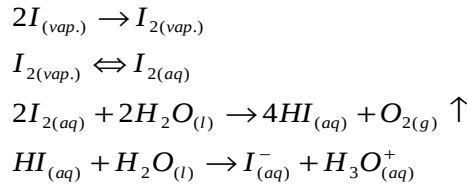
- 1- **Piròlisi del producte**, o descomposició tèrmica del 15% en massa del iodur, que ja té lloc al cremador durant l'emissió del producte, segons el procés:



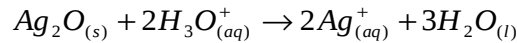
- 2- **Transport del iodur**, degut als corrents advectionals i/o a la difusió del producte.
- 3- **Sedimentació del iodur i de la plata metàl·lica**, degut a l'acció de la gravetat.
- 4- **Fotodescomposició del iodur**, deguda a la radiació solar, a un ritme d'un 10% per hora, d'acord amb el procés: $AgI_{(s)} \xrightarrow{hv} Ag_{(s)} + I_{(vap.)}$
- 5- **Oxidació de la plata**, deguda a l'oxigen de l'aire, que transformarà progressivament la plata alliberada en la reacció fotoquímica anterior en òxid de plata:



- 6- **Hidròlisi del iode** alliberat en la reacció fotoquímica anterior, que comportarà l'acidificació de les precipitacions (pluja àcida):



7- **Acidificació de l'òxid de plata sedimentat** degut al pH del sòl de conreu, que afavorirà la incorporació de la plata en forma iònica al subsòl (aquífers i vegetació):



5] Avaluació de l'exposició

En aquesta fase de l'estudi, es pretén extraure informació quantitativa sobre les concentracions d'immissió dels contaminants presentats, en funció de les variables que juguen el paper més important en la dispersió del iodur de plata a l'entorn segons la ruta del producte presentada abans. Tanmateix, i amb la intenció d'estimar l'impacte de l'activitat en les pitjors condicions atmosfèriques possibles, s'ha minimitzat l'efecte dels corrents convectius responsables, en teoria, de l'enlairament del producte, per tal d'analitzar quin seria l'efecte d'una dispersió deficient del iodur de plata, fet força probable atès la poca fiabilitat i baix control inherents a la tècnica basada en els cremadors.

D'acord amb tot això, s'assumirà un model de caixa (cilindre de control), de radi (r) variable entre els 2.500 (d'acord amb les característiques dels generadors) i els 300 m, i una alçada que vindrà donada pel model de Briggs aplicat a l'elevació màxima del iodur per sobre del cremador, considerant una atmosfera inestable, de la manera següent:

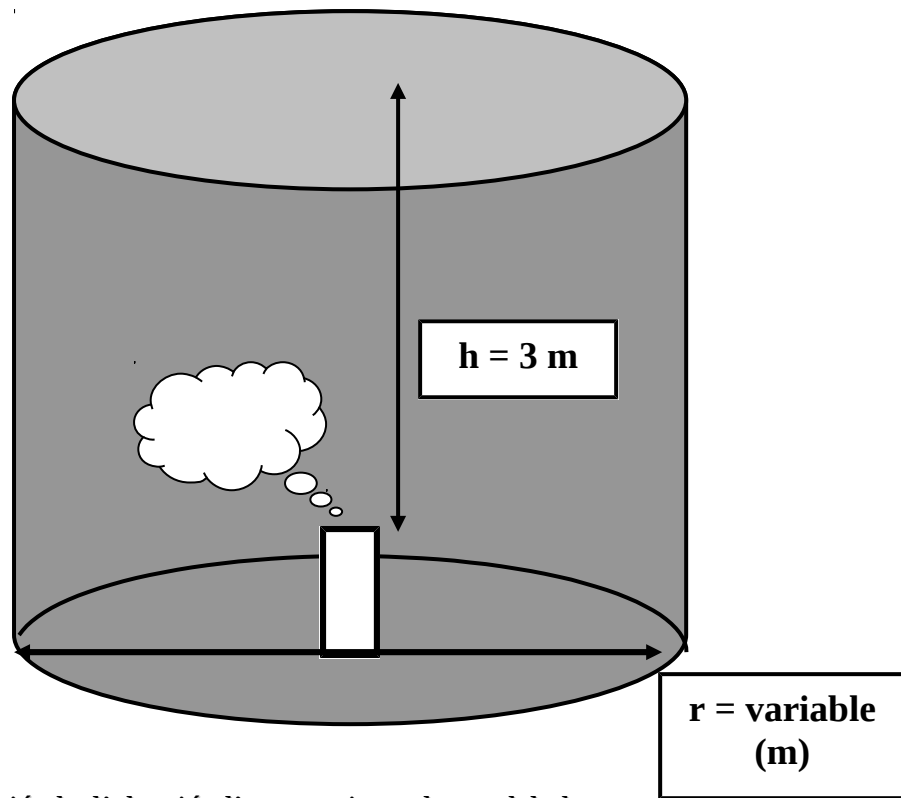
$$h_{MAX.} = \frac{1,6 \cdot F^{\frac{1}{3}} \cdot \chi^{\frac{2}{3}}}{u}; \text{ amb } F = grv^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right); \quad \chi = 50 \cdot F^{\frac{5}{8}}, \quad u = \text{velocitat}$$

horitzontal de referència del vent = 1 m/s, $T_0 = 298K$, $g = 9,8ms^{-2}$ i $r = 9 \cdot 10^{-2} m$.

Així, $h_{MAX.} = 0,22m$.

A la vista de l'ordre de magnitud d'aquesta alçada, s'ha pres com a alçada estàndard constant del cilindre de control $h = 3 m$, xifra totalment sobreestimada per tal

d'augmentar el grau de confiança del model escollit. Les dimensions del cilindre de control es resumeixen de forma gràfica a l'esquema següent:



La justificació de l'elecció d'aquest tipus de model davant d'altres (com per exemple els estadístics basats en els models gaussians) rau en què la introducció del contaminant al medi no té lloc de manera puntual i aïllada, sinó que respon a una activitat temporalment consolidada (28 anys ininterromputs), amb efectes a llarg termini sobre el territori (un promig d'encesa de 308 hores anyals de campanya, unes 6 hores al dia) i amb una tendència clara a l'alça pel que fa al nombre de focus emissors (47 generadors l'any 2001, 55 el 2003...).

A l'interior d'aquest cilindre es portaran a terme els balanços de matèria corresponents a cada contaminant, d'acord amb els processos descrits a la ruta del iodur de plata, i que són (la nomenclatura resta descrita a l'annex 1):

- El ritme de producció del contaminant: \mathcal{E} .
- Els processos físics de transport dels contaminants (Cont.)
 - Per advecció: $A_1 j_{adv.} = 2rhj_{adv.} = 2rhv_{adv.}[Cont.]$
 - Per difusió: $A_2 j_{dif.} = 2\pi r h j_{dif.} = 2\pi r h D[Cont.]$
 - Per sedimentació (en el cas de les partícules):
 $A_3 j_{sed.} = \pi r^2 j_{sed.} = \pi r^2 v_{sed.}[Cont.]$

- Els processos químics que afecten el iodur
 - La piròlisi del iodur: afecta al ritme de generació en un factor $(1-\xi)\mathcal{E}$ en el cas del iodur i en un factor $\xi\mathcal{E}$ en el cas de la plata metàl·lica i els vapors de iode.
 - La descomposició fotoquímica: $Vr_{AgI} = V k [AgI]$.

Considerant estrictament les dades proporcionades per l'Agrupació de Defensa Vegetal de les Terres de Ponent pel que fa als cremadors cetònics de iodur de plata, el model d'impacte atmosfèric basat en els processos anteriors condueix a les equacions següents pel que fa a la variació amb el temps de les concentracions de iodur de plata $[AgI]$, plata metàl·lica $[Ag]$, vapors de iode atòmic $[I]$ i partícules en suspensió $[PS]$ a l'aire:

$$\begin{aligned}
 V \frac{d[AgI]}{dt} &= (1-\xi)\mathcal{E} - A_1 j_{adv.} - A_2 j_{dif.} - A_3 j_{sed.} - Vr_{AgI} \\
 V \frac{d[Ag]}{dt} &= \xi\mathcal{E} + Vr_{AgI} - A_1 j_{adv.} - A_2 j_{dif.} - A_3 j_{sed.} \quad \text{mol/s} \\
 V \frac{d[I]}{dt} &= \xi\mathcal{E} + Vr_{AgI} - A_1 j_{adv.} - A_2 j_{dif.} \\
 [PS] &= [AgI] + [Ag]
 \end{aligned}$$

que equivalen a:

$$\begin{aligned}
 \frac{d[AgI]}{dt} &= \frac{(1-\xi)\mathcal{E}}{V} - \frac{A_1 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{V} [AgI] - \frac{A_2 \cdot D_{AgI}}{V \cdot r} [AgI] - \frac{A_3 \cdot v_{sed.}^{AgI}}{V} [AgI] - k [AgI] \\
 \frac{d[Ag]}{dt} &= \xi\mathcal{E} + k [AgI] - \frac{A_1 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{V} [Ag] - \frac{A_2 \cdot D_{Ag}}{V \cdot r} [Ag] - \frac{A_3 \cdot v_{sed.}^{Ag}}{V} [Ag] \\
 \frac{d[I]}{dt} &= \xi\mathcal{E} + k [AgI] - \frac{A_1 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{V} [I] - \frac{A_2 \cdot D_I}{V \cdot r} [I]
 \end{aligned}$$

i que es poden reduir fins a la forma d'un sistema d'equacions diferencials ordinàries lineals de primer ordre i primer grau:

$$\begin{aligned}
 \frac{d[AgI]}{dt} + \lambda_1 [AgI] &= \lambda_2 \\
 \frac{d[Ag]}{dt} + \lambda_3 [Ag] &= \lambda_4 + k [AgI] \\
 \frac{d[I]}{dt} + \lambda_5 [I] &= \lambda_4 + k [AgI]
 \end{aligned}$$

on:

$$\lambda_1 \equiv \frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{AgI}}{r^2} + \frac{v_{sed.}^{AgI}}{h} + k; (s^{-1})$$

$$\lambda_2 \equiv \frac{(1-\xi)\varepsilon}{\pi r^2 h}; (mol \cdot s^{-1} \cdot m^{-3})$$

$$\lambda_3 \equiv \frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{Ag}}{r^2} + \frac{v_{sed.}^{Ag}}{h}; (s^{-1})$$

$$\lambda_4 \equiv \frac{\xi\varepsilon}{\pi r^2 h}; (mol \cdot s^{-1} \cdot m^{-3})$$

$$\lambda_5 \equiv \frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_I}{r^2}; (s^{-1})$$

$$v_{sed.} = \frac{2gR^2(\rho_{partícula} - \rho_{medi})}{9\eta}; (m \cdot s^{-1})$$

$$R_{partícula} = \sqrt[3]{\frac{3M}{4\pi\rho_{partícula}} \cdot N^{-\frac{1}{3}}}; (m)$$

La resolució del sistema d'equacions diferencials anteriors ens mena a les solucions:

$$[AgI](t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} (1 - e^{-\lambda_1 t})$$

$$[Ag](t) = \frac{k\lambda_2}{\lambda_1(\lambda_3 - \lambda_1)} (e^{-\lambda_3 t} - e^{-\lambda_1 t}) + \frac{\left(\lambda_4 + \frac{k\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{\lambda_3} (1 - e^{-\lambda_3 t}); (mol \cdot m^{-3})$$

$$[I](t) = \frac{k\lambda_2}{\lambda_1(\lambda_5 - \lambda_1)} (e^{-\lambda_5 t} - e^{-\lambda_1 t}) + \frac{\left(\lambda_4 + \frac{k\lambda_2}{\lambda_1}\right)}{\lambda_5} (1 - e^{-\lambda_5 t})$$

Estem interessats especialment en les solucions estacionàries del sistema d'equacions diferencials, atès que després de 4 hores d'encesa dels generadors cetònics, ja s'han assolit també les concentracions estacionàries dels contaminants a l'interior del cilindre de control:

$$[AgI]_{est.} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{(1-\xi)\varepsilon}{\pi r^2 h \left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{AgI}}{r^2} + \frac{v_{sed.}}{h} + k \right)}$$

$$[Ag]_{est.} = \frac{\lambda_1 \lambda_4 + k\lambda_2}{\lambda_1 \lambda_3} = \frac{\left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{AgI}}{r^2} + \frac{v_{sed.}^{AgI}}{h} + k \right) \left(\frac{\xi\varepsilon}{\pi r^2 h} \right) + k \left(\frac{(1-\xi)\varepsilon}{\pi r^2 h} \right)}{\left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{AgI}}{r^2} + \frac{v_{sed.}}{h} + k \right) \left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{Ag}}{r^2} + \frac{v_{sed.}^{Ag}}{h} \right)}$$

$$[I]_{est.} = \frac{\lambda_1 \lambda_4 + k \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_5} = \frac{\left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{AgI}}{r^2} + \frac{v_{sed.}^{AgI}}{h} + k \right) \left(\frac{\xi \varepsilon}{\pi r^2 h} \right) + k \left(\frac{(1-\xi) \varepsilon}{\pi r^2 h} \right)}{\left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_{AgI}}{r^2} + \frac{v_{sed.}}{h} + k \right) \left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{2D_I}{r^2} \right)}$$

Presentació dels resultats relatius a l'avaluació de l'exposició

Impacte atmosfèric

a) Presència de transport per advecció ($v_{adv.} = 1 \text{ms}^{-1}$)

CONCENTRACIÓ ESTACIONÀRIA DE CONTAMINANTS A L'AIRE $\left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}\right)$				
DISTÀNCIA AL CREMADOR (m)	[AgI]	[Ag]	[PS]	[I ₂]
2.500	0,31	0,062	0,372	0,15
2.000	0,40	0,071	0,471	0,17
1.500	0,55	0,085	0,635	0,20
1.000	0,86	0,11	0,97	0,27
500	1,81	0,19	2,00	0,45
300	3,10	0,29	3,39	0,69

b) Cas límit d'absència de transport per advecció ($v_{adv.} = 0$) i acidificació de les precipitacions i/o de la humitat de l'aire en aquest cas.

CONCENTRACIÓ ESTACIONÀRIA DE CONTAMINANTS A L'AIRE $\left(\frac{\mu g}{m^3}\right)$				
DISTÀNCIA AL CREMADOR (m)	[AgI]	[Ag]	[PS]	[I ₂]
2.500	1,57	15,66	17,23	8,91
2.000	2,46	24,53	26,99	13,90
1.500	4,36	43,49	47,85	24,73
1.000	9,82	97,94	107,76	55,70
500	39,29	390,58	429,87	222,08
300	109,14	1.087,14	1.196,28	618,15

Distància al cremador (m)	2.50 0	2.00 0	1.50 0	1.00 0	500	300
[I₂] a l'aire (µg/m³)	8,91	13,9 0	24,7 3	55,7 0	222,0 8	618,15
pH de la humitat	7,00	7,00	7,00	7,00	6,77	6,31

c) Emissions de gasos d'efecte hivernacle (suposant combustió completa de l'acetona)

Cabal de CO₂ per cremador (l/h)	Període d'encesa promig anual (h)	Nombre oficial de cremadors	Emissions anuals de CO₂ (m³)
1.000	308	55	17.000

Impacte edàfic

Una vegada conegudes les concentracions estacionàries de les espècies sedimentables a l'aire de l'interior del cilindre de control, és possible estimar la concentració superficial i volúmica (suposant un gruix estàndard de sòl de 10 cm i una densitat aparent del sòl de 2 g/cm³) de les esmentades espècies, en particular les de plata, en funció de la distància al cremador. Per portar-ho a terme, s'ha considerat que la concentració superficial d'aquest metall pesant (σ) en funció del temps, segueix l'expressió: $\sigma_{sed.}^{Ag} = v_{sed.}^{Ag} \cdot [Ag]_{est.} \cdot t$. El càlcul s'ha estès al llarg dels 28 anys d'ús de la tècnica de dispersió del iodur mitjançant generadors, a raó d'una mitjana de 308 hores anuals i minimitzant el transport advection.

Distància al cremador (m)	2.50 0	2.00 0	1.50 0	1.00 0	500	300
Àrea superficial afectada (Ha)	1.96 3	1.25 7	707	314	79	28
$\sigma_{sed.}^{Ag}$ (mg/m²)	2,33	3,66	6,48	14,6 0	58,2 1	165,00
[Ag] (mg/kg de sòl)	0,01 2	0,01 8	0,03 2	0,07 3	0,29	0,83

6] Avaluació de la toxicitat

En primer lloc, s'exposen les principals característiques toxicològiques dels contaminants considerats, juntament amb els seus efectes clínics coneguts. En una segona fase, es presenten tant les concentracions naturals conegudes dels compostos com els límits legals d'immissió establerts per les Administracions.

6.1- Iodur de plata (AgI)

- Degut a la seva baixa solubilitat en aigua, no es considera directament una substància tòxica en medi aquós ni en contacte amb el sòl. La seva perillositat indirecta rau en els productes en què es descompon, ja sigui per processos tèrmics o bé fotoquímics.
- En canvi, sí que és bàsic considerar els efectes perniciosos per a la salut que pot produir la seva presència a l'aire, atès que els generadors que el dispersen produeixen una atomització del producte fins a partícules de 0,15 µm de diàmetre. En aquestes condicions, i tal com es descriurà més endavant, la incorporació del contaminant a l'organisme per inhalació suposa un risc elevat pel sistema respiratori.

6.2- Plata metàl·lica (Ag)

- Aquest metall pesant noble provoca una patologia relativament ben documentada anomenada *argíria*. Els símptomes descrits citen una coloració blau - grisosa de la pell, mucoses i/o de la còrnia ocular.
- La plata micronitzada pot dipositar-se als pulmons, provocant episodis de bronquitis.
- Diferents neuropatologies del sistema nerviós perifèric s'han relacionat amb la presència d'ions plata. Es desconeixen les condicions d'exposició lligades a aquesta patologia.
- Alguns textos citen la plata com un agent nefrotòxic, els casos considerats no estan massa ben documentats.
- Els nivells basals de plata en sang humana varien des dels 0,004 µg/g fins als 0,03 µg/g. Els nivells de plata en el sèrum sanguini considerats normals són de 0,05 µg/dl.
- Com en el cas del iodur, la plata metàl·lica és alliberada a l'aire pels cremadors sota la forma de partícules fines de 0,12 µm de diàmetre, fàcilment respirables. Per tant, hem de tornar a considerar la inhalació com a via d'accés principal d'aquest contaminant a l'organisme. Tanmateix, els episodis d'argíria documentats s'originen per concentracions de plata a l'aire que superin els 10 µg/m³.

6.3- Iode en fase gas (I₂)

- *Toxicitat aguda*. La ingestió provoca cremor a la boca, vòmits, dolors abdominals i diarrea. També s'han documentat mal de cap i lipotímies. La

inhalació provoca irritació dels ulls i de la mucosa nasal, acompanyada de pesadesa respiratòria, atès que la densitat dels vapors de iode augmenta la resistència del flux d'aire cap als pulmons.

- *Toxicitat crònica.* Els símptomes inicials són sensació desagradable de cremor a la boca, irritació de la boca i de la gola, increment de la salivació i inflamació de les mucoses del nas, ulls i boca. A llarg termini, s'han constatat disfuncions tiroïdals i reducció de la capacitat dels pulmons per a retenir l'oxigen. Individus amb malalties de tiroïdes, pulmons i ronyons són especialment susceptibles a la toxicitat associada als vapors de iode.
- Llímit de percepció per inhalació: 8 mg/m³.
- Llímit d'irritació: 2 mg/m³.

6.4- Partícules en suspensió (PS)

Els riscos sanitaris de les partícules en suspensió són molt elevats. Diversos estudis posen de manifest que les partícules augmenten el poder coagulatiu de la sang, la tensió arterial i la freqüència cardíaca. Les patologies associades a aquest tipus de contaminants depenen, en essència, de dos paràmetres: la seva toxicitat intrínseca i la grandària de partícula.

En el cas que ens ocupa, la toxicitat intrínseca o directa és baixa, atès que en el tipus d'activitat que s'estudia, les partícules en suspensió emeses provenen de la suma de les partícules de iodur de plata més les de plata metàl·lica, productes inorgànics força estables.

Una altra qüestió és la toxicitat associada al tamany de partícula, anomenada toxicitat indirecta. Aquest factor determina que:

- a) Tota una gamma de contaminants orgànics siguin capaços d'adsorbir-se sobre la superfície de la partícula, atès que la relació $\frac{\text{superfície}}{\text{volum}}$ augmenta al disminuir la grandària de les partícules i, per tant, l'àrea disponible per a l'adsorció de contaminants secundaris és cada vegada més gran a mesura que les partícules són més petites. Aquest fet implica que les espècies químiques orgàniques generades en la combustió incompleta de l'acetona poden ser incorporades a l'organisme via inhalació de partícules.
- b) La capacitat de les vies respiratòries per aturar l'entrada a l'organisme de les partícules en suspensió és directament proporcional al tamany de les partícules. Segons aquestes consideracions, les partícules es classifiquen en:

PARTÍCULES EN SUSPENSÍO		
No respirables	Diàmetre > 2,5 µm	
Respirables	Diàmetre < 2,5 µm	
	Ultrafines	Diàmetre < 0,1 µm

Cal parar atenció al fet que el diàmetre de les partícules que ens ocupen (iodur de plata i plata metàl·lica) ronda els 0,1 µm i, per tant, som davant de partícules respirables, just en el límit de les ultrafines. Aquest fet és toxicològicament molt rellevant, atès que s'ha d'interpretar que aquesta tipologia de partícules travessaran les barreres defensives del sistema respiratori amb una facilitat extraordinària i s'instal·laran als alvèols pulmonars, tot incrementant la incidència de malalties típicament relacionades amb les de la família de l'asbestosi i la silicosi, emmarcades dins del conjunt de les malalties pulmonars obstructives cròniques (MPOC).

- c) El temps de permanència de les partícules en suspensió a l'aire és tant més elevat com menor sigui la grandària de la partícula. Aquest paràmetre, en relació directa amb el temps de residència a l'atmosfera i el temps de sedimentació, és un indicador clar dels riscos sanitaris d'aquest tipus de contaminants, ja que elevades permanències impliquen major quantitat de partícules inspirades. En promig, un adult presenta un volum inspirat que ronda els 25 m³/dia, de manera que si la concentració a l'aire de partícules en suspensió és prou elevada durant prou temps, la quantitat final de partícules assimilades pot ser perillosament alta. A continuació es presenta una taula que explicita el temps de residència (definit

com $\tau_r = \frac{V \cdot [PS]_{est.}}{\varepsilon}$) i els diversos temps de sedimentació, en funció del

transport horitzontal per advecció atmosfèric i de la distància al generador, adaptada a les condicions del model de caixa cilíndrica presentada a la fase d'avaluació de l'exposició. En general, s'ha considerat que el procés de

sedimentació o deposició seca, s'ajusta a: $V \frac{d[PS]}{dt} = -A_1 j_{adv.} - A_3 j_{sed.}$,

expressió que ens mena a: $[PS] = [PS]_{est.} \cdot e^{-\kappa t}$; on $\kappa \equiv \left(\frac{2 \cdot \chi \cdot v_{adv.}}{\pi r} + \frac{v_{sed.}}{h} \right)$.

- Presència de transport per advecció ($v_{adv.} = 1ms^{-1}$)

PERMANÈNCIA DE LES PARTÍCULES EN SUSPENSÍO						
Distància al cremador (m)	2.500	2.000	1.500	1.000	500	300
Temps de sedimentació o deposició seca (h)	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0	1,2
Temps de residència (dies)	7,24 (a qualsevol distància del cremador)					

- Cas límit d'absència de transport per advecció ($v_{adv.} = 0$)

PERMANÈNCIA DE LES PARTÍCULES EN SUSPENSÍO						
Distància al cremador (m)	2.500	2.000	1.500	1.000	500	300
Temps de sedimentació o deposició seca (dies)	41,00 (a qualsevol distància del cremador)					
Temps de residència (dies)	7,24 (a qualsevol distància del cremador)					

És essencial comprovar com, en períodes de calma atmosfèrica relativa, la grandària de les partícules en suspensió dispersades pels cremadors de iodur de plata és prou petita com per assolir uns temps de permanència a l'entorn extraordinàriament elevats. No és estrany, doncs, que en la bibliografia especialitzada aquests tipus de partícules es coneguin també com a no sedimentables.

En aquesta mateixa línia, quan s'inhalen partícules de grandària superior als 5 µm de diàmetre, es troba que queden retingudes i dipositades al nas i a la gola. El sistema respiratori, des del nas i fins a la regió traqueobronquial, està recobert per una capa de mucosa en moviment continu en direcció ascendent, provocat pel moviment d'unes estructures filiformes, anomenades cilis.

Les partícules no respirables retingudes per la mucosa, són transportades fora del sistema respiratori fins a la gola, des d'on són eliminades per la saliva. Les que penetren fins als pulmons, normalment no passen més enllà dels bronquis i aviat són expulsades per l'acció dels esmentats cilis. Com a exemple, les partícules provinents de la combustió de combustibles fòssils acostumen a tenir una grandària que oscil·la entre els 0,5 i els 5 µm de diàmetre. La major part d'aquestes partícules es dipositen als bronquis i són eliminades pels cilis en unes dues hores.

Quan el tamany de partícula és inferior als 0,5 µm, s'assoleixen els alvèols pulmonars, i el temps de permanència en aquestes bioestructures és molt més gran, en conseqüència, els riscos per a la salut augmenten en la mateixa proporció.

Les partícules inferiors als 0,1 µm tenen un temps de permanència als alvèols que tendeix a infinit, és a dir, els mecanismes defensius del sistema respiratori no poden eliminar-les de la zona on s'han instal·lat.

6.5- Emissions de gasos d'efecte hivernacle (CO₂)

Si en primera aproximació suposem que la combustió de l'acetona al cremador és completa, l'únic gas d'efecte hivernacle emès serà el diòxid de carboni. L'esmentat gas no és intrínsecament tòxic, tot i que pot causar asfíxia per competició amb l'oxigen de l'aire. Els seus efectes tenen més a veure amb la capacitat per retenir la calor reflectida pel terra, en forma de radiació infraroja, tot induint un increment de la temperatura de l'aire al que s'incorpora (efecte hivernacle) i contribuint a l'escalfament global del planeta en la mesura que indica el volum d'emissions presentada a la fase d'avaluació de l'exposició. De fet, la capacitat del diòxid de carboni per retenir l'escalfor s'expressa en termes de l'anomenat *coeficient radiatiu*, paràmetre que quantifica l'augment

d'irradiació solar addicional equivalent degut a la presència d'una determinada concentració del gas. Concretament, pel CO₂ s'admet un valor per al seu coeficient radiatiu de $0,019 \frac{W}{m^2}$ per cada ppm d'increment del gas a l'atmosfera.

A continuació, i com a cloenda de la fase d'avaluació de la toxicitat, es presenta una taula – resum de les concentracions d'immissió, tant les que es presenten en els medis naturals com les que s'han establert com a normatives, dels tres contaminants principals analitzats en la present avaluació d'impacte ambiental, la plata metàl·lica, els vapors de iode i les partícules en suspensió.

CONCENTRACIONS D'IMMISSIÓ				
Espècies químiques	Naturals (contaminants*)	Màxims legals (pol·luants**)		
Ag	$3,54 \frac{\mu g}{m^3}$	No establert	AIRE	MEDIS
I₂	$0,00 \frac{\mu g}{m^3}$	$1 \frac{mg}{m^3}$		
PS	No establert	$0,054 \frac{mg}{dia \cdot Kg}$		
Ag	$1,3 \frac{\mu g}{l}$ (variable segons els tipus d'aigües)	$50 \frac{\mu g}{l}$	AIGUA	
I₂	No establert	$1,2 \frac{mg}{l}$		
PS	$30 \frac{mg}{l}$ (variable segons els tipus d'aigües)	$0,1 \frac{mg}{l}$		
Ag	$0,15 \frac{mg}{Kg}$	No establert	SÒL	
I₂	No establert	No establert		
PS	No establert	No establert		

** Considerem que una substància és un contaminant quan la seva concentració d'immissió és superior a l'existent en el medi en què ha estat emesa, però no provoca efectes negatius sobre la salut humana ni els ecosistemes.*

*** Considerem que una substància és un pol·luant quan es tracta d'un contaminant i, a més, provoca efectes negatius sobre la salut humana i els ecosistemes. Pertoca a la legislació ambiental fixar les concentracions màximes que permetin distingir l'acció contaminant de la pol·luant.*

7] Conclusions. Càlcul dels índexs de perill (Ip).

7.1- L'impacte ambiental dels generadors de iodur de plata és altament sensible al transport per advecció. Períodes de calma atmosfèrica relativa conduiran a episodis contaminants i/o pol·luants greus en l'àrea pròxima al focus emissor, mentre que la presència de transport advection els minimitzaran.

7.2- La incidència negativa del iodur de plata (contaminant primari) sobre el medi es deu més aviat al seu comportament com a partícula en suspensió i a la descomposició en plata metàl·lica i iode en fase gas (contaminants secundaris) que no pas a les seves propietats fisicoquímiques intrínseques.

7.3- Els vapors de iode generats pels cremadors terrestres cal considerar-los com a contaminants de l'aire, atès que en condicions naturals la presència d'aquesta espècie química en l'esmentat medi hauria de ser nul·la. Tanmateix, tot i que la seva concentració a l'aire pot arribar gairebé fins a un 62% del nivell màxim permisible, no se li poden atribuir efectes pol·luants. Pel que fa a l'aigua de pluja i la humitat, els models preveuen una concentració màxima en aquest medi que no arriba al 6% de la legalment permesa i, en conseqüència, tampoc s'han de preveure efectes perniciosos sobre les persones i la fauna.

7.4- El pH de la humitat superficial i de les precipitacions no assoleix mai valors inferiors a 5,6, valor de l'acidesa de l'aigua atmosfèrica natural en equilibri amb el diòxid de carboni de l'aire. Aquesta circumstància implica que no es preveu l'aparició de pluges i/o boires àcides en l'àrea on té lloc la dispersió del iodur de plata.

7.5- La concentració de plata metàl·lica a l'aire en situacions de calma atmosfèrica se situa entre les 4 i les 300 vegades superior a la natural en aquest medi. Pel que respecta al sòl, la presència de plata metàl·lica pot arribar a ser 2 vegades superior la concentració natural mitjana mesurada a l'escorça terrestre a 500 m del cremador, i gairebé 6 vegades a 300 m. Aquestes estimacions indiquen que cal considerar l'esmentat metall pesant com un contaminant atmosfèric i edàfic de primer ordre. D'altra banda, no és possible l'estimació teòrica de la concentració de plata metàl·lica en medi aquós, de forma que s'aconsella la monitorització de l'àrea afectada.

7.6- En el terreny de les partícules en suspensió es fa imprescindible alertar sobre els perills que, a llarg termini, afectaran la població situada en les proximitats dels generadors. Per a aquesta tipologia de contaminant, és necessari quantificar el nivell de risc, atès que se superen els màxims legals establerts per l'Organització Mundial de la Salut (OMS), que són de 0,054 mg de partícules inhalades per dia i kg de pes corporal. En efecte, si hom duu a terme l'avaluació quantitativa del risc, mitjançant l'anomenat índex de perill (I_p), definit com $I_p \equiv \frac{I}{I_{MAX}}$, és a dir, la relació entre la ingestió de partícules real (I) i la ingestió màxima permesa per llei (I_{MAX}), s'observen valors d' I_p superiors a la unitat, indicatius de l'existència de risc per a la població, tant més elevats com més gran sigui el valor de l'índex.

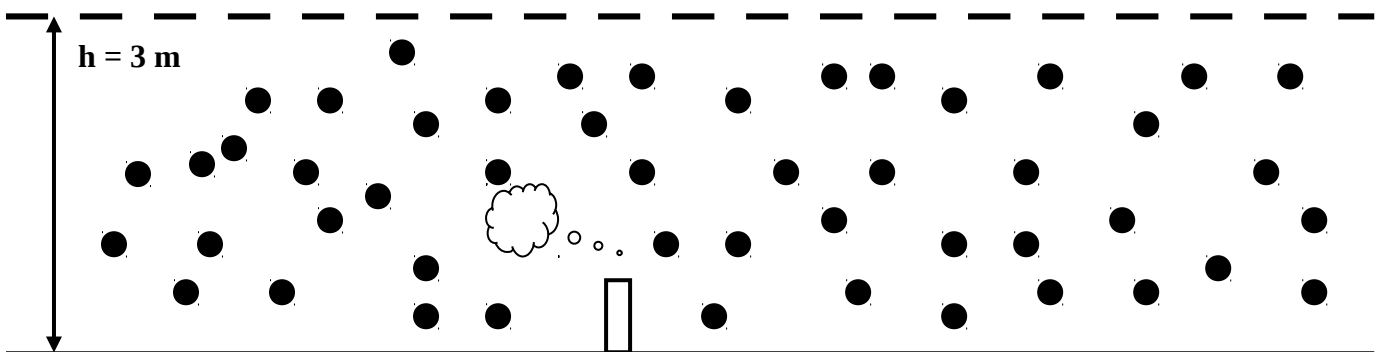
La ingestió real per inhalació es determina a partir de: $I = \frac{C \cdot RI \cdot TE \cdot FE \cdot DE}{MC \cdot MT}$.

Tot seguit es presenten els valors tabulats de l'índex de perill relatiu a l'impacte atmosfèric en funció de la distància al cremador de iodur de plata:

ANÀLISI DEL RISC PER PARTÍCULES EN SUSPENSÍO						
Distància al cremador (m)	2.50	2.00	1.50	1.00	500	300
	0	0	0	0		
Valor de l'índex de perill (I_p)	0,04	0,06	0,11	0,25	1,0	2,77
	0	2			0	

És evident, doncs, que les emissions de partícules en suspensió generades per la dispersió de iodur de plata als cremadors de base terrestre comporten un risc seriós per a la salut humana a partir dels 500 m de distància dels focus emissors, incrementant progressivament la seva perillositat al disminuir la proximitat als generadors. Fins i tot alguns investigadors [Ballester et al.] consideren que, per al cas de les partícules fines, no sembla que existeixi un límit inferior de concentració (llindar) per sota del qual desaparegui el dany sobre la salut, sinó que es detecten efectes perjudicials simplement quan s'inhalen aquest tipus de partícules en qualsevol proporció d'aire.

7.7- En les condicions expressades en la conclusió anterior, es pot afirmar que l'acció dels cremadors de iodur de plata consisteix a generar una capa densa de micropartícules per damunt de la zona d'aplicació, esquemàticament:



Aquestes partícules fines, pràcticament no sedimentables, són inhalades i transportades cap a l'interior del sistema respiratori. Això suposa que tota una bateria de contaminants orgànics desconeguts, procedents de la combustió incompleta de l'acetona emprada en aquesta tècnica, poden accedir als pulmons dels receptors, probablement adsorbits i transportats sobre la superfície de les partícules. Si a més tenim present que una gran proporció de les partícules en suspensió estan constituïdes per iodur de plata, s'entén que el iode generat en la seva descomposició s'allotjarà als alvèols pulmonars.

7.8- Davant de la introducció al medi d'un pol·luant tant perjudicial per a les persones com les partícules fines en suspensió, ocasionades per les activitats desenvolupades per l'ADV Terres de Ponent, relatives al seu programa de lluita contra la pedra, el Col·lectiu Antiiodur de Plata demana que s'apliquin mesures urgents d'aturada d'aquesta tipologia de pràctiques i se substitueixin per tècniques alternatives de menor risc per a la població, com ara les xarxes antipedregada (vegeu l'annex 2). La petició està encara més justificada pel fet que una gran proporció dels cremadors pertanyents a la xarxa de prevenció i protecció contra la pedra es localitzen a l'interior del casc urbà de moltes poblacions.

8] Bibliografia

Química ambiental

- ▶ DOMÈNECH, X. *Química del suelo*. Ed. Miraguano (1995).
- ▶ DOMÈNECH, X. *Química atmosférica*. Ed. Miraguano (1995).
- ▶ DOMÈNECH, X. *Química de la hidrosfera*. Ed. Miraguano (1998).

- ▶ DOMÈNECH, X. *Química de la contaminación*. Ed. Miraguano (1999).
- ▶ LIDE, D. R. *Handbook of Chemistry and Physics*. Ed. CRC Press. (2000-2001).
- ▶ PRIMO, E i CARRASCO, J.M. *Química agrícola I. Suelos y fertilizantes*. Ed. Alhambra (1987).
- ▶ FIGUERUELO, J. E. i DÁVILA, M. M. *Química – Física del medio ambiente*. Ed. Reverté (2001).

Avaluació de riscos ambientals

- ▶ WATTS, R. J. *Hazardous wastes: sources, pathways, receptors*. Ed. Wiley (1997).
- ▶ PAUSTENBACH, D. J. *The risk assessment of environmental hazards*. Ed. Wiley (1989).

Toxicologia ambiental

- ▶ SULLIVAN, J. B. and KRIEGER, G. R. *Hazardous Materials Toxicology: Clinical Principles of Environmental Health*. Ed. Williams & Williams (1992).
- ▶ *Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, 5th Edition, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati (1986).
- ▶ BARNES, D. G. and DOURSON, M. *Reference Dose (RfD): Description and use in health risk assessments*. Regul. Toxicol. Pharmacol., **8**, 471- 486 (1988).