

**Comparativa entre les emissions de compostos contaminants derivats de la combustió de pneumàtics i de fusta**

**Víctor Mitjans**  
**Llicenciat en biologia (UB) i ciències ambientals (UAB)**

## 1. Introducció

El present informe vol aportar dades per tal de valorar la diferència d'impacte de la combustió de biomassa respecte la combustió de pneumàtics fora d'ús (PFU).

L'actual expedient tracta sobre el projecte de la CEMENTOS MOLINS INDUSTRIAL de modificar la seva autorització ambiental integrada de tal manera que passi a incinerar anualment 15.000 tones més de pneumàtics fora d'ús (PFU) i 4.000 tones més de llots provinents de depuradora urbana (EDAR). Això mentre segueix utilitzant 63.000 tones de combustible derivats de residus (CDR) i 20.000 tones de fusta.

## 2. Els processos de combustió

La combustió és la reacció entre un combustible i un oxidant acompanyat de l'alliberament de calor:  $\text{Combustible} + \text{Oxidant} \rightarrow \text{Productes} + \text{Calor}$

En general, el combustible és carbònic -com la benzina, la fusta o el carbó- i l'oxidant és l'oxigen de l'aire. En processos industrials, la calor generada per la combustió sol utilitzar-se per escalfar o produir energia. Tot i que els principals productes de combustió d'hidrocarburs són el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) i l'aigua, la combustió condueix a emissions d'altres compostos a causa de les impureses en el combustible, la presència de nitrogen a l'aire o els processos de combustió incompleta (Cohen et al., 2013).

Les fonts específiques d'emissions de contaminants atmosfèrics potencialment cancerígenes que impliquen la combustió inclouen motors de combustió interna, calderes de combustió externa (com s'utilitzen per a la generació d'electricitat), forns de ciment, combustió de biomassa, combustió de residus i molt altres (Smith, 2002; Lim, 2004; Zielinska et al., 2004a, 2004b; Lemieux et al., 2004).

### 2.1. La complexitat del procés de combustió

La combustió és un fenomen complex que implica reaccions químiques i la transferència de calor i massa que es produeixen a escales molts diferents que oscil·len des de mides atòmiques fins a centímetres (p.ex. un motor d'automòbil), metres (p.ex. un forn de carbó) o quilòmetres (incendis forestals). A menys que el combustible i l'oxidant siguin molècules simples -per exemple, hidrogen i oxigen, que produeixen aigua- els productes de la combustió sovint són tan complexos i variats com els processos de combustió, formant tants compostos com els que es troben inicialment, si no més. Alguns d'aquests compostos, com l'1,3-butadiè i els hidrocarburs aromàtics policíclics (PAH), són reconeguts com a agents cancerígens. Fins i tot la combustió d'una molècula tan simple com el metà ( $\text{CH}_4$ ) a l'aire pot conduir a la formació de molècules més grans i sotges (Russell, 2013).

Gasosos	particulats	Semi-volàtils
Formaldehid	Diesel	Hidrocarburs aromàtic policíclics (PAH)
Acetaldehid		Bifenils policlorats (PCB)
Acroleïna		
Benzè		
Toluè		
o-, m-, p-Xilens		
1,3-Butadiè		

font: Russell, 2013

Taula 1: Exemples de contaminants produïts en la combustió

L'heterogeneïtat de la combustió del món real comporta la complexitat del procés i l'àmplia gamma de compostos que es formen. Al voltant de la zona de combustió, les concentracions dels productes -el combustible, l'oxidant i els productes de combustió- varien en ordres de magnitud a escales moleculars. La temperatura també pot canviar ràpidament en distàncies d'uns pocs mil·límetres. A més, els fronts de flama es poden moure ràpidament i, per tant, el combustible es pot escalfar ràpidament, començar la combustió i, a continuació, refredar-se, amb més reacció. De la mateixa manera, part de la flama pot tenir excés d'oxigen mentre que una altra part té excés de combustible. Durant la combustió, el destí de les molècules de combustible orgànic està determinat en gran part per les condicions locals (per exemple, temperatura, abundància d'oxigen i temps). Si hi ha molt oxigen present a nivell local, és a dir, directament on es produeix la combustió, el combustible tendeix a oxidar-se i reduir-se a molècules orgàniques més reduïdes fins a formar-se formes de monòxid de carboni (CO) i CO<sub>2</sub> (Russell, 2013).

### 3. La combustió en cimiteres

#### 3.1. Comparació entre reciclatge i incineració en cimiteres

La bibliografia disponible que compara els impactes ambientals de la incineració de pneumàtics fora d'ús (PFU) i el seu reciclatge és sempre favorable a la opció del reciclatge.

Feraldi et al (experts en gestió de residus i anàlisi de cicle de vida) van publicar el març de 2013 al «International Journal of Life Cycle Assessment» un article on comparaven el procés de reciclatge i la combustió de pneumàtics (veure Taula 2) per diferents categories d'impacte ambiental. Com es pot veure, en tots els casos, tant a curt com a llarg termini, el reciclatge és la millor opció, inclosa la contribució al canvi climàtic (el reciclatge de pneumàtics redueix les emissions de CO<sub>2</sub> equivalent més del doble que la substitució de carbó per pneumàtics en cimiteres). En el cas de les emissions de compostos potencialment carcinogènics, la crema de pneumàtics és 60 vegades superiors al reciclatge de pneumàtics.

Impact category (units per tonne of tyres)	Short term		Long term	
	Co- incineration	Material recycling	Co- incineration	Material recycling
Global warming potential (kg CO <sub>2</sub> -eq.)	-796	-1922	-792	-1892
Fossil fuel (GJ)	-27	-50	-27	-49
Iron ore (kg)	-398	-400	-398	-399
Acidification potential (g SO <sub>2</sub> -eq.)	-1561	-6804	-1555	-6744
Nutrification potential, soil (g PO <sub>4</sub> -eq.)	-103	-411	-103	-420
Nutrification potential, water (g PO <sub>4</sub> -eq.)	-0.001	-18	0.0003	-19
Carcinogenic risk potential (mg As-eq.)	-26	-1255	-26	-1235
PM10 (g PM10-eq.)	-1999	-5871	-1995	-5875
Photochemical ozone creation potential (g ethylene-eq.)	-49	-4737	-49	-4740

Taula 2: Comparació entre reciclatge i combustió de pneumàtics

font: Feraldi et al. (2013)

Kløverpris et al (experts en tecnologia i anàlisi de cicle de vida de les consultores Force Technology<sup>1</sup>, Copenhagen Resource Institute<sup>2</sup> i IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH<sup>3</sup>) van publicar un informe on comparaven el procés de reciclatge i la combustió de pneumàtics (veure Taula 2) per diferents categories d'impacte ambiental. Com es pot veure, en tots els casos, tant a curt com a llarg termini, el reciclatge és la millor opció. És especialment la contribució al canvi climàtic on es pot veure que el reciclatge de pneumàtics redueix les emissions de CO<sub>2</sub> equivalent el triple que la substitució de carbó per pneumàtics en cimiteres). També cal destacar que la contribució a la formació de smog -boira fotoquímica- és més de quatre vegades superior en el cas de la combustió de pneumàtics que en el seu reciclatge. Els impactes sobre el sistema respiratori són un 50% superior en el cas de la combustió.

1 <https://forcetechnology.com/en/about-force-technology>

2 <https://cri.dk/about-cri>

3 <https://www.ifeu.de/english/index.php?seite=dasinstitut>

**Table 3** LCIA results for the baseline scenario of EOL treatment of 1 mt of mixed US scrap tires

Impact category	Characterization factor	Attributional approach						Consequential approach	
		Short term			Long term			Short term	Long term
		MR	ER	Delta	MR	ER	Delta	Shift to MR	Shift to MR
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq	-1,487	-501	-985	-1,480	-503	-978	-999	-1,004
Energy use	GJ	-56.6	-34.2	-22.5	-58.8	-35.5	-23.3	-22.3	-23.5
Iron ore	kg iron ore	-178	-143	-35.2	-178	-143	-35.2	-35.2	-35.2
Acidification	H <sup>+</sup> moles eq	-825	-277	-548	-822	-267	-555	-557	-568
Eutrophication	kg N eq	-0.20	-0.067	-0.13	-0.20	-0.056	-0.14	-0.14	-0.14
Smog	kg NO <sub>x</sub> eq	-6.39	-1.52	-4.87	-6.4	-1.28	-5.11	-5.07	-5.22
Respiratory effects	kg PM <sub>0</sub> eq	-1.71	-1.04	-0.68	-1.7	-1.02	-0.67	-0.67	-0.71

Negative values indicate potential environmental impact reductions. The short-term results are estimated for the years 2009 through 2014, while the long-term results are estimated for the year 2020

MR material recycling, ER energy recovery

Taula 3: Comparació entre el reciclatge i la valorització energètica de pneumàtics

font: Kløverpris et al.(2014)

### 3.2. Comparació entre la combustió de biomassa i de pneumàtics

Els forns de ciment s'utilitzen en el procés de calcinació del ciment, que requereix de temperatures elevades. En general, es fa servir el carbó com a combustible, cosa que condueix a emissions similars a les de les centrals tèrmiques de carbó. Un altre combustible utilitzat típicament per forns de ciment són els pneumàtics usats (o altres residus amb valor calorífic), que poden conduir a nivells més alts de sotge i de PAH (Russell, 2013).

No s'ha trobat bibliografia que compari directament la crema de biomassa (fusta) i la de PFU des del punt de vista ambiental. Per a poder aportar les dades necessàries per a valorar la diferència d'impactes entre els dos combustibles s'han comparat els factors d'emissió<sup>4</sup> pels quals sí que s'ha trobat fonts de dades. Com es pot veure a la Taula 4, els factors d'emissió d'una sèrie de contaminants orgànics i metalls pesants és molt superior en el cas dels pneumàtics que no pas en el de la fusta. Cal destacar que els factors d'emissió dels metalls pesats són centenars de milers de vegades més elevades en el cas dels pneumàtics i que en el cas dels PAH, oscil·len entre 5 i 2300 vegades més en el cas dels pneumàtics.

<sup>4</sup> Els factors d'emissió de contaminants atmosfèrics són valors representatius que intenten relacionar la quantitat d'un contaminant alliberat a l'aire ambient amb una activitat associada a l'alliberament d'aquest contaminant. Aquests factors solen expressar-se com el pes del contaminant dividit per un pes unitari de l'activitat que emet el contaminant (p.ex., Quilograms de partícules emeses per megagram de carbó cremat).

factors d'emissió (g/kg)	fusta	pneumàtics	relació Pneumàtics:fusta
	g/kg	g/kg	
NO <sub>x</sub>	1,7000000	5,5000000	3,24
SO <sub>2</sub>	0,2100000	19,0000000	90,48
Bifenils policlorats	0,0005700	0,9300000	1.631,58
formaldehid	0,0762080	0,0041860	0,05
benzè	0,0727440	1,9290000	26,52
fenol (i derivats)	0,0008833	0,7049000	798,01
hidrocarburs aromàtics policíclics			
fluorè	0,0000589	0,1894900	3.217,80
fenantrè	0,0001212	0,2527300	2.084,54
antracè	0,0000520	0,0496100	954,77
fluorantè	0,0000277	0,4633500	16.720,19
pirè	0,0000641	0,1534900	2.395,14
benzo(a)antracè	0,0000011	0,1037100	92.121,16
crisè	0,0000007	0,0948300	144.083,51
benzofluorantè	0,0000017	0,0000001	0,08
benzo(e)pirè	0,0000000	0,0202000	448.569,91
benzo(a)pirè	0,0000011	0,1151160	102.252,62
perilè	0,0000000	0,0164000	1.820.927,34
metalls pesants			
Arsènic	0,0000036	0,0001000	27,78
Crom	0,0004400	0,0001157	0,26
Cadmi	0,0002500	0,0002000	0,80
Mercuri	0,0000110	0,0000165	1,50
níquel	0,0000380	0,0001000	2,63
coure	0,0001100	0,0020000	18,18
zenc	0,0097000	0,2000000	20,62
plom	0,0005100	0,0020000	3,92

font: elaboració pròpia a partir de Kirk, 2015; Downard, 2014; Cegielski, 2016; NAEI, 2017

Taula 4: factors d'emissió de fusta i pneumàtics

## Comparació del valor calorífic

Per comparar les emissions de la crema dels dos combustibles analitzats no és suficient tenir en compte els factors d'emissió sinó que cal normalitzar-los d'acord amb la quantitat de combustible necessari per a obtenir una mateixa quantitat de calor. Per a obtenir 100 MJ d'energia cal cremar 3,07 kg de pneumàtics mentre que són necessaris 8,06 kg de fusta.

	valor calorífic (MJ/kg)
pneumàtics	32,5
fusta	12,4

## Conclusions

Per tal de normalitzar les emissions i permetre la comparació s'ha quantificat les emissions dels contaminants anteriors per produir 100 MJ amb fusta i pneumàtics. Com es pot veure en la taula següent, l'obtenció de calor a través de pneumàtics en comptes de fusta és clarament desfavorable en el cas dels pneumàtics, amb emissions desenes o centenars de vegades superiors:

emissions de contaminants	fusta	pneumàtics	
	g/100MJ	g/100MJ	relació fusta/pneumàtics
Nox	13,702	16,885	1,2
SO2	1,6926	58,33	34,5
Bifenils policlorats	0,0045942	2,8551	621,5
formaldehid	0,61423648	0,0128510389	0,0
benzè	0,58631664	5,92203	10,1
fenol (i derivats)	0,0071195592	2,164043	304,0
hidrocarburs aromàtics policíclics			
fluorè	0,0004746373	0,5817343	1.225,6
fenantrè	0,0009771944	0,7758811	794,0
antracè	4,2E-04	0,1523027	363,7
fluorantè	0,0002233587	1,4224845	6.368,6
pirè	0,000516517	0,4712143	912,3
benzo(a)antracè	9,073948E-06	0,3183897	35.088,3
crisè	5,30477E-06	0,2911281	54.880,4
benzofluorantè	1,40E-05	4,233283E-07	0,0
benzo(e)pirè	3,629579E-07	0,062014	170.857,3
benzo(a)pirè	9,073948E-06	0,35340612	38.947,3
perilè	7,259158E-08	0,050348	693.579,0
metalls pesants			
Arsènic	2,9016E-05	0,000307	10,6
Crom	0,0035464	0,0003552934	0,1
Cadmi	0,002015	0,000614	0,3
Mercuri	8,866E-05	5,064821E-05	0,6
níquel	0,00030628	0,000307	1,0
coure	0,0008866	0,00614	6,9
zenc	0,078182	0,614	7,9
plom	0,0041106	0,00614	1,5

### 3.3. Diferències d'emissions contaminants entre coc de petroli i pneumàtics

Les dades disponibles sobre les emissions de la crema de pneumàtics són variables:

- Alguns estudis comparen una barreja de pneumàtics i carbó amb el 100% de carbó; uns altres es comparen amb altres barreges de combustibles.
- La composició química del carbó pot variar segons el tipus de carbó i la regió.
- Les dades són de forns de ciment, fàbriques de paper o altres calderes industrials.
- Les condicions d'ús poden variar.

En termes generals els impactes sobre el canvi de combustible segueixen les següents tendències:

<b>increment</b>	<b>possibles increments</b>	<b>disminució</b>
crom	arsènic	fluor
coure	bari	òxids de nitrogen
plom	beril·li	
níquel	cadmi	
zenc	clor	
dioxines/furans	àcid hidroclòric	
PCB	magnesi	
PAH	manganès	
diòxid de sofre	mercuri	
monòxid de carboni		
benzè		

*Taula 5: canvis en les emissions de contaminants derivats del pas de carbó a pneumàtics*

*font: Ewall & Nicholson, 2007.*



### 3.4. Emissió potencial de dioxines i furans

Les dibenzodioxines policlorades (PCDD) i els dibenzofurans policlorats (PCDF) són una família d'hidrocarburs aromàtics halogenats que són subproductes de combustió i processos químics en presència de clor, brom o fluor més altres compostos orgànics. En els processos tèrmics aquests compostos es generen entre els 250 i 400°C, i la seva síntesi es veu facilitada per la presència de determinats metalls com a coure, zinc, alumini, ferro, i algunes matèries carbonoses com les cendres volants i les partícules; moltes d'aquestes substàncies formen part de la composició ordinària dels pneumàtics.

De les dades epidemiològiques disponibles es desprèn que aquests compostos poden ser els més tòxics que es coneixen. Diversos estudis han estat assenyalats com a causants de càncer, alteracions neurològiques, hepàtiques, immunològiques, disfuncions hormonals, esterilitat, endometriosi i alteracions cutànies entre altres.

Les dioxines es produeixen de forma natural, principalment a causa dels incendis forestals, però són alliberades en concentracions més grans per activitats antropogèniques, incloses la incineració de residus comercials i municipals, la combustió de les escombraries domèstiques, la combustió de combustibles fòssils, la producció de paper i altres processos industrials (USEPA, 2000).

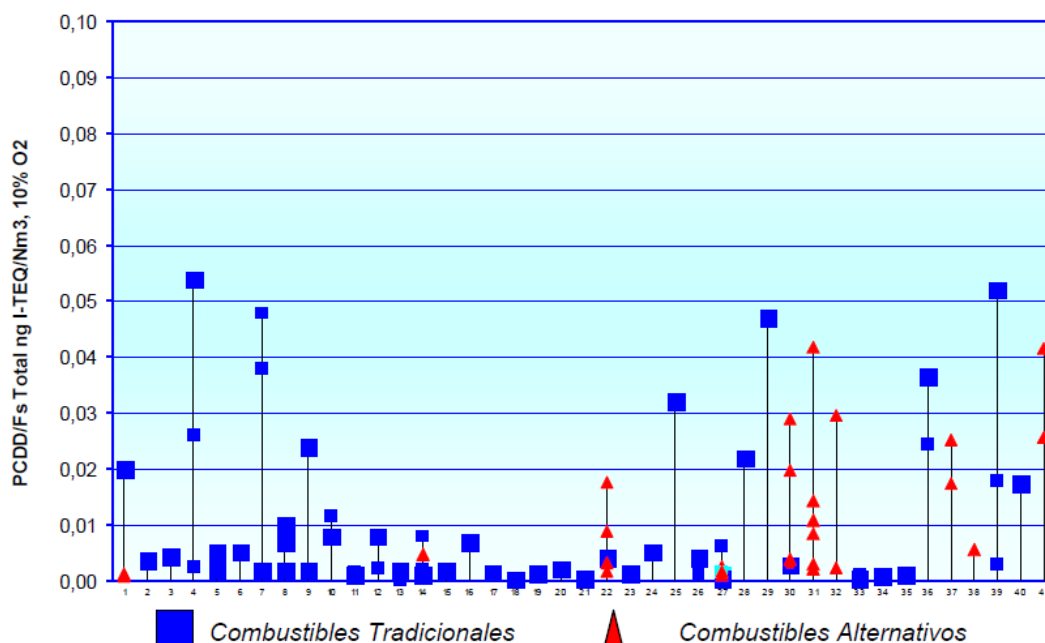
Avui dia, es considera que les mesures més adequades per reduir -tot i que no evitar- l'emissió de les dioxines i furans són el manteniment d'una temperatura de combustió per sobre dels 850°C i un temps de residència dels gasos de combustió de 2 segons a aquesta temperatura així com el control de les turbulències durant la combustió.

Segons l'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units (USEPA), els factors d'emissió de dioxines i furans derivats de la crema de pneumàtics en plantes cimenteres és el següent.

Isòmer	mg/kg pneumàtics cremats
2,3,7,8-TCDD	1.08x10 <sup>-8</sup>
2,3,7,8-TCDF	2.71x10 <sup>-8</sup>
2,3,7,8-TCDD TEQ	5.40x10 <sup>-7</sup>
dioxines totals	3.25x10 <sup>-6</sup>
furans totals	1.07x10 <sup>-5</sup>

Segons les dades aportades per Ruiz et al 2005, els rangs del factor d'emissió de PCDD/Fs I-TEQ són de 0,67-246 ng/t clínquer amb ús de combustible convencional (coc, fuel-oil o carbó) mentre que en el cas de combustibles alternatius (farines, olis usats, pneumàtics...) oscil·len entre 0,83-133 ng/t clínquer. Com es pot veure, en el rang més baix, els factors d'emissió de PCDD/Fs amb combustibles alternatius són un 23% més elevades.

D'altra banda, com es pot veure en el següent gràfic, la major part de cimenteres (eix x) que fan servir combustibles tradicionals, tenen unes emissions molt més baixes de dioxines que les incineradores que fan servir combustibles alternatius.



**Figura 6.3.** Emisió de PCDD/Fs totals en los hornos de clínker muestreados durante los años 2000-2003, expresado en unidades de toxicidad, ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>, 10% O<sub>2</sub>.

Per tant, a falta d'estudis específics sembla evident que la presència de pneumàtics com a combustible a les cimenteres significarà un increment en les emissions de contaminants persistents com les dioxines respecte la situació actual de crema de fustes per la diferència en les seves composicions químiques.

### 3.5. Emisió potencial de metalls pesants i impactes sobre la salut

Les matèries primeres, els combustibles fòssils i els residus utilitzats com a combustibles contenen metalls en concentracions variables. En la incineració de pneumàtics en cimenteres, podem agrupar els contaminants metàl·lics (les substàncies i els seus compostos) d'acord a la seva volatilitat. Així tindrem:

- Metalls que són o tenen compostos no volàtils: bari (Ba), beril·li (Be), crom (Cr), arsènic (As), níquel (Ni), vanadi (V), alumini (Al), titani (Ti) calci (Ca), ferro (Fe), manganès (Mn), coure (Cu), plata (Ag).
- Metalls que són o compten semivolàtils: antimoni (Sb), cadmi (Cd), plom (Pb), seleni (Se), zinc (Zn), potassi (K), sodi (Na).
- Metalls que són o tenen compostos volàtils: mercuri (Hg), tal·li (Tl).

A pesar d'estar presents en petites quantitats, els metalls i els compostos metàl·lics són uns tòxics molt perillosos per a la salut humana, arribant alguns d'ells a ser considerats com agents cancerígens, i fins i tot alguns com el plom es presumeix que actua com un disruptor endocrí .

A continuació s'indiquen alguns efectes dels principals metalls pesants que es troben als pneumàtics:

#### Tal·li

És tòxic per ingestió, inhalació i absorció cutània. Per la seva elevada biodisponibilitat resulta especialment tòxica per als organismes aquàtics. Presenta una alta mobilitat en el sòl, pel que pot presentar un risc significatiu per als vegetals. En els humans afecta fonamentalment el sistema nerviós i genera sensibilitat cutània. És bioacumulatiu. A baixes dosis es pot interactuar amb el sistema enzimàtic i els neurotransmissors.

## **Cadmi**

Element que persisteix en el medi ambient amb potencial tòxic i bioacumulatiu.

- Efectes aguts: l'exposició respiratòria d'alts nivells de cadmi produeix irritació bronquial i pulmonar i gènere després d'una inhalació aguda, una disminució a llarg termini de la funció pulmonar.
- Efectes crònics: la inhalació i la ingestió afecten el ronyó produint la proteinúria, disminució de la filtració urinària i litiasis renal. També produeixen toxicitat respiratòria amb bronquitis, bronquiolitis i enfisema.
- Efectes reproductius: hi ha evidències de baix pes i creixement intrauterí retardat, després de l'exposició materna al cadmi sigui per via digestiva o respiratòria.
- Risc de càncer: diversos estudis han evidenciat un augment en el risc, respecte al previst, de patir càncer de pulmó després de l'exposició respiratòria. El cadmi està catalogat com a probable agent cancerígen humà.

## **Plom**

Metall molt tòxic que origina una gran varietat d'efectes perjudicials, fins i tot a dosis molt baixes. Té un gran potencial de bioacumulació i es manté durant molt temps contaminant el medi ambient. Se li considera un possible disruptor endocrí.

- Efectes aguts: produeixen símptomes gastrointestinals com dolor abdominal, vòmits, diarrea i pot ocasionar la mort per enverinament.
- Efectes crònics: presenta toxicitat a la sang (anèmia), sistema nerviós (disminució de les capacitats sensorials i motores), retarda el creixement en els nens, toxicitat renal i alteració en la pressió sanguínia.
- Efectes reproductius: afecta els testicles, a la pròstata i a les vesícules seminals (disminució dels espermatozoides i del volum del semen), augmenta els abortos i els lactants presenten un retard en el creixement físic i mental.
- Risc de càncer: les dades no són concloents, però dades limitades suggereixen un alt risc de càncer pulmonar, renal i estómac. El plom és considerat com un possible agent cancerígen humà.

## **Mercuri**

Substància molt tòxica, bioacumulable i amb gran persistència mediambiental.

- Efectes aguts: produeixen efectes gastrointestinals (sabor metàl·lic, nàusees, vòmits i dolor abdominal), respiratoris (tos, dificultat respiratòria, dolor toràcic, disminució de la funció pulmonar i pneumònia bilateral) i principalment sobre el SNC (alteracions visuals i ceguera, de debilitat, disminució de la consciència, al·lucinacions, deliri, tendències suïcides i mort).
- Efectes crònics: produeix alteracions neurològiques (molèsties a les extremitats, vista borrosa, fatiga muscular, de debilitat i dificultats en el llenguatge, hiperexcitabilitat, irritabilitat, insomni, salivació excessiva, tremors ...) i lesions renals. En nens produeix cames musculars a les cames, sensació de picor a la pell i engruiximent dolorós dels dits de les mans i dels peus.
- Efectes reproductius: algunes dades suggereixen un augment dels avortaments i de les malformacions als nens.
- Risc de càncer: els estudis no són concloents, però és considerat com un possible agent cancerígen humà.

## 4. Conclusions

Analitzades les dades exposades anteriorment es pot arribar a les següents conclusions:

- L'activitat de fabricació de ciment suposa l'emissió de contaminants que poden generar afeccions importants per a la salut de les persones i del medi.
- La substitució de fusta per pneumàtics no té beneficis ambientals; ans al contrari, per la major part dels contaminants analitzats, la combustió de pneumàtics emet quantitats significativament superiors que la de fusta.
- En el cas de les dioxines, és molt probable que la crema de pneumàtics comporti majors emissions que l'ús de combustibles tradicionals o de combustibles com la fusta.

## 5. Bibliografia

Blumenthal, Michael. «The Use of Scrap Tires in Rotary Cement Kilns», s.d.  
Cohen, Aaron J, Jonathan M Samet, Kurt Straif, i International Agency for Research on Cancer. *Air Pollution and Cancer*. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2013. <http://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>.

Downard, Jared Matthew. «Particulate emissions of tire combustion», 2014.  
Energy Justice Network. «Tire fluidized bed combustors», s.d.

Ewall, Mike i Nicholson, Katy. Hazardous Waste and Tire Incineration in the U.S. and Mexican Cement Industries: Environmental and Health Problems. 2007.

Feraldi, Rebe, Sarah Cashman, Melissa Huff, i Lars Raahauge. «Comparative LCA of Treatment Options for US Scrap Tires: Material Recycling and Tire-Derived Fuel Combustion». *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18, núm. 3 (març 2013): 613-25. doi:10.1007/s11367-012-0514-8.

ISTAS. Posibles afecciones y riesgos ambientales derivados de las emisiones procedentes de los hornos cementeros. 2002.

Kløverpris, Hedal, Anders Schmidt, Birgitte Jørgensen Kjær, Ioannis Bakas, Regine Vogt, i Jürgen Giegrich. «Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: material recycling vs. co-incineration in cement kilns». *enan Business & Development A/S*, 2009.

Mahalle, Lal. «Comparative Life Cycle Assessment of Pellet, Natural Gas and Heavy Fuel Oil as Heat Energy Sources». FPIInnovations, 2013.

Nkosi, Nhlanhla, Edison Muzenda, i John Zvimba. «Using tyre derived fuel: An analysis of the benefits», 2013. Office of Air Quality Planning and Standards, Office of Air and Radiation, i U.S. Environmental Protection Agency. «Compilation of Air Pollution Emission Factors», setembre 1992.

Ruiz, M Luisa, M Ángeles Martínez, A de la Torre, i Begoña Fabrellas Rodríguez. *Estudio y resultados de la participación del Sector Cementero Español en el Inventario Nacional de Dioxinas y Furanos (2000-2003)*. Ciemat, 2005.

USEPA «Locating and estimating air emissions from sources of dioxins and furans». Office of Air Quality Planning And Standards Office of Air And Radiation U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park, North Carolina 27711, 1997.

USEPA. «Exposure and Human Health Reassessment of 2, 3, 7, 8-Tetrachlorodibenzo-p-Dioxin (TCDD) and Related Compounds». *Washington, DC: US Environmental Protection Agency*, 2000.