14.- Monitorització

14.1.- Nivells de PCDD/Fs en sòls

En aquest apartat es presenten els resultats de la monitorització dels nivells de dioxines i furans en sòl, realitzada a les rodalies de la planta incineradora de Montcada i Reixac. La primera part de la monitorització va ser als anys 1996, 1997 i 1998, amb l'objectiu d'identificar els nivells ambientals al sòl de les PCDD/Fs, així com també les variacions temporals i espacials dels seus nivells. La segona part es va dur a terme al 2000, després de la instal·lació d'un nou sistema de neteja de gasos que va portar una disminució significativa de les emissions de la planta per xemeneia. Aquesta segona part de la monitorització, tenia com objectiu avaluar l'efecte que sobre el medi té el descens de les emissions de la planta incineradora.

14.1.1.- Nivells de PCDD/Fs en les mostres de sòl (variació temporal)

La Taula 14.1 mostra les concentracions mitjanes de PCDD/PCDFs en les 24 mostres de sòl recollides en les proximitats de la planta als anys 1996, 1997, 1998 i 2000. També es presenta la variació temporal de cada mostra entre les recollides de 1996 i 1997, 1997 i 1998, i 1998 i 2000. Una comparació dels resultats de l'última monitorització al 2000 (després de la instal·lació de les millores ambientals a la planta) amb l'anterior, realitzada al 1998, mostra un descens global en el valor I-TEQ del 55%. S'observa una disminució de concentració en 16 de les 24 mostres, mentre que les 8 mostres restants mostren un increment. Si comparem la recollida de l'any 1998 amb la recollida de l'any 1997, observem un augment en el valor d'I-TEQ del 87%, observant-se una disminució en 9 de les 24 mostres, un increment en 14 de les mostres, i una mostra sense cap variació (la mostra S8, sud a 3000 m). Per altra banda, si comparem l'any 1997 respecte a 1996 observem una disminució del 27%, on 15 de les 24 mostres van reduir el seu nivell, mentre que les altres 9 restants van mostrar increments de diferent consideració. Malgrat tot, l'anàlisi estadístic de les dades no va donar diferències estadísticament significatives entre les diferents recollides. A la Figura 14.2. es presenta un resum dels I-TEQ en cada recollida.

Taula 14.1.- Concentracions de PCDD/Fs (ng I-TEQ/kg p.s.) en mostres de sòl recollides en les proximitats de la incineradora de residus urbans de Montcada i Reixac.

Mostra					**% variació**		
	1996	**1997**	**1998**	**2000**	**96/97**	**97/98**	**98/00**
NE1	1.04	5.84	16.90	4.04	462	189	-76
NO1	16.80	3.9	7.99	22.10	-77	105	177
S1	23.80	19.72	12.20	4.52	-17	-38	-63
NE2	1.29	2.41	1.51	49.40	87	-37	3172
NO2	4.22	4.95	7.24	1.38	17	46	-81
S2	0.76	1.59	0.75	0.39	109	-53	-48
NE3	2.14	1.34	5.40	0.95	-37	303	-82
NO3	5.18	6.3	8.06	0.99	22	28	-88
S3	3.00	4.44	2.51	9.12	48	-43	263
NE4	2.05	0.15	5.73	2.16	-93	3720	-62
NO4	8.14	4.06	6.51	2.14	-50	60	-67
S4	44.30	29.27	1.99	5.55	-34	-93	179
NE5	0.54	6.23	0.45	0.98	1045	-93	118
NO5	1.94	1.89	1.84	1.70	-3	-3	-8
S5	1.90	0.23	8.03	4.91	-88	3391	-39
NE6	11.30	2.72	5.65	5.50	-76	108	-3
NO6	5.14	0.27	0.60	0.51	-95	121	-14
S6	2.07	2.86	4.21	0.37	38	47	-91
NE7	10.60	3.64	2.63	2.78	-66	-28	6
NO7	2.11	1.6	4.00	0.23	-24	150	-94
S7	6.21	1.77	7.06	6.06	-71	299	-14
NE8	4.04	1.66	127.00	3.20	-59	7551	-97
NO8	0.28	0.4	0.06	1.12	44	-86	1900
S8	6.92	0.39	0.39	1.54	-94	0	295

Taula 14.2.- Nivells de PCDD/Fs (ng I-TEQ/kg p.s) en mostres de sòl.

	rang	mediana	mitjana
1996	0.28- 44.30	3.52	6.91
1997	0.15 - 29.27	2.57	4.48
1998	0.06 - 127.00	4.81	9.95
2000	0.23- 49.40	2.15	5.49

A la Figura 14.1, es mostren els diagrames de caixes corresponen als I-TEQ per a les quatre recollides consecutives. Aquest diagrama representa en el rectangle, la meitat central de les dades que va des del primer al tercer quartil (un quartil és el punt de divisió d'un conjunt de dades quan es divideix en quarts). La mediana es representa com una barra dins de la caixa. Una línia s'estén des del tercer quartil al percetil 95%, i una altra del primer quartil al percentil 5%. S'observa un número de mostres representades fora del diagrama. Aquests punts es consideren valors atípics (o) o valors extrems (∗). Valor atípic és aquell que es troba a una distancia de la vora superior o inferior d'entre 1.5 i 3 vegades la longitud de la caixa (amplitud intercuartils). Valor extrem és aquell que es troba a una distancia de la vora superior

o inferior més de 3 vegades la longitud de la caixa. Degut a la presència de valors atípics i extrems, totes les comparacions realitzades entre les diferents recollides, s'han fet amb medianes.

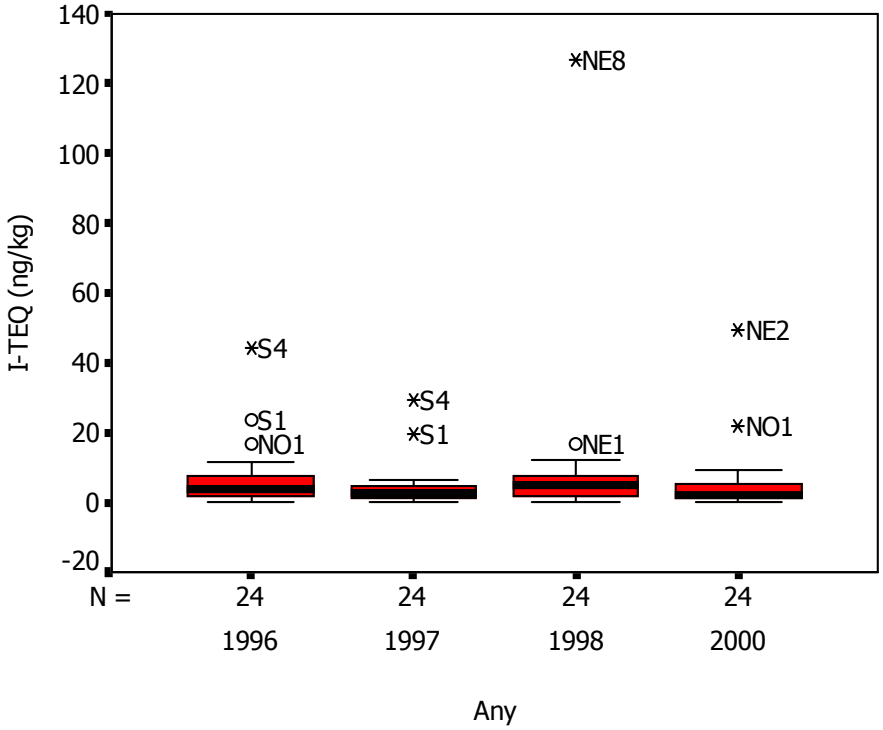

Figura 14.1.- Diagrama de caixa de les mostres de sòl recollides en les proximitats de la incineradora de Montcada i Reixac durant els anys 1996, 1997, 1998 i 2000.

En referència al congènere més tòxic (2,3,7,8-TCDD), al 2000 aquest va ser detectat en 17 de les 24 mostres (límit de detecció: 0.05 ng/kg p.s.), amb una concentració màxima de 0.50 ng/kg (p.s). La mitjana de 2,3,7,8-TCDD va ser 0.15 ng/kg p.s. (mediana: 0.10 ng/kg). Al estudis de 1996, 1997 i 1998, la mitjana de la 2,3,7,8-TCDD va ser 0.26 ng/kg (p.s.) (mediana: 0.14 ng/kg p.s), 0.15 ng/kg p.s (mediana, 0.10 ng/kg p.s), i 0.18 ng/kg (p.s.) (mediana: 0.20 ng/kg p.s), respectivament. El rang de les concentracions d'OCDD a l'estudi de 2000 va estar entre 6 i 750 ng/kg, amb una mitjana i una mediana de 129.45 i 64.00 ng/kg. La concentració d'OCDD va estar entre 1.63 i 2100.23 ng/kg a l'estudi realitzat al 1996, entre 2.2 i 700 ng/kg a l'estudi de 1997 i entre 3.4 i 37000 ng/kg a l'estudi realitzat al 1998.

14.1.2.- Distribució dels diferents congèneres a les mostres de sòl

A la Figura 14.2 es mostren els nivells de concentració mediana dels congèneres de PCDD/Fs per a les mostres recollides al 1996, 1997, 1998 i 2000. Els resultats indiquen

que els isòmers més substituïts s'acumulen amb major intensitat en el sòl. En la majoria de les mostres, l'OCDD és el congènere predominant. La Figura 14.3 representa el perfil de distribució dels homòlegs de PCDD/Fs (considerant tots els congèneres, els tòxic i els no tòxics), corresponent a les mostres recollides al 2000. L'homòleg de TCDD representa la suma de la concentració mesurada per a tots els congèneres existents de TCDD; és a dir, de tots els congèneres que tenen 4 clors substituïts indiferentment de la seva posició. El perfil que presenten les nostres mostres és el típic perfil de PCDD/Fs en sòls recollits en les proximitats d'incineradores de residus municipals (Birmigham, 1990; Bruzy i Hites, 1995; Jiménez *et al.,* 1996; Schuhmacher *et al.,* 1997b, 1998b). Aquest perfil es pot justificar pel fet de que el sòl reflecteix la deposició durant llargs períodes de temps. Per altra banda, els congèneres més substituïts tenen una baixa pressió de vapor amb una elevada K_{ow}, juntament amb una elevada vida mitjana, a diferència dels congèneres menys substituïts (Shiu *et al.*, 1988).

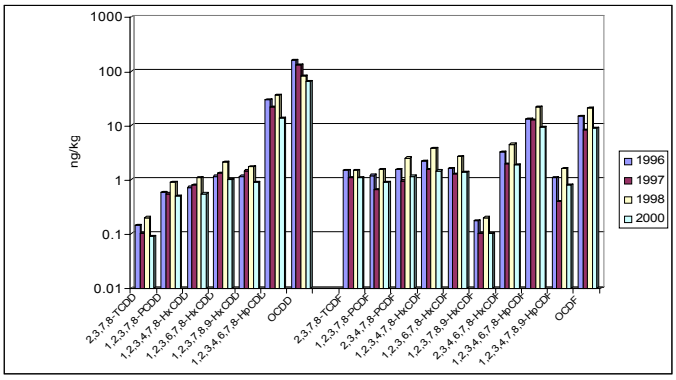

Figura 14.2.- Nivells de concentració mediana dels congèneres de PCDD/Fs en mostres de sòl recollides en les proximitats de la incineradora de Montcada i Reixac durant els anys 1996, 1997, 1998 i 2000.

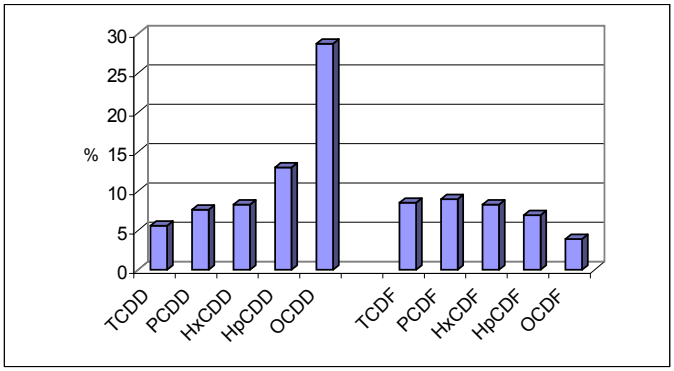

Figura 14.3.- Perfil dels homòlegs de PCDD/Fs en sòls recollits l'any 2000 en les proximitats de la planta incineradora de Montcada i Reixac.

14.1.3.- Nivell de PCDD/Fs en sòl segons la direcció del vent (variació espacial).

La Figura 14.4 mostra els valors de les medianes dels diferents congèneres de PCDD/Fs en sòls, per a cadascuna de les tres direccions predominants del vent pels

estudis realitzats al 1996, 1997, 1998 i 2000. A l'Annex C és presenten els valors corresponents a cada congènere en les direccions predominants del vent.

A l'estudi realitzat a l'any 2000, les concentracions de PCDD/Fs van disminuir en dues de les direccions de la rosa dels vents respecte a l'estudi realitzat al 1998, (46% i 76% per a la direcció NE i NO, respectivament), mentre que a la direcció S es va presentar un augment (40%). A l'estudi de 1998, les concentracions de PCDD/Fs van presentar un augment respecte al 1997 en les tres direccions de la rosa del vent (115%, 82% i 45% per al NE, NO i S, respectivament). Durant 1997, les concentracions medianes de PCDD/Fs van disminuir en les direccions NO i S (38% i 50%, respectivament), respecte al 1996. Per contra, els nivells de PCDD/Fs van incrementar en la direcció NE (22%). Malgrat això, aquestes variacions no presenten cap diferència estadísticament significativa entre els diferents anys. Quan es va aplicar el test estadístic de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney als nivells de PCDD/Fs segons les diferents direccions del vent, no es va trobar cap diferència significativa.

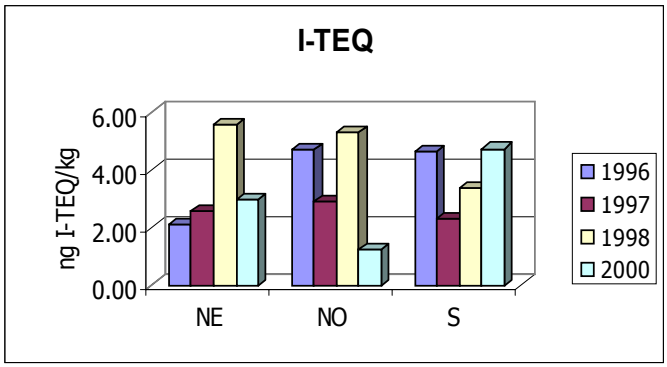

Figura 14.4.- Nivells de dioxines (ng I-TEQ/kg) en mostres de sòl segons les diferents direccions del vent.

Els vents predominants a l'àrea d'estudi provenen de la direcció nord i sud-est (Figures 11.1 i 11.2). Per aquest raó els nivells més baixos els trobem a la direcció nord-est, ja que el sòl d'aquesta direcció no es troba a l'àrea d'influència directa de la planta. Malgrat això, al 1998 el sòl va mostrar un nivell molt alt a la direcció nord-est. Si observem la Figura 14.1 es pot veure que al 1998 les mostres recollides a la direcció nord-est presenten una mostra amb un valor extrem i una altra amb un valor atípic. Aquest fet indica que la direcció nord-est al 1998 presenta uns valors més alts de la resta de mostres. Aquesta concentració tan alta en un moment puntual i en un lloc puntual, posa clarament de manifest la presència d'una altra contaminació temporal (al 1998) i espacial (direcció NE).

14.1.4.- Nivells de PCDD/Fs en sòl segons la distància a la planta (variació espacial).

Les distàncies s'han agrupat de dos en dos formant grups. Això s'ha fet per tal de poder aplicar una anàlisi estadística de forma rigorosa. La Figura 14.5 presenta els nivells d'I-TEQ de PCDD/Fs en funció de les diferents distàncies a la incineradora. En aquesta figura s'observa com els nivells d'I-TEQ presenten un increment al llarg dels anys. Aquest fet és totalment lògic considerant que el sòl és un biomonitor acumulatiu de llargs períodes de temps. Al 1998 s'observa un increment dels nivells per a totes les distàncies, fet degut a l'increment observat en les mostres d'aquest any, tal i com s'ha comentat anteriorment i com s'observa a la Figura 14.1.

A l'Annex C es presenten les taules corresponents als nivells dels 17 congèneres tòxics de dioxines al sòl per a les diferents distàncies a la xemeneia. Al 2000, s'observa un descens de PCDD/Fs per totes les distàncies en comparació amb l'any 1998. Durant 1998 es va observar un increment de PCDD/Fs per totes les distàncies en comparació amb l'any 1997. Si comparem els estudis de 1996 i 1997, s'observa com el nivell de PCDD/Fs va augmentar a totes les distàncies, excepte per a les mostres més allunyades de la xemeneia (2000-3000 m). Malgrat això, aquestes diferències no han resultat estadísticament significatives.

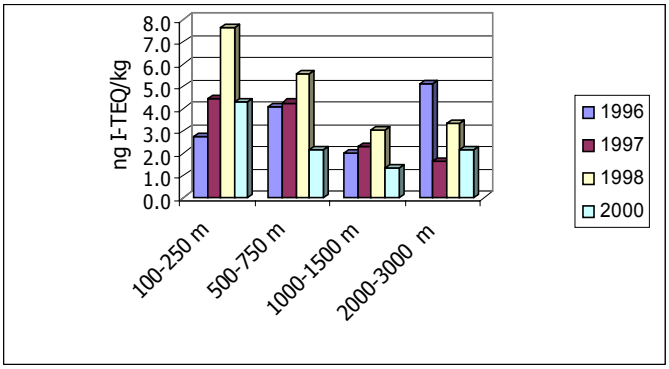

Figura 14.5.- Nivells de dioxines (ng I-TEQ/kg) en mostres de sòl agrupades segons les diferents distàncies a la incineradora.

Recentment, Trapp i Matthies (1997) van investigar la volatilització de les PCDD/Fs presents al sòl mitjançant un model matemàtic. L'estudi va mostrar que per nivells no molt elevats de PCDD/Fs en sòl, l'aire i el sòl es troben bastant pròxims a l'equilibri. Això fa que la desorpció jugui un paper molt poc important en aquells sòls on les concentracions de PCDD/Fs es troben solament lleugerament per damunt de l'equilibri químic. Per contra, es va suggerir que la volatilització del PCDD/Fs en llocs contaminats, podria suposar una font secundària de contaminació de l'aire (Trapp i Matthies, 1997).

La Figura 14.6 presenta la distribució dels homòlegs de PCDD/Fs depenent de la distància a la font emissora. En aquesta figura s'observa que la proporció d'OCDD disminueix a l'allunyar-se de la planta. En canvi, la proporció de TCDD augmenta a l'allunyar-se. Això indica que el transport dels homòlegs no és igual per a tots els congèneres. Els menys substituïts (un pes molecular més baix) es troben majoritàriament en fase vapor, i per tant, poden ser transportats a grans distancies de la font emissora. Per aquest motiu, conforme ens allunyem de la font emissora la concentració dels menys substituïts augmenta. En canvi, els més substituïts (més alt pes molecular) es troben units a la fase particulada. Per aquest motiu, a l'allunyar-nos de la font emissora la concentració decreix.

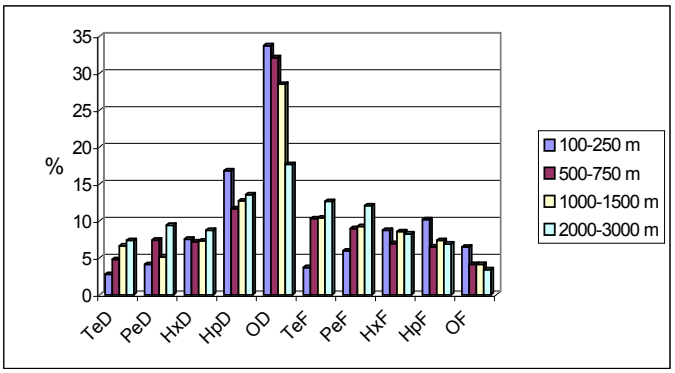

Figura 14.6.- Distribució dels homòlegs de PCDD/Fs en mostres de sòl recollides l'any 2000 a diferents distàncies de la planta.

14.1.5.- Anàlisi multivariant dels nivells de PCDD/Fs a les mostres de sòl.

És ben conegut que tant la quantitat com el tipus de congènere de PCDD/Fs emesos al medi ambient estan relacionats amb la font emissora. S'ha pogut observar que els congèneres trobats en les mostres medi ambientals presenten una composició característica, depenent de la font, així com de les reaccions de descomposició a les quals ha estat sotmesa. En àrees on es pressuposa l'existència de diferents focus d'emissió, l'aplicació d'una anàlisi multivariant pot ajudar a una eficient interpretació de les dades, així com també a extreure el màxim d'informació possible. Per cercar la correlació analítica dels resultats obtinguts en els estudis realitzats al 1996, 1997, 1998 i 2000, així com per avaluar possibles canvis produïts en la distribució dels isòmers que es donen a causa del resultat de reaccions químiques, volatilització, o decloració, es va aplicar l'Anàlisi de Components Principals (ACP) a les 96 (24 x 4) mostres de sòl corresponents als quatre estudis.

De l'Anàlisi de Components Principals es va obtenir un model amb tres dimensions que pot explicar el 93.82% de la variància. El primer component principal (que explica el

61.16% de la variància) està altament i positivament correlacionat amb els congèneres PCDD menys substituïts i amb els PCDF més substituïts, mentre que el segon component (21.73% de la variància) està correlacionat amb els congèneres més substituïts de PCDD, i amb l'OCDF, i el tercer component (10.94% de la variància) està alta i positivament correlacionat amb els PCDF menys substituïts. A l'Annex G es presenta el resultat de l'aplicació d'ACP als nivells de PCDD/Fs a les mostres de sòl.

Les Figures 14.7-14.9 són el resultant de l'aplicació de l'anàlisi multivariant que es va realitzar als nivells de PCDD/Fs a les mostres de sòl recollides al 1996, 1997, 1998 i 2000. La majoria de les mostres presenten un comportament similar i formen una mateixa agrupació. Malgrat això, apareixen unes mostres extremes, les quals corresponen a les mateixes que es van comportar com valors extrems al diagrama de caixa (Figura 14.1). La mostra NE8 (nord-est a 3000 m) del 1998 presenta un alt valor del Factor 2, el que indica que aquesta mostra té un alt nivell dels congèneres de PCDD més substituïts i de l'OCDF. La mostra NE2 (nord-est a 250 m) del 2000 presenta un alt valor del Factor 3, el que indica que aquesta mostra presenta una concentració més elevada que la resta de mostres dels congèneres de PCDF menys substituïts. L'observació de l'ACP suggereix que les mostres que no es troben dintre de l'agrupació principal, presenten algun tipus de contaminació diferent a la resta, la qual no és deguda a les emissions pròpies de la incineradora. Així per exemple, és conegut que els vehicles amb benzines amb plom, són una font important de contaminació per PCDD/PCDFs (Marklund *et al.,* 1987). Malgrat això les mostres S4 (sud a 750 m) de 1996 i 1997 presenten un alt valor del Factor 1. Donat que és un comportament que es repeteix durant dos anys consecutius en un punt determinat, això indica que aquesta mostra va sofrir l'impacte d'una altra font emissora diferent a la planta incineradora de Montcada i Reixac, on les emissions de PCDD menys substituïts i els PCDF més substituïts són característiques.

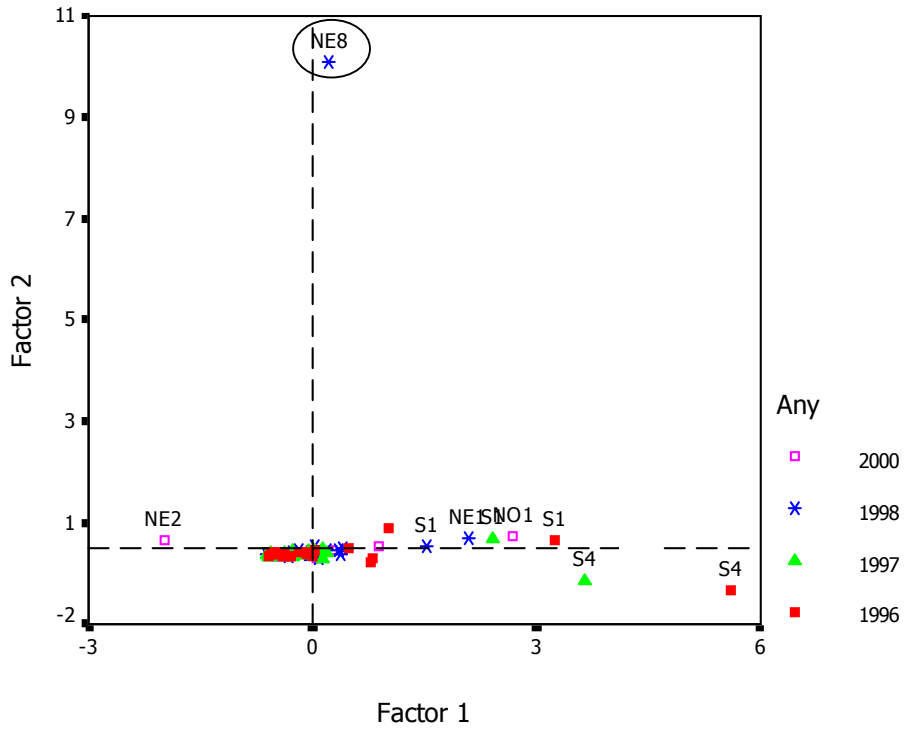

Figura 14.7.- Resultat de l'Anàlisi de Components Principals aplicat al nivell de PCDD/Fs en mostres de sòl: Factor 1 i 2

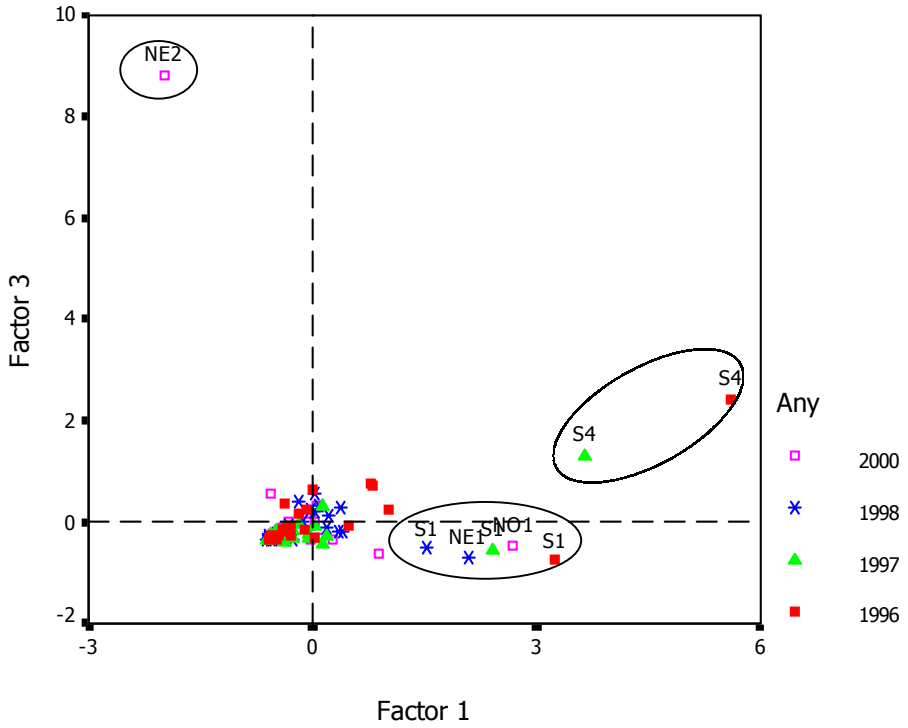

Figura 14.8.- Resultat de l'Anàlisi de Components Principals aplicat al nivell de PCDD/Fs en mostres de sòl: Factor 1 i 3

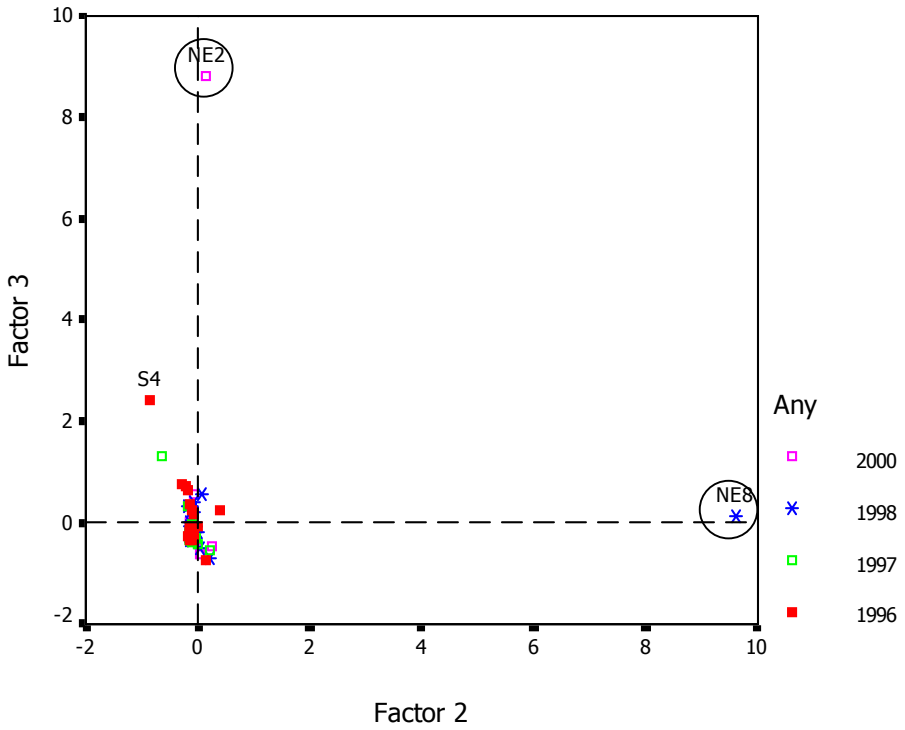

Figura 14.9.- Resultat de l'Anàlisi de Components Principals aplicat al nivell de PCDD/Fs en mostres de sòl: Factor 2 i 3

14.1.6.- Comparació dels nivells de dioxines en sòl amb altres estudis d'incineradores

Es pot dir que els nivells trobats en diferents estudis recents són semblants, i fins i tot més baixos que les concentracions obtingudes en altres mostres recollides també en les proximitats de plantes incineradores de diversos indrets (De Jong *et al.,* 1993; Slob *et al.,* 1993; Lorber *et al.*, 1996; Schuhmacher *et al.,* 1998b).

En las Taules 14.3 y 14.4 es presenten els nivells de dioxines i furans expressats en I-TEQ d'altres investigacions prèvies, i que poden ajudar a la valoració dels resultats obtinguts en el present estudi. A la Taula 14.4 es mostren els resultats dels nivells de PCDD/Fs al sòl corresponents a diferents estudis realitzats a Catalunya. A la Taula 14.4 es presenten els resultats corresponen a sòls de diversos estudis de tot el món. Si comparem els nivells de PCDD/Fs obtinguts en els sòls analitzats en l'àrea de Montcada i Reixac amb els nivells de PCDD/Fs arreu del món, resulten inferiors en la majoria dels casos als descrits per diversos autors. Si els comparem amb els nivells a Catalunya, es troben dins de la mitjana.

Taula 14.3.- Concentracions de dioxines i dibenzofurans (ng I-TEQ/kg) en sòls de diversos lloc del món.

Lloc	Característiques de les mostres	Concentracions (I-TEQ)	Referència
Madrid	Sòls de les rodalies d'una planta incineradora de residus sanitaris	(0.69-11.4)	Jiménez *et al.,* 1996
Ontario (Canadà)	Sòls rurals	0.4±0.6	Birmingham, 1990
	Sòls urbans	11.3±21.8	
	Sòls industrials	40.8±33.1	
Alemanya	Sòls agrícoles:	1.7	Rappe, 1992
	Sòls de prats	2.3	
	Sòls de bosc (fulla caduca)	38.0 (5.9-102)	
	Sòls de bosc (coníferes)	36.9 (11.1-112.1)	
Holanda	Sòls de les rodalies d'una planta incineradora de residus urbans	(18-55)	De Jong *et al.,* 1993
		(13-252)	
		(3-23)	
USA	Sòls rurals	3.14 (0.08-22.9) Mediana 0.77	Fiedler, 1995
USA	Sòls agrícoles		Stephens *et al.*, 1995
	Controls	<0.5	
	Nivell baix	41.9	
	Nivell alt	459	
Columbus, (USA)	Sòls de les rodalies d'una planta IRSU	(49-356)	Lorber *et al.,* 1996
Washington State (USA)	Bosc	2.3 (0.033-5.2)	Yake *et al.,* 2000
	Urbà	4.1 (0.13-19)	
	Agrícola (trillat)	0.14 (0.0078-1.2)	
Corea	Àrea Residencial	1.50	Gon *et al.,* 2000
	Àrea Industrial	8.38	
	Pròxim a carretera	1.85	
	Pròxim a planta de paper	(0.25-7.03)	Jong-Guk *et al.,* 2000
Japó	Pròxim a una incineradora	6.8 (0.00067-110) Mediana 2.6	Teiji *et al.,* 2000
	Gran ciutat	5.4 (0.057-33) Mediana 2.7	
	Petita/mitjana ciutat	5.6 (0.022-61) Mediana 1.5	
	Nivell de fons	1.7 (0.13-5.6) Mediana 1.3	

Les concentracions figuren expressades en mitjanes. En parèntesis es mostren els rangs.

Taula 14.4.- Concentracions de dioxines i dibenzofurans (ng I-TEQ/kg) en sòls de diverses àrees de Catalunya.

Zona d'estudi	Rang	Mediana	Nº mostres
BESÓS 1998 *	1.22-34.28	9.06	24
BESÓS 1999 *	1.33-54.23	14.41	24
SIRUSA 1999 *	0.15-4.89	1.00	24
SIRUSA 1997 *	0.11-3.88	0.88	24
SIRUSA 1996 *	0.22-5.80	0.80	24
UNILAND (cementera)	0.14-0.75	0.28	4
CAMP DE TARRAGONA 1996	0.13-24.20	0.67	40
CAMP DE TARRAGONA 1998	0.12-17.20	0.75	40
MONTCADA 1996*	0.30-44.26	3.52	24
MONTCADA 1997 *	0.15-29.27	2.56	24
MONTCADA 1998 *	0.06-127	4.80	24
MONTCADA 2000 *	0.23-49.40	2.15	24

* Àrea pròxima a una incineradora de residus urbans

A l'estudi de 1997 els resultats indicaven en línies generals, que les concentracions de PCDD/Fs en sòls recollits en les immediacions de la planta incineradora disminuïen en comparació amb 1996. Al comparar amb 1998, es va veure que la concentració de PCDD/Fs no havia canviat durant els últims tres anys i que no eren diferents estadísticament. A l'estudi del 2000, després de la instal·lació de les millores ambientals a la planta, s'observa un descens dels nivells malgrat que no és tampoc estadísticament significatiu.

Els resultats anteriors mostren que malgrat que les emissions per xemeneia de la incineradora han disminuït de forma important durant els últims dos anys, el sòl, com a matriu conservadora dels compostos orgànics d'elevada K_{ow}, no ha experimentat canvis significatius. Això vol dir que els processos de volatilització i degradació de les PCDD/Fs en sòl no juguen un paper important en el procés d'eliminació, i que l'acumulació de PCDD/Fs al sòl és un indicador de la deposició durant llargs períodes de temps (Bruzy i Hites, 1995; Kjeller *et al.,* 1996). Processos com volatilització, degradació de PCDD/Fs o altres mecanismes que estan controlats per les característiques dels congèneres i per les condicions ambientals, són molt lents.

Les dioxines i furans són contaminants persistents que es troben molt dispersos en el medi ambient i provenen de diferents processos, especialment dels processos de combustió (Fiedler *et al.,* 1990; Alcock i Jones, 1996; Fiedler, 1996, 1998). En aquest sentit, recentment es van trobar concentracions de PCDD/Fs entre 0.79 i 1.4 ng I-TEQ/kg (Wood *et al.,* 1999) en mostres de sòls que dataven de 1856 fins a 1913, cosa que fa pensar que els processos de contaminació natural poden tenir ja de per si mateixos una molt forta importància.