

A nighttime photograph of an industrial facility, likely a power plant or refinery, with several tall smokestacks and a city skyline in the background. The sky is dark blue, and the lights from the facility and city create a contrast against the night.

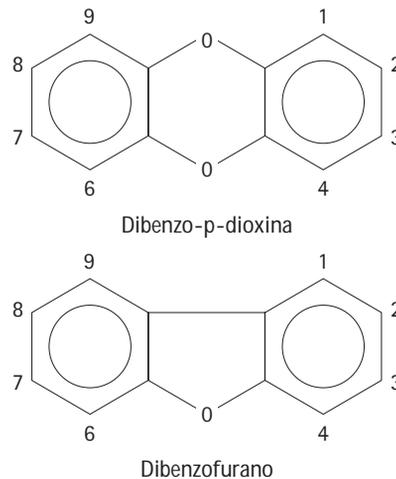
Dibenzodioxinas y
Dibenzofuranos
Policlorados
(PCDDs y PCDFs)
y Bifenilos
Policlorados (PCBs)

D

Dibenzodioxinas y Dibenzofuranos Policlorados (PCDDs y PCDFs)
y Bifenilos Policlorados (PCBs)

PCDDs y PCDFs

Con el nombre genérico de dioxinas se conoce un grupo de compuestos orgánicos tricíclicos halogenados cuyas estructuras básicas se representan en la Figura 20. El grado de cloración y la posición de los átomos de cloro determinan la existencia de 75 congéneres de dibenzodioxinas (PCDDs) y 135 de dibenzofuranos (PCDFs). Nunca han sido producidos intencionalmente, es decir, no tienen una aplicación conocida pero se forman como subproductos en múltiples procesos industriales y de combustión e incineración. Aunque se originan en cantidades muy pequeñas, la toxicidad de alguno de ellos, especialmente la 2,3,7,8-tetraclorodibenzoparadioxina (TCDD), ha hecho que sean tratados como contaminantes ambientales importantes desde principios de los años 70. Su interés a nivel mundial se relacionó principalmente con dos hechos: la utilización del defoliante "agente naranja" por parte del ejército americano en Vietnam (1962-1970) y la explosión de un reactor que producía 2,4,5-triclorofenol en Seveso (Italia, 1976). Ambos compuestos contenían trazas de dioxinas.



F Figura 20 Estructura de las dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos
Chemical structure of dibenzo-p-dioxins and dibenzo-p-furans

Las posiciones numeradas pueden estar sustituidas con átomos de cloro
Chlorine atoms can be attached to carbon atoms in the numbered positions

En experimentos con animales se ha puesto de manifiesto que la TCDD presenta una gran diversidad de efectos tóxicos como lesiones en la epidermis, hepatotoxicidad, efectos sobre la reproducción, el desarrollo y sobre el sistema inmune entre otros, así como una marcada actividad carcinogénica⁵⁹. La mayoría de los efectos tóxicos parece estar relacionada con su capacidad para unirse a una proteína del citoplasma, el llamado receptor "Ah". Los otros 16 compuestos que presentan átomos de cloro en las 4 posiciones laterales 2,3,7 y 8 actúan por el mismo mecanismo aunque son menos tóxicos, y el resto no parece tener actividad biológica⁶⁰.

D

4

Por esta razón y para evaluar la toxicidad global de las mezclas de dioxinas se han establecido los llamados "Factores de equivalencia tóxica" (TEFs)⁶¹, mediante los cuales las dioxinas menos tóxicas se expresan en términos de la cantidad equivalente del congénere más tóxico (TCDD), al que se le asigna de forma arbitraria el valor 1. Existen otros compuestos que comparten este mecanismo de acción (entre ellos algunos PCBs) para los que también se han establecido TEFs⁶².

Todas las dioxinas poseen una serie de propiedades fisicoquímicas que explican su comportamiento medioambiental: se trata de compuestos muy estables a temperaturas elevadas, muy lipófilos, poco volátiles y poco biodegradables. Su dispersión en el medio ambiente se realiza fundamentalmente por vía aérea y, en menor medida, por vía acuática. Debido a su gran estabilidad y liposolubilidad se integran y acumulan en la cadena alimentaria, considerada como la vía casi exclusiva de exposición de la población⁶³. Las dioxinas están presentes a nivel de trazas en una gran variedad de alimentos, especialmente alimentos de origen animal y en otros alimentos grasos.

Tabla 4.- PCDDs y PCDFs analizados en muestras de dieta total
PCDD's and PCDF's analysed in total diet samples

2,3,7,8-Tetraclorodibenzo-p-dioxina
1,2,3,7,8-Pentaclorodibenzo-p-dioxina
1,2,3,4,7,8-Hexaclorodibenzo-p-dioxina
1,2,3,6,7,8-Hexaclorodibenzo-p-dioxina
1,2,3,7,8,9-Hexaclorodibenzo-p-dioxina
1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzo-p-dioxina
Octaclorodibenzo-p-dioxina
2,3,7,8-Tetraclorodibenzofurano
1,2,3,7,8-Pentaclorodibenzofurano
2,3,4,7,8-Pentaclorodibenzofurano
1,2,3,4,7,8-Hexaclorodibenzofurano
1,2,3,6,7,8-Hexaclorodibenzofurano
1,2,3,7,8,9-Hexaclorodibenzofurano
2,3,4,6,7,8-Hexaclorodibenzofurano
1,2,3,4,6,7,8-Heptaclorodibenzofurano
1,2,3,4,7,8,9-Heptaclorodibenzofurano
Octaclorodibenzofurano

Para estimar la ingesta media de dioxinas en la población de la CAPV se ha determinado la presencia de los 17 compuestos 2,3,7,8 clorosustituidos (Tabla 4) en los grupos de alimentos donde se encuentran mayoritariamente: huevos, carnes (incluyendo derivados cárnicos), pescados, leche y derivados lácteos y aceites y grasas, de ocho dietas totales recogidas entre marzo 1994 - febrero 1995. La ingesta media de dioxinas en la CAPV expresada como

equivalentes tóxicos internacionales se sitúa entre 84 y 128 pg de equivalentes tóxicos al día, lo que corresponde a una ingesta de 1.2-1.9 pg/kg de peso y día para un peso medio de 68 kg. En esta estimación no se han incluido los equivalentes tóxicos correspondientes a los PCBs con actividad similar, con el fin de garantizar la comparación de los resultados con los de otros estudios (la evaluación conjunta se realiza en el apartado de PCBs).

En pocos países se han llevado a cabo estimaciones de la exposición global a dioxinas a través de la dieta, y no en todos los casos se han utilizado estudios de dieta total. En la Figura 21 se recogen las ingestas de diferentes países que, como puede apreciarse, son similares a las determinadas en la CAPV.

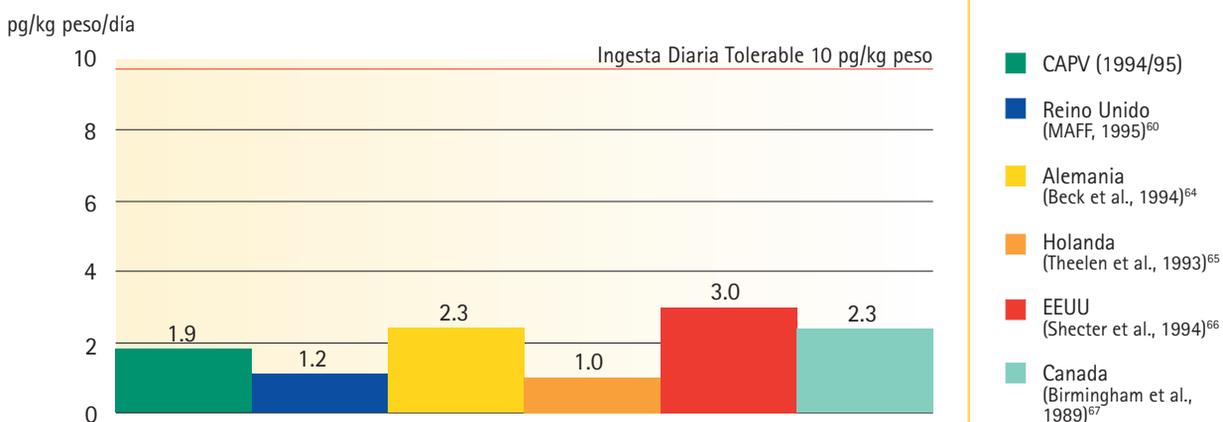


Figura 21 Ingesta de dioxinas en diferentes países
Dietary intake of dioxins in different countries

Al igual que en el Reino Unido, Holanda, Canadá y Estados Unidos, el grupo de leche y derivados lácteos es el que más contribuye a la ingesta total de dioxinas. Le siguen los de pescados y carnes, mientras que los huevos suponen una contribución muy poco importante (Tabla 5).

Por lo que se refiere a los riesgos asociados a estos niveles de exposición, la OMS recomendó en 1990 una ingesta diaria tolerable de 10 pg/kg de peso y día, que fue aceptada por muchos países⁶⁸. Las ingestas determinadas en todos los estudios^{60,64,65,66,67}, incluido el de la CAPV, son inferiores a este límite de tolerancia. Sin embargo la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos, considerando su potencial carcinogénico y sobre la base de un límite máximo para el aumento del riesgo de incidencia de cáncer de uno entre un millón, ha estimado que las ingestas consideradas como seguras son inferiores a 0.006 pg/kg de peso y día⁶⁹. Actualmente la EPA está llevando a cabo una exhaustiva revisión de la toxicidad de las dioxinas que será publicada próximamente. En cualquier caso, todos los expertos están de acuerdo en que es preciso reducir las fuentes potenciales de contaminación para evitar nuevas descargas en el medio ambiente.



Tabla 5.- Ingesta media de dioxinas expresada en pg de equivalentes tóxicos/día
Dietary intake of dioxins in pg TEQ/kg body weight/day

Alimento	Concentración de dioxinas (pg de equivalentes tóxicos /g de alimento)		Consumo (g/día)	Ingesta de dioxinas (pg de equivalentes tóxicos/día)	
	min. (*)	max. (**)		min. (*)	max. (**)
Pescados	0.24	0.26	89	21	23
Carne y derivados	0.10	0.20	163	16	33
Leche y derivados	0.09	0.11	352	32	38
Huevos	0.10	0.12	41	4	5
Aceites y grasas	0.24	0.65	45	11	29
TOTAL				84	128

Los equivalentes tóxicos totales se calculan con los factores internacionales⁶¹
TEQs calculated with international TEFs⁶¹

(*) Considerando los valores inferiores al límite de determinación iguales a cero
Considering values below the limit of determination equal to zero

(**) Considerando los valores inferiores al límite de determinación iguales a dicho límite (0.01 ng/kg excepto en el grupo de aceites y grasas)
Considering values below the limit of determination equal to the limit (0.01 ng/kg except for the fats and oils group)

PCBs

Los PCBs se han utilizado comercialmente desde 1930 en numerosas aplicaciones pero principalmente como fluidos dieléctricos e intercambiadores de calor en transformadores y condensadores debido a su baja conductividad eléctrica, elevada conductividad térmica y gran resistencia a la degradación por el calor. Las mezclas comerciales contienen compuestos que presentan distintos grados de cloración y los distintos congéneres se identifican con un sistema de numeración propuesto por Ballschmiter y Zell⁷⁰. Su producción está hoy prohibida en casi todos los países desarrollados, habiéndose establecido también condiciones especiales para la utilización de los equipos existentes y para su destrucción⁷¹. Como sucede con la mayoría de los compuestos organoclorados, los PCBs son muy persistentes y se acumulan en la cadena alimentaria. A medida que aumenta el número de átomos de cloro se incrementa su estabilidad y liposolubilidad, por lo que los congéneres mayoritarios en las mezclas comerciales no coinciden con los mayoritarios en los alimentos o en las muestras biológicas⁷².

Se ha demostrado que las mezclas comerciales de PCBs producen una gran variedad de efectos tóxicos, pero no existen datos suficientes para establecer una ingesta tolerable en el hombre⁷³. Los congéneres no-orto sustituidos y en menor medida algunos mono-orto, pueden adoptar una configuración plana que les permite unirse al receptor Ah y sumar sus efectos a los de las dioxinas. Para estos compuestos se han establecido recientemente factores de equivalencia

tóxica y la exposición a los mismos se expresa, al igual que para las dioxinas, en forma de equivalentes tóxicos⁶².

Para evaluar la exposición a los bifenilos policlorados a través de la dieta se han analizado once congéneres en las mismas muestras en que se han determinado las dioxinas. Entre ellos se incluyen tres PCBs no-orto sustituidos (77, 126, 169) y dos mono-orto (105, 118) para los que existen factores de equivalencia tóxica. Los seis restantes representan algunos de los mayoritarios en alimentos (28, 52, 101, 138, 153 y 180). Los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6.- Concentraciones medias de no-orto PCBs (77, 126, 169) en ng/kg y de orto PCBs en µg/kg en muestras de dieta total
Average concentrations of non-ortho PCBs (77, 126, 169) in ng/kg and ortho PCBs in µg/kg in total diet study samples

Grupo de alimentos	PCBs orto sustituidos µg/kg								PCBs no-orto ng/kg		
	28	52	101	105	118	138	153	180	77	126	169
Pescados	0.38	0.33	1.55	0.12	1.48	6.32	8.82	4.91	7.75	8.67	2.36
Carne y derivados	0.16	0.06	0.06	0.02	0.10	0.32	0.50	0.32	6.64	3.84	0.86
Leche y derivados	0.12	0.02	0.03	0.01	0.08	0.27	0.34	0.33	1.57	2.20	0.55
Huevos	0.42	0.04	0.04	0.02	0.14	0.31	0.44	0.29	3.60	0.71	0.17
Aceites y grasas	0.44	0.16	0.09	0.02	0.04	0.17	0.20	0.15	8.61	1.08	0.67

Las concentraciones de los no-orto PCBs son muy similares a las de un estudio de las mismas características llevado a cabo en Holanda⁶⁵. Las concentraciones de los otros congéneres son muy variables en los diferentes estudios pero son del mismo orden de magnitud que los referidos en algunos de los trabajos más recientes^{74,75,76}.

Hasta hace muy pocos años no se disponía comercialmente de patrones analíticos de congéneres individuales y la exposición a estos contaminantes se expresaba como ingesta de PCBs totales. Esta aproximación no tiene en cuenta la diferente toxicidad de los distintos congéneres y además está influenciada por el método de cálculo. Por otro lado, no existe un valor de referencia toxicológico generalmente aceptado para la exposición a PCBs totales⁷³, comprometiendo todo ello la evaluación de riesgos.

Existen muy pocos datos sobre las ingestas de isómeros individuales a través de la dieta, siendo de especial importancia la determinación de la suma de equivalentes tóxicos correspondientes a los congéneres con actividad similar a la de las dioxinas. En la Tabla 7 se reflejan las ingestas



de estos PCBs (77, 126, 169, 105 y 118) expresadas como equivalentes tóxicos para cada grupo de alimentos. La ingesta media global es de 315 pg de equivalentes tóxicos/día, es decir, 4.6 pg/kg de peso y día para un peso medio de 68 kg.

Tabla 7.- Ingesta media de los PCBs con actividad similar a las dioxinas expresada en pg de equivalentes tóxicos/día
Average intake of dioxin-like PCBs in pg TEQ/day

Grupo de Alimentos	Concentración de PCBs (pg de equivalentes tóxicos /g de alimento)	Consumo (g/día)	Ingesta de PCBs (pg de equivalentes tóxicos/día)
Pescados	1.08	89	96
Carne y derivados	0.42	163	68
Leche y derivados	0.24	352	141
Huevos	0.10	41	4
Aceites y grasas	0.13	45	6
TOTAL			315

Los equivalentes tóxicos totales en ng/kg se calculan a partir de las concentraciones de los congéneres 77, 126, 169, 105 y 118 y se han calculado con los factores recomendados por la OMS⁶².
Total toxic equivalents in ng/kg are calculated from isomers 77, 126, 169, 105 and 118 using factors recommended by WHO⁶².

La ingesta de este grupo de PCBs es casi tres veces superior a la de las 17 dioxinas y dibenzofuranos, expresados todos ellos como equivalentes tóxicos (315 pg/día frente a 128 pg/día).

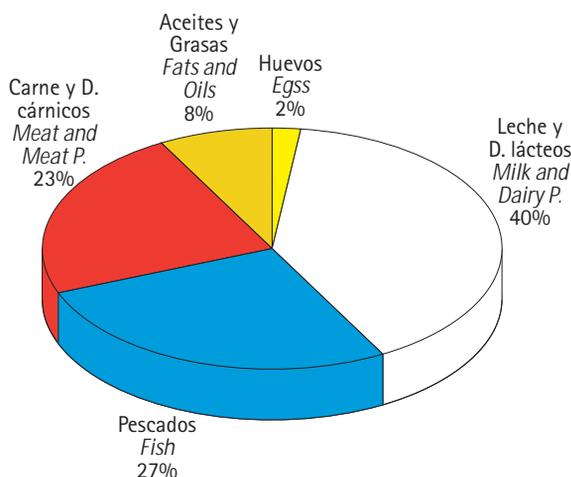


Figura 22 Contribución de los distintos grupos de alimentos a la ingesta de dioxinas y PCBs con actividad similar
Percentage contribution of the different food groups to the total intake of dioxins and dioxin-like compounds

En conjunto la ingesta media de todos los compuestos con actividad dioxínica es de 443 pg/persona y día, o lo que es lo mismo, 6.5 pg/kg de peso y día. Aunque las concentraciones más elevadas se encuentran en los pescados, es el grupo de leche y derivados el que más contribuye a la ingesta total de equivalentes tóxicos (40%), debido a su mayor consumo. Las contribuciones relativas de los otros grupos son las siguientes: pescados 27%, carne y derivados 23%, aceites y grasas 8% y huevos 2% (Figura 22).

La evaluación de riesgos de la exposición conjunta a dioxinas y PCBs con actividad similar es reciente y apenas hay datos para comparar las ingestas en la CAPV con las de estudios del mismo tipo. En Holanda⁶⁵ se ha calculado una ingesta mediana para todos estos compuestos de 2.4 pg de equivalentes tóxicos/kg de peso y día pero no se ha realizado a través de un estudio de dieta total.

La ingesta media en la CAPV es de 6.5 pg/kg de peso y día y es por tanto inferior a la ingesta tolerable establecida por la OMS (10 pg/kg de peso y día)⁶⁸. Sin embargo esta ingesta representa un 65% del valor de referencia toxicológico y por tanto es preciso mantener la vigilancia de la exposición a estas sustancias, especialmente de los bifenilos policlorados con actividad similar a la de las dioxinas.

- La ingesta media de dioxinas y PCBs con actividad similar (77, 126, 169, 105 y 118) es de 443 pg de equivalentes tóxicos/día de los cuales 315 proceden de los PCBs.
- Este valor corresponde a una ingesta diaria de 6.5 pg de equivalentes tóxicos/kg de peso corporal y es por tanto inferior a la ingesta tolerable recomendada por la OMS de 10 pg/kg de peso y día.
- Las concentraciones más elevadas de dioxinas y PCBs se encuentran en los pescados pero es el grupo de leche y derivados el que más equivalentes tóxicos totales aporta al total de la dieta, un 40%. Los pescados y carnes suponen un 27% y 23% respectivamente, mientras que grasas y huevos únicamente aportan el 8% y 2%.
- La evaluación de riesgos de la exposición conjunta a dioxinas y PCBs con actividad similar es reciente y apenas hay datos para comparar nuestras ingestas con las de estudios similares. Sin embargo la elevada contribución de los PCBs al total de los equivalentes tóxicos hace aconsejable mantener la vigilancia en este área.