



Contaminantes químicos. Estudio de dieta total en Cataluña 2008



Generalitat de Catalunya
Agència Catalana
de Seguretat Alimentària

Contaminantes químicos. Estudio de dieta total en Cataluña 2008



Generalitat de Catalunya
**Agència Catalana
de Seguretat Alimentària**

Esta publicación se ha elaborado a partir del estudio dirigido por los profesores José L. Domingo Roig, de la Universidad Rovira i Virgili, y Juan M. Llobet Mallafré, de la Universidad de Barcelona, fruto del convenio de colaboración entre el Departamento de Salud y la Universidad Rovira i Virgili para la investigación de la ingesta dietética de contaminantes químicos en la población de Cataluña.

Dirección:

Xavier Llebaria

Autores:

Victòria Castells

Emilio Vicente

Agència Catalana de Seguretat Alimentària

Jesús Gómez Catalán

Joan M Llobet Mallafré

Grupo de Investigación en toxicología. GRET-CERETOX (INSA UB)

Universidad de Barcelona. Parque Científico de Barcelona

Gemma Perelló Berenguer

Josep L. Domingo Roig

Laboratorio de Toxicología y Salud Medioambiental, TECNITOX

Universidad Rovira y Virgili de Tarragona

Han colaborado:

Isabel Timoner Alonso

Patricia Gosálbez Rafel

Alexander Reichardt

Paqui Morales

Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria

Revisión lingüística:

Sección de planificación lingüística

Departamento de Salud

Diseño:

Motive Disseny + Comunicació S.L.

Maquetación:

Motive Disseny + Comunicació S.L. / Diana Nuñez

Documento editado por: Agencia de Salud Pública de Cataluña

Documento revisado por: Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria

Primera edición: Diciembre 2012

Depósito legal: B. 24753-2012



Los contenidos de esta obra están sujetos a una licencia de Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0 de Creative Commons. Se permite la reproducción, distribución y comunicación pública siempre que se cite el autor y no se haga un uso comercial.

La licencia completa se puede consultar en:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Abreviaturas

Elementos y compuestos

As	Arsénico
Cd	Cadmio
COP	Contaminantes orgánicos persistentes
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
HCB	Hexaclorobenceno
Hg	Mercurio
Pb	Plomo
PBDE	Éteres difenílicos polibromados (polybrominated diphenyl ethers)
PCB	Bifenilos policlorados (polychlorinated biphenyls)
PCB DL	Bifenilos policlorados con efecto dioxina (Dioxin-like polychlorinated biphenyls)
PCB NDL	Bifenilos policlorados sin efecto dioxina (Non-dio-like polychlorinated biphenyls)
PCDD	Dibenzodioxinas policloradas o dioxinas (polychlorinated dibenzodioxinas)
PCDE	Éteres difenílicos policlorados (polychlorinated diphenyl ethers)
PCDF	Dibenzofuranos policlorados o furanos (polychlorinated dibenzofuranos)
PCN	Naftalenos policlorados (polychlor naphthalenes)
TCDD	Tetraclorodibenzo-p-dioxina

Organismos internacionales

ATSDR	Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
EPA	Agencia Americana de Protección Medioambiental (Environmental Protection Agency)
IARC	Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer)
JECFA	Comité Mixto FAO-OMS de Expertos en Aditivos y Contaminantes Alimentarios (Joint Expert Committee on Food Additives)
OMS	Organización Mundial de la Salud

Otras abreviaturas

BMDL	Benchmark dose
CQPMC	Contaminantes químicos en pescado y marisco consumido en Cataluña
LOAEL	Nivel inferior sin observación de efectos adversos
LOD	Límite de detección técnica analítica
IDA	Ingesta diaria admisible
IDPT	Ingesta diaria provisional tolerable
IDT	Ingesta diaria tolerable
IMPT	Ingesta mensual provisional tolerable
ISPT	Ingesta semanal provisional tolerable
MOE	Margen de exposición
ND	No detectado
RfD	Dosis de referencia
TEF	Factor de equivalencia tóxica
TEQ	Equivalente tóxico

1 Introducción

Desde el año 2000 la ACSA elabora un estudio de dieta total para estimar la ingesta de diversos contaminantes químicos de la población de Cataluña y evaluar el posible riesgo para la salud. Este estudio analiza cada cinco años la presencia de contaminantes en los alimentos para estudiar la evolución de las concentraciones, la ingesta y el riesgo para la población.

Los resultados de 2000, por un lado, indicaron que el pescado y el marisco son el grupo de alimentos que contribuye de un modo más significativo a la ingesta de contaminantes a través de la dieta, debido a que la mayoría de los contaminantes son lipófilos y, por otro, que las dioxinas, el metilmercurio y el arsénico fueron los contaminantes más significativos, aunque la ingesta a través de la dieta nunca superaba los niveles de seguridad establecidos por la OMS o la EFSA.

Los resultados de 2005 mostraron que la ingesta de casi todos los contaminantes fue inferior a la estimada en 2000, y sólo fue motivo de preocupación la ingesta de metilmercurio.

La novedad de este tercer estudio de 2008 es la incorporación de un nuevo grupo de contaminantes, los compuestos perfluorados (PFCs), de los cuales destacan dos: el sulfonato de perfluorooctano (PFOS) y el ácido perfluorooctanoico (PFOA), para los que la EFSA estableció en 2008 una ingesta diaria tolerable (IDT). El dictamen de la EFSA llega a la conclusión de que es poco probable que tengan efectos perjudiciales para la población general, dado que parece que la ingesta no supera el umbral de seguridad, pero manifestó algunas dudas en relación con las repercusiones sobre el desarrollo de los seres vivos.

Los PFCs tienen un amplio uso industrial y de consumo, que incluye revestimientos antimanchas de tejidos y moquetas, revestimientos lipofóbicos de papeles aptos para el contacto con alimentos, espumas extintoras, ingredientes tensioactivos de jabones e insecticidas. Se eliminan poco a poco y por ello se acumulan en el cuerpo. Tienen efectos sobre el hígado y sobre el desarrollo y la reproducción a dosis relativamente pequeñas en animales de experimentación.

Se disponen de pocos datos sobre la exposición de las personas a estas sustancias a través de la dieta o el ambiente. A raíz del dictamen de la EFSA, la ACSA incorporó los PFCs en el estudio de 2008. Posteriormente, la Unión Europea recomendó en 2010 que los estados miembros recogieran datos sobre las concentraciones en los alimentos durante el 2010 y el 2011, a efectos de evaluar la exposición a través de los productos alimentarios y el riesgo para la salud. Así pues, este estudio presenta los primeros datos en el ámbito europeo de la ingesta de PFCs y de las concentraciones en todos los grupos de alimentos. Será interesante compararlas con las de la EFSA, a fin de estimar una tendencia de estos nuevos contaminantes y evaluar el interés de continuar la investigación.

2 Objetivos

- Conocer el nivel actual de contaminación química de los alimentos consumidos en Cataluña, y estudiar, en comparación con los datos de los estudios anteriores, las variaciones observadas.
- Conocer el nivel actual de exposición de la población catalana a los contaminantes estudiados a través de la dieta, y evaluar la variación en el tiempo, y que esto sirva de alarma preventiva en caso necesario.
- Comparar los niveles de exposición de la población de Cataluña con los obtenidos en otros estudios realizados en otros países.
- Evaluar el riesgo que representa la exposición actual en comparación con los valores de seguridad toxicológicos establecidos su evolución temporal.

3 Material y métodos

3.1. TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio parte del diseño de las ediciones precedentes y, por lo tanto, también sigue las directrices marcadas por la OMS.

Así pues, esta vez se utiliza también una técnica mixta que, basándose en las características de los alimentos individuales, incorpora aspectos de los estudios de cesta de mercado y analiza muestras compuestas (*composites*) formadas por mezclas, homogéneas ya partes iguales, de diferentes muestras individuales de un mismo alimento.

3.2. SELECCIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Los contaminantes químicos seleccionados para ser estudiados en este tercer estudio de dieta total fueron el arsénico (As), el cadmio (Cd), mercurio (Hg), el plomo (Pb), las dioxinas y furanos (PCDD / F), los bifenilos policlorados (PCB), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y el hexaclorobenceno (HCB) y los compuestos perfluorados (PFCs).

3.3. SELECCIÓN DE ALIMENTOS

La selección de alimentos se ha basado en la selección de los estudios anteriores, teniendo en cuenta los datos de consumo de la población obtenidos en la Encuesta sobre el estado nutricional de la población catalana y evaluación de los hábitos alimentarios 2002-2003 (Encat 2002-2003), a partir de la cual se ha podido determinar la representatividad de la selección. Para mejorar el estudio, de acuerdo con los resultados de las ediciones anteriores, esta vez se ha ampliado el número de alimentos en grupos como el de la carne y los derivados, los vegetales, las frutas, los derivados lácteos y las legumbres, que en algunos casos estaban poco representados respecto a la aportación de contaminantes o respecto al volumen de consumo.

Los alimentos estudiados se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Selección de alimentos estudiados

Grupo	Alimentos	Grupo	Alimentos
1. Carne y derivados	ternera: bistec, hamburguesa cerdo: lomo, salchicha fresca pollo: pechuga cordero: pierna / costilla jamón dulce salchicha de Frankfurt chorizo <i>jamón serrano</i>	5. Frutas	manzana naranja pera plátano <i>mandarina</i> <i>fresa</i> <i>melocotón</i>
2. Pescado	sardina salmonete atún lenguado anchoa sepia caballa calamar emperador almeja salmón mejillón merluza gamba <i>sardina lata</i> <i>atún lata</i>	6. Huevos	huevos de gallina
		7. Leche	leche entera leche semidesnatada
		8. Derivados lácteos	yogurt natural <i>queso tipo I fresco</i> <i>queso tipo II semicurado</i> <i>queso tipo III curado</i> <i>crema de caramelo*</i>
		9. Pan y cereales	pan blanco pan de molde arroz pasta alimentaria
3. Vegetales	lechuga tomate judía verde coliflor <i>cebolla</i> <i>pimiento</i> <i>zanahoria</i> <i>berenjena</i>	10. Legumbres	lentejas judías <i>garbanzos</i> <i>guisantes</i>
		11. Grasas	aceite de oliva aceite de girasol margarina mantequilla
4. Tubérculos	patata	12. Bollería	cruasán galleta madalena

Los alimentos en cursiva son los alimentos nuevos incorporados en este estudio.

* La crema de caramelo está constituida por varios productos lácteos u ovolácteos como flanes, crema catalana y productos similares.

3.4. TOMA DE MUESTRA Y PREPARACIÓN

Del mismo modo que en el estudio anterior, la toma de muestras se realizó en doce localidades de Cataluña. El conjunto es representativo del 72% de la población catalana aproximadamente. Este porcentaje corresponde a la población que vive en localidades de más de 20.000 habitantes y de carácter claramente urbano. (Fuente de los datos: Instituto de Estadística de Cataluña, Idescat.)

Las poblaciones agrupadas por ámbitos territoriales son las siguientes:

Ámbito metropolitano: Barcelona, L'Hospitalet de Llobregat, Vilanova i la Geltrú, Mataró, Sabadell y Terrassa; ámbito comarcas de Girona: Girona; ámbito Camp de Tarragona: Tarragona y Reus; ámbito Terres de l'Ebre: Tortosa; ámbito Ponente: Lleida, y ámbito comarcas centrales: Manresa.

De noviembre a diciembre de 2008 se adquirieron las muestras individuales de cada alimento. En cada localidad de compra se distribuyó esta muestra en un mínimo de cuatro establecimientos de dimensión distinta (mercado, tienda, supermercado pequeño, supermercado grande, gran superficie), con el fin de diversificar al máximo el origen del alimento adquirido y de realizar el muestreo lo más representativo posible en relación con todos los tipos de compradores. Las muestras que lo requerían se transportaron siempre refrigeradas.

La preparación de las muestras compuestas se realizó siguiendo la misma metodología que en el estudio anterior (directrices de la OMS):

- Formación de una muestra compuesta con la adquisición de 24 muestras individuales.
- Limpieza y separación de las partes comestibles, crudas, de las muestras individuales, con las que se prepara una muestra compuesta.
- Pesada de partes iguales de cada muestra individual. Cuando la muestra presentaba partes muy diferenciadas en textura, cantidad de grasa, etc., como por ejemplo las diferentes partes de las costillas de cordero, se hicieron participar en la muestra compuesta, de manera equilibrada, todas las partes de cada pieza individual.
- Trituración y homogeneización de las muestras utilizando robots de cocina, teniendo un cuidado de tipo analítico en la limpieza entre muestras para evitar la contaminación cruzada. Se mezclaron y trituraron porciones iguales en peso de las partes comestibles de carne y derivados, verduras, tubérculos, frutas, huevos (batidos), quesos, cereales, legumbres, grasas (margarina y mantequilla) y bollería hasta obtener una pasta o harina homogéneas.

Las muestras de yogur, crema de caramelo, quesos y leche se conservaron en la forma original en cámara fría. Se formó la muestra compuesta correspondiente justo antes de la remitida al laboratorio de análisis.

Los aceites se conservaron a temperatura ambiente, resguardados de la luz hasta el momento del análisis, en el que se mezclaron volúmenes iguales de cada muestra unitaria, se repartieron en las alícuotas correspondientes y se procedió de la manera que ya se ha descrito.

- Formación de alícuotas en tubos de vidrio de laboratorio (metales) y frascos herméticos de plástico (orgánicos) y conservación para la congelación hasta el momento del análisis.

En total se procesaron 3.120 muestras individuales de alimentos.

3.5. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS

3.5.1 Metales

La determinación de metales se llevó a cabo en el Laboratorio de Espectroscopia de los Servicios Científico-técnicos de la Universidad de Barcelona. Los Servicios cumplen los estándares de calidad correspondientes a los componentes de la marca Tecnio creada por ACC1Ó y disponen de la certificación de calidad ISO9001:2008. Constan con el número 251 en el Registro de Laboratorios Agroalimentarios de la Generalidad de Cataluña.

Aproximadamente 0,5 g de muestra compuesta se trataron con 5 ml de HNO₃ (65% Suprapur, E. Merck, Darmstadt, Alemania) en bombas de Teflon®. Se hizo una predigestión a temperatura ambiente durante ocho horas. Después, las bombas se calentaron a 80 °C durante ocho horas más. Una vez frías, las soluciones se filtraron y enrasaron a 25 ml con agua desionizada. En estas disoluciones se determinó el As, el Cd, el Hg y el Pb utilizando un aparato de inducción de plasma acoplado con detector de masas (ICP-MS, Perkin Elmer Elan 8000). Se utilizó rodio (Rh) como estándar interno y la cuantificación se basó en el isótopo más abundante.

3.5.2 Contaminantes orgánicos

Los contaminantes orgánicos fueron analizados por el laboratorio SGS Controller-Co. m.b.H. de Hamburgo (Alemania) y de Amberes (Bélgica).

Los procedimientos son los mismos que los utilizados en los anteriores estudios de dieta y comprenden procesos comunes de purificación (*clean-up*), lo que contribuye a simplificar los procesos de preparación de muestras y el envío, y a homogeneizar los resultados.

Este proceso, la purificación, representa a la vez un proceso de extracción de los productos que hay que analizar de la matriz del alimento o muestra en cuestión y una purificación o limpieza para eliminar algunas de las muchas sustancias presentes en los alimentos y que podrían interferir en el análisis.

El método analítico para determinar PCB, HAP y HCB deriva del método de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) número 1625.

De forma resumida, el proceso analítico fue el siguiente:

- La extracción y la purificación se llevaron a cabo en condiciones de poca exposición a la luz para evitar la pérdida de productos fotosensibles.
- Las muestras se homogeneizaron y se pasaron por el proceso extractivo de evaporación de solventes.
- Una vez divididas en las submuestras correspondientes, éstas se fortalecieron (spike) con los estándares apropiados marcados isotópicamente: ¹³C¹²-PCB, ¹³C⁶-HCB y HAP con deuterio.

En el caso de los PCB, el proceso de purificación se llevó a cabo con cromatografía de adsorción en una columna mixed-silica y por adsorción o fraccionamiento en una columna de alúmina. En el caso del HCB y los HAP, la purificación y el fraccionamiento del extracto crudo se llevaron a cabo por cromatografía de exclusión de tamaño.

- Los extractos limpios se analizaron con un sistema HRGC/HRMS, utilizando aparatos Agilent GCs (HP 5890 y 6890) acoplados a un sistema Waters (Micromass) Autospec Ultima HRMS (selected ion recording resolution: 8000 (HAP) y 10000 (PCB y HCB)).
- Los análisis se llevaron a cabo en columnas del tipo DB5 GC, no polar.
- La cuantificación se llevó a cabo utilizando los estándares internos.

El método analítico para determinar PCDD / F deriva de los métodos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) números 1668 y 8290.

Para el análisis de los compuestos perfluorados (PFCs), las muestras se extrajeron y se limpiaron utilizando extracción líquida, extracción en fase sólida, y limpiezas adicionales con EnviCarb utilizando los métodos de Powley y col. (2005) y Taniyasu y col. (2005).

Se añadieron 2 ml de NaOH 200 mM a 1 g de muestra de alimento liofilizado, homogenizado, y descongelado en tubos de PP, prelavados con metanol. Se añadieron blancos para cada serie de muestras. Después de 30 minutos, se incorporaron los estándares de la extracción ($^{13}\text{C}_4$ -PFOS i $^{13}\text{C}_4$ -PFOA) i 10 mL de MeOH. Las muestras se mezclaron en el vórtice antes de agitarse a 500 rpm durante 30 minutos. Se añadió HCl (150 μL , 4 M) antes de centrifugar 10,000 g durante 15 minutos. El sobrenadante se mezcló con 25 ml de agua. Se utilizaron cartuchos (6 cc/150 mg) de cera de un solo uso (WAX Water Oasis®) previamente acondicionados con 4 ml de MeOH y 4 ml de agua para la extracción y el fraccionamiento. Los cartuchos SPE se alicuotaron con 4 ml de solución tampón de acetato, 8 ml de MeOH (lavado y 2 ml al 2% de NH_4 en MeOH para recoger fracciones del blanco. La fracción blanco se alicuotó en tubos de 15 ml de PP con 25 mg de EnviCarb y 50 μl de ácido acético glacial. Después se mezclaron, la fracción blanco se filtró (con filtro de nilón de 2 μm) y se evaporó con nitrógeno.

El volumen final se fijó en 500 μl incluyendo $^{13}\text{C}_5$ - etiquetado como PFNA añadido como estándar, y 300 μl de 2 mM de acetato de sodio con agua. Un total de 15 μl se inyectaron a un HPLC 1100 (Waldbronn, Alemania) equipado con una bomba terciaria, desgasificador automático y un termostato al compartimento de la columna para estabilizar la temperatura a 25 °C. La separación se consiguió en la columna de simetría C_{18} (150 x 2.1 mm, 5 μm). La detección se realizó utilizando un sistema API 5000 MS/MS (Biosistema/MDS aplicado a Sciex, Canadá) con una fuente del ión del aerosol de Turbo que funcionaba con método electrospray negativo.

3.6. GRUPOS DE POBLACIÓN ESTUDIADOS

Siguiendo las condiciones marcadas en los estudios anteriores, y de acuerdo con las directrices de la OMS, en esta edición se estudiaron los mismos grupos de edad. Estos grupos reflejan, del conjunto de la población, los que se consideran como individuos estándar y otros grupos de población con dietas probablemente diferentes por razón de necesidades energéticas.

En el estudio actual, como en el estudio de 2005, se desglosan los dos sexos en todos los grupos de edad para que se adecúen a la estructura de los datos de la Encuesta sobre el estado nutricional de la población catalana y evaluación de los hábitos alimentarios 2002-2003 (EnCat 2002-2003), en la que se observan algunas diferencias de consumo de alimentos según el sexo. En lo referente a los datos de niños de 6 a 9 años, grupo que no se previó en el estudio EnCat, se han utilizado las del estudio EnKid. En la tabla 2 se presentan los grupos de población estudiados y el peso corporal asumido para cada uno.

Tabla 2. Grupos de población, intervalos de edad y peso

Grupo	Edad (años)	Peso corporal (kg)
Hombres	20 -65	70
Mujeres	20 -65	55
Niños	6 - 9	24
Chicos adolescentes	10 -19	56
Chicas adolescentes	10 -19	53
Hombres mayores de 65 años	> 65	65
Mujeres mayores de 65 años	> 65	60

3.7. DATOS SOBRE CONSUMO DIARIO DE ALIMENTOS

En este estudio se han utilizado los datos de la Encuesta sobre el estado nutricional de la población catalana y evaluación de los hábitos alimentarios 2002-2003 (EnCat 2002-2003).

Los datos relativos al consumo (g/día) de los diversos alimentos y para los diferentes grupos de edad considerados se presentan en las tablas 3 (a y b). En la figura 1 se presenta la distribución porcentual correspondiente a los alimentos consumidos por el hombre adulto.

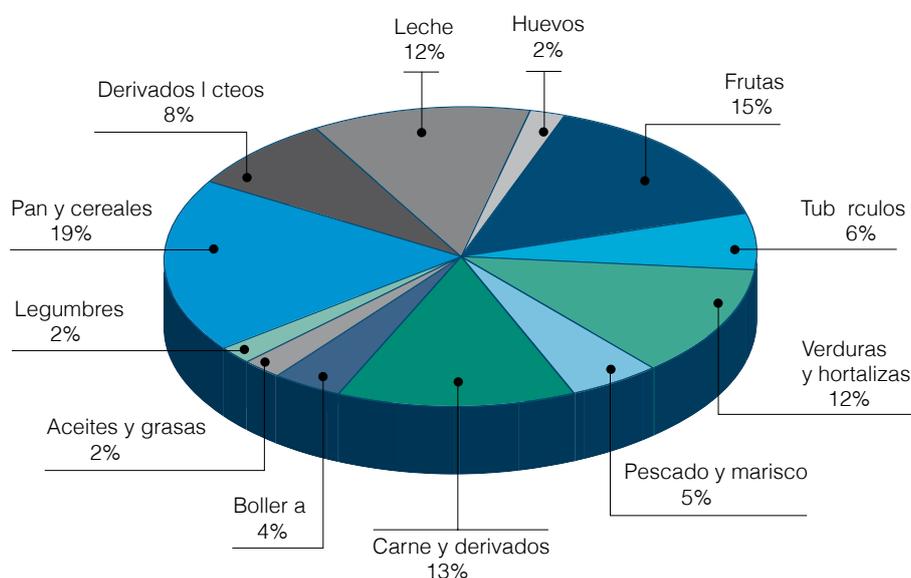
Tabla 3a. Consumo de alimentos en población infantil entre 6 y 9 años (EnKid)

Grupo de alimentos	g/día
Total carnes	134,7
Total pescado	34,33
Total verdura	60,20
Total tubérculos	70,84
Total fruta	196,6
Total huevos	22,98
Total leche	364,8
Total lácteos	108,6
Total cereales	155,9
Total legumbres	22,29
Total grasas	31,14
Total bollería	48,25

Tabla 3b. Consumo de alimentos considerados en diferentes grupos de población (EnCat)

Alimentos	Hombres			Mujeres		
	10-19 años	20-65 años	65-80 años	10-19 años	20-65 años	65-80 años
Total carne y derivados	188,9	171,9	109,1	143,3	122,4	102,8
Total pescado y marisco	45,05	67,53	73,28	45,39	64,97	55,65
Total verduras y hortalizas	91,01	159,7	176,2	99,62	182,4	162,5
Total tubérculos	81,12	73,06	63,84	71,80	52,78	57,68
Total frutas	110,8	193,6	327,5	119,5	204,3	269,8
Total huevos	25,79	31,29	23,50	22,66	23,21	20,17
Total leche	243,9	128,4	122,1	186,5	148,5	124,3
Total derivados lácteos	109,97	101,28	71,77	99,78	97,82	77,22
Total pan y cereales	268,0	224,3	192,2	206,3	156,0	132,1
Total legumbres	31,37	30,36	33,97	20,10	25,68	28,89
Total aceites y grasas	24,04	27,16	26,64	21,33	24,58	23,72
Total bollería	81,68	45,45	22,63	60,97	41,20	25,97
Total alimentos	1271	1228	1234	1076	1128	1074

En g/día

Figura 1. Distribución de la ingesta diaria de alimentos en un hombre adulto

Se debe mencionar el hecho de que, en todos los grupos de edad y de manera no homogénea, existe un grupo de alimentos presentes en la encuesta EnCat que quedan fuera de nuestro estudio y que denominamos Otros. Por ejemplo, dentro del grupo de carne hay: tocino y costilla de cerdo crudas, ventresca de cerdo a la parrilla, pies de cerdo a la plancha, pato entero asado, pichón asado, pechuga de pavo, gallina hervida, codorniz entera, conejo crudo o estofado. Para valorar este grupo, se ha calculado el porcentaje de representatividad de nuestra selección tomando como el 100% los datos totales para cada grupo de la encuesta EnCat. Estos datos se muestran en la tabla 4 y representan, en relación con algunos grupos de alimentos, una mejora substancial respecto a los del estudio anterior.

Tabla 4. Representatividad de la selección de alimentos analizados, expresada en porcentaje sobre el total del grupo en EnCat

Alimentos	Hombres			Mujeres		
	10-19 años	20-65 años	65-80 años	10-19 años	20-65 años	65-80 años
Carne y derivados	93	87	87	91	88	83
Pescado y marisco	85	78	76	88	78	70
Vegetales	90	81	79	86	80	70
Tubérculos	100	100	100	100	100	100
Frutas	87	83	89	80	77	81
Huevos	98	99	97	99	99	100
Leche	98	81	63	88	74	59
Derivados lácteos	88	84	85	93	82	87
Cereales	98	96	97	97	94	91
Legumbres	100	94	89	100	95	91
Aceites y grasas	100	100	100	100	100	100
Bollería	46	42	40	45	39	25,97

3.8. ESTIMACIÓN DE LA INGESTA DIARIA DE UN CONTAMINANTE

La ingesta de un contaminante a través del consumo de alimentos se puede calcular multiplicando la concentración del contaminante en cada alimento individual por la cantidad diaria ingerida de este alimento, y sumando todos los productos obtenidos.

Ingesta diaria = Σ (concentración del contaminante \times cantidad de alimento ingerido)

O bien, expresado por unidad de peso corporal:

Ingesta diaria = Σ (concentración del contaminante \times cantidad de alimento) / peso corporal

Aunque en el estudio actual, como se puede observar en la tabla anterior, se ha mejorado la representatividad de los alimentos analizados, no es posible analizar la totalidad. Para realizar una estimación lo más esmerada posible, como en la edición anterior, se ha calculado para cada contaminante, grupo de alimentos y grupo de edad, la ingesta de contaminante correspondiente si el total considerado estuviese formado proporcionalmente por los alimentos analizados.

A modo de ejemplo, para la ingesta de arsénico de un hombre adulto a través del pescado y el marisco:

Tabla 5. Estimación del total de As ingerido a través del pescado y marisco

	Consumo de pescado g/día	Ingesta As μ g/día
Total especies analizadas	52,94	247,8
Total pescado y marisco considerado	67,53	316,0

* Encat 2002-2003.

Se ha de tener en cuenta estas aproximaciones a la realidad a la hora de evaluar la ingesta diaria y realizar comparaciones entre los tres estudios y con los valores obtenidos en otras regiones o países.

3.9. ESTIMACIÓN DE RESULTADOS INFERIORES AL LÍMITE DE DETECCIÓN

En cuanto a los resultados analíticos de los contaminantes que están por debajo del límite de detección de la técnica analítica (LOD), siguiendo las recomendaciones de la OMS, se considera para el cálculo un valor igual a la mitad del LOD, del mismo modo que en los estudios anteriores.

3.10. EVALUACIÓN DEL RIESGO

3.10.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos

Con el fin de evaluar la seguridad de la ingesta de cada contaminante, se estudiarán los valores obtenidos para el cálculo determinista, es decir, sin tener en cuenta la variabilidad de las magnitudes consideradas, respecto a los niveles de seguridad establecidos o recomendados, en caso de que estos existiesen.

3.10.2. Evaluación probabilística de la exposición

Se ha realizado una evaluación probabilística de la exposición alimentaria de la población catalana en los diferentes contaminantes. Se ha aplicado una aproximación metodológica de tipo Montecarlo para obtener una estimación fiable de la variabilidad de la exposición. También se han analizado las diferentes fuentes de incertidumbre y el impacto que tienen en la evaluación de la exposición mediante análisis de sensibilidad.

La evaluación de la exposición de la población a los contaminantes de la dieta requiere fundamentalmente dos tipos de datos, además del peso corporal: a) concentraciones de los contaminantes en la mayor variedad posible de alimentos y b) consumo diario de estos por la población. Ambos grupos de datos están afectados por la variabilidad inherente de estas magnitudes y por la incertidumbre derivada de nuestro conocimiento limitado. Estas variabilidades e incertidumbres de los datos de origen implican variabilidad e incertidumbres en la estimación de la exposición diaria media de la población (figura 2).

Los datos de consumo de alimentos se obtienen mediante encuestas de hábitos alimentarios utilizando diferentes tipos de cuestionarios. Los dos tipos de aproximaciones más frecuentes y que se han aplicado en este trabajo son: a) el cuestionario de recordatorio a corto plazo (en nuestro caso de 24 horas) y b) el cuestionario de frecuencia y cantidad de consumo. Los primeros suelen ser más exactos y más detallados, pero no dan idea de la variabilidad poblacional. Los segundos tienen más error; solo permiten obtener datos por grupos de alimentos, pero permiten obtener una aproximación a la variabilidad poblacional. Por esto, se han usado los datos de los primeros para la evaluación determinista de la exposición y los segundos para la evaluación probabilística. Esto puede introducir diferencias en los resultados que se analizarán en términos de incertidumbre.

La ingesta diaria se calcula como:

Ingesta diaria = \sum concentración del contaminante en el grupo de alimentos \times consumo diario del grupo de alimentos) / peso corporal

O expresado en forma más compacta:

$$ID = \sum (C_{fg} \times Q_{fg}) / BW$$

El sumatorio se extiende a todos los grupos de alimentos considerados en la encuesta de frecuencias de los que se dispone de datos analíticos.

El cociente Q_{fg}/BW se ha obtenido aleatoriamente a partir de los datos de frecuencias de EnCat. Es decir, no se ha realizado un ajuste de los datos de la encuesta a ninguna función paramétrica de probabilidad. Se han considerado conjuntamente el cociente Q_{fg}/BW en vez de considerar los dos parámetros por separado para evitar la generación aleatoria de casos anómalos con combinaciones de valores de BW y consumos poco probables.

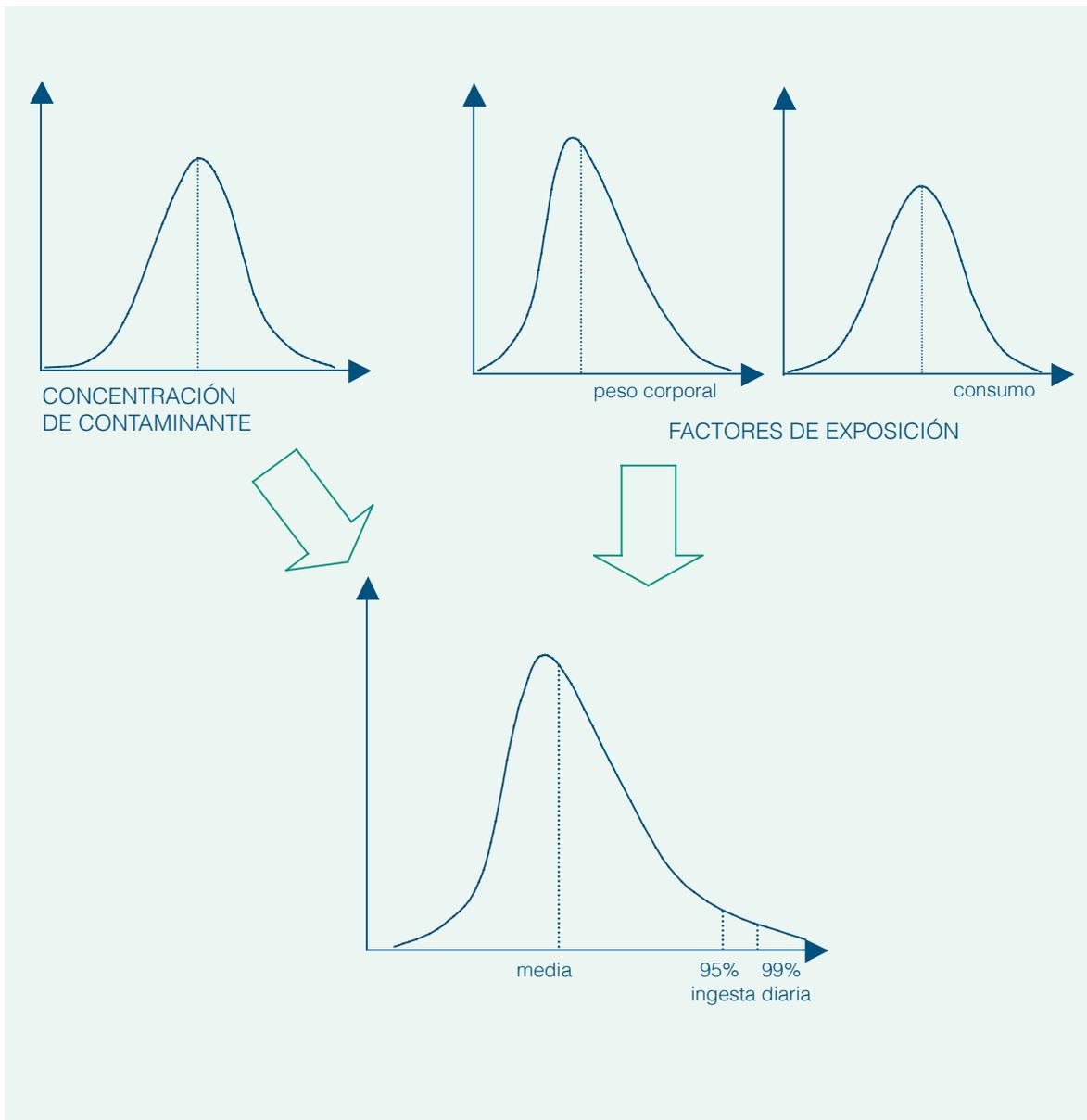
Los valores de C_{fg} se han calculado a partir de las concentraciones individuales de los alimentos que forman el grupo de alimentos y la "composición" de cada grupo de alimentos:

$$C_{fg} = \sum c_i \times q_i / Q_{fg}$$

Los valores medios de los cocientes q_f/Q_{fg} se han calculado a partir de los datos de EnCat 24 horas. Tienen una variabilidad poblacional desconocida; por lo tanto, se ha optado por considerar el efecto que tienen en el cálculo final de exposición en términos de incertidumbre asociados al cálculo de C_{fg} . Se ha supuesto que los valores de c_f pueden tener una distribución log-normal y que el valor de q_f/Q_{fg} presenta una distribución de tipo beta.

En el caso de la población infantil, los datos de los que se disponen no permiten conocer la distribución de frecuencias de consumo y, por lo tanto, no se ha podido realizar una evaluación probabilística adecuada de la exposición.

Figura 2. La estimación probabilística de la ingesta permite obtener datos de la variabilidad poblacional de esta ingesta; además de la exposición media, se puede conocer el porcentaje de población que está por encima de un nivel determinado de ingesta diaria



Estimación de la incertidumbre

Cualquier evaluación de la exposición alimentaria presenta múltiples fuentes y tipos de incertidumbres. La EFSA recomienda realizar una estimación secuencial (*tiered*) de las incertidumbres (EFSA 2006). En primer lugar, sería conveniente identificar los principales déficits de conocimiento que pueden ser causa de incertidumbre y realizar una estimación cualitativa de cómo pueden afectar los resultados (magnitud y dirección) de la estimación de la exposición (*secuencia 1*). Posteriormente, se realizaría una evaluación determinista del impacto individual de las principales fuentes/tipos de incertidumbre en la evaluación de exposición (análisis de sensibilidad; *secuencia 2*). Finalmente, se puede realizar una evaluación probabilística de la incertidumbre global considerando todos los factores para los que se haya demostrado una mayor sensibilidad (*secuencia 3*). En este estudio, llegaremos hasta la *secuencia 2*.

En la tabla 6 se presenta un resumen de las principales incertidumbres en relación con *secuencia 1*. Algunas no serán consideradas en este análisis: ambigüedades o imprecisiones en la definición de objetivos, escenarios y modelos o los múltiples errores posibles durante la realización del estudio.

Se realiza una aproximación cuantitativa a las incertidumbres introducidas por la imprecisión de los datos de consumo, de las concentraciones de contaminante y de la composición de los grupos de alimentos.

Tabla 6. Fuentes y tipos de incertidumbres. Efecto esperado sobre la estimación de la media y de la variabilidad poblacional

Fuente de incertidumbres	Tipo de incertidumbre	Comentarios	Efecto sobre la exposición media	Efecto sobre la variabilidad
Objetivos de la evaluación de la exposición	Ambigüedad, imprecisión	NC		
Escenario de exposición	Ambigüedad, imprecisión	NC		
	Extrapolación	Cambios de hábitos alimentarios	+/-	--
	Factores excluidos	Alimentos no considerados Efectos del cocinado Variabilidad geográfica	+/- ++/-- +/-	+/- - --
Modelo de exposición	Ambigüedad, imprecisión	NC		
	Estructura del modelo	Aproximaciones 1 a 5	+/-	+/-
	Extrapolación	NC		
	Factores excluidos	Biodisponibilidad	++	-
Inputs del modelo				
Peso corporal		Ver texto	+/-	-
Consumo de alimentos	Precisión, errores encuestas	Ver texto	+++/--	++/--
Concentraciones	Precisión, límites de detección, muestreo...	Ver texto	++/--	
Composición grupos alimentos	Precisión, errores encuestas, extrapolación	Ver texto	+++/--	---
Cumplimiento de la evaluación de la exposición	Errores diversos	NC		

NC: no considerat

La tabla 7 resume el tratamiento de la variabilidad y la incertidumbre de los inputs del modelo. Las simulaciones de Montecarlo han sido realizadas con Microsoft Excel, complementado con el add-ins SIMTOOLS (descargado de <http://home.uchicago.edu/~rmyerson/addins.htm>). En general, se han realizado 10.000 pasos para comprobar que se estabiliza el valor del percentil 99.

Para facilitar la comprensión de los resultados, se expone a continuación un caso hipotético. Suponiendo un contaminante X con una RfD de 2,0 µg/kg/día se obtiene los resultados siguientes:

Estimación determinista para un individuo estándar: 1,10 µg/kg/día

Estimación probabilística:

Ingesta diaria relativa XX												
µg/kg/día												
	Variabilidad						Incertidumbre c*Q					
Grupo población	media	SD	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
TOTAL	1,34	0,25	1,22	1,52	1,95	2,02	1,50	0,35	1,45	2,01	2,22	2,56

La estimación determinista indica que el individuo medio está expuesto a una dosis diaria de 1,10 mg/kg/día, inferior a la RfD y, por lo tanto, se puede garantizar que no sufrirá efectos tóxicos. La estimación probabilística nos indica (primera columna) que la mayoría de la población se encuentra expuesta por debajo de la RfD, pero que más del 5% (y menos del 10%) se encuentra por encima, ya que el valor del percentil 95 (2,02) es superior a la RfD y por lo tanto no se puede garantizar la ausencia de riesgo tóxico para este sector de población.

Por otro lado, la media determinista (1,10 mg/kg/día) no coincide exactamente con la media probabilística (1,34 mg/kg/día). Esta discrepancia se puede interpretar como una medida de la incertidumbre asociada a los datos de consumo, ya que refleja fundamentalmente las diferencias entre los datos de la encuesta de 24 horas y la encuesta de frecuencias, utilizadas respectivamente a las dos aproximaciones.

Las columnas bajo el encabezamiento *incertidumbre c*Q* indican los valores que se obtienen cuando se consideran las incertidumbres asociadas al cálculo de la concentración de contaminante en cada grupo de alimentos y que dependen tanto de las incertidumbres de la concentración del contaminante X en cada alimento analizado como de las incertidumbres de la composición de alimentos individuales de cada grupo. Estos valores se pueden considerar como cotas superiores razonables para la media, SD, mediana, etc.

Por lo tanto, en este caso se podría interpretar los resultados de la forma siguiente: la media de la población no supera la RfD; sólo entre un 5 y un 10% de la población la supera; pero teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de consumo y de concentración, este porcentaje podría llegar a un máximo razonable del 25% (percentil 75).

Tabla 7. Resumen de las aproximaciones aplicadas en la evaluación de la variabilidad y de la incertidumbre de la exposición

Variable	Variabilidad	Comentarios	Incertidumbre
Q_{fg}/BW	Distribución	No paramétrica	
	Media	ENCAT cuestionarios de frecuencia	ENCAT 24h-recordatorio
	SD	ENCAT cuestionarios de frecuencia	No
c_f	No	Media de 2 – 4 determinaciones en composites	Lognormal
SD = SEM			
$(q_f / Q_{fg})_{24h}$	No	ENCAT 24h-recordatorio	Beta SD = media/2

3.11. EVOLUCIÓN 2000, 2005 Y 2008

Se compara la exposición a los contaminantes estudiados en los tres períodos de tiempo correspondientes a los tres estudios y se evalúa la tendencia observada. Se debe tener en cuenta que los datos del estudio de 2000 son difíciles de comparar con los de los dos últimos por varias razones. En primer lugar, por la variación en los datos de consumo alimentario empleados entre el primer estudio y los siguientes, y también por la incorporación de alimentos adicionales en los grupos cuya representatividad era necesario mejorar.

4 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) constituyen una amplia clase de sustancias que se componen de dos o más anillos aromáticos fusionados. Se forman principalmente por la combustión incompleta de la materia orgánica y en diversos procesos industriales. Las personas están expuestas por diferentes vías. Mientras que para los no fumadores la principal vía de exposición es el consumo de alimentos, para los fumadores la contribución del humo de tabaco es muy importante. La presencia de HAP en los alimentos se debe a una contaminación ambiental o bien a una contaminación originada por los tratamientos térmicos a los que se somete el alimento durante su elaboración.

Se han identificado cerca de 100 HAP potencialmente cancerígenos. El Comité Mixto de la FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA, 2005) y el Grupo de Expertos de Contaminantes de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2008) han determinado que 16 HAP son indiscutiblemente genotóxicos y carcinógenos para las personas. No obstante, solamente se ha demostrado que ocho (HAP8) tienen capacidad cancerígena vía oral. Para el resto, se desconoce si son cancerígenos a través de los alimentos. La EFSA ha determinado que estos HAP8 son el mejor indicador de presencia y toxicidad de los HAP en los alimentos. También se puede utilizar como indicador cuatro (HAP4) de estos ocho sin afectar apenas la evaluación del riesgo, o bien, dos (HAP2), con pérdida de información sobre la presencia de HAP en los alimentos (EFSA, 2008).

Salvo del benzo(a)pireno, existen pocos datos toxicocinéticos de los HAP. En los mamíferos, la absorción del benzo(a)pireno varía entre un 12% y un 99% dependiendo de la especie y de la dosis de ingesta. En general, los HAP de bajo peso molecular se absorben más que los de gran peso molecular. Una vez absorbidos, se distribuyen por casi todos los órganos y son capaces de atravesar la barrera placentaria. No se bioacumulan, ya que los mamíferos los pueden metabolizar por diferentes vías y los metabolitos se eliminan por la orina. Así mismo, los metabolitos son muy reactivos y están implicados en los mecanismos mutagénicos y carcinógenos de los HAP.

Los dieciséis hidrocarburos identificados son:

Naftaleno	Acenaftileno	Acenafteno	Fluoreno
Fenantreno	Antraceno	Fluoranteno	Pireno
Benzo(a)antraceno*	Criseno*	Benzo(b)fluoranteno*	Benzo(k)fluoranteno*
Benzo(a)pireno*	Dibenzo(a,h)antraceno*	Benzo(g,h,i)perileno*	Indeno(1,2,3-c,d)pireno*

Las sustancias marcadas con un asterisco son las ocho que la EFSA ha seleccionado como indicadores.

En este estudio se han analizado los 16 compuestos, tal como se ha hecho en los anteriores estudios, para conocer la evolución de estos contaminantes en los alimentos. Los resultados también se dan considerando los HAP8, con el fin de seguir las recomendaciones de la EFSA para evaluar la exposición a través de la dieta y el riesgo que representan para la salud de la población. Además, se aportan resultados del benzo(a)pireno debido a que es el más importante del grupo por su toxicidad y presencia en los alimentos.

4.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LOS ALIMENTOS

En la tabla 1 se presentan las concentraciones de HAP detectadas en los diferentes grupos de alimentos estudiados. Los niveles totales más altos se han detectado en los siguientes grupos: carne y derivados con 38,99 µg/kg, en el que destaca el chorizo con 364,9 µg/kg; aceites y grasas con 18,75 µg/kg, en el que destaca la margarina con 19,25 µg/kg, y derivados lácteos con 7,57 µg/kg, en el que destaca la crema de caramelo con 12,80 µg/kg.

Tabla 1. Concentración de HAP. Valores de la media de los grupos de alimentos

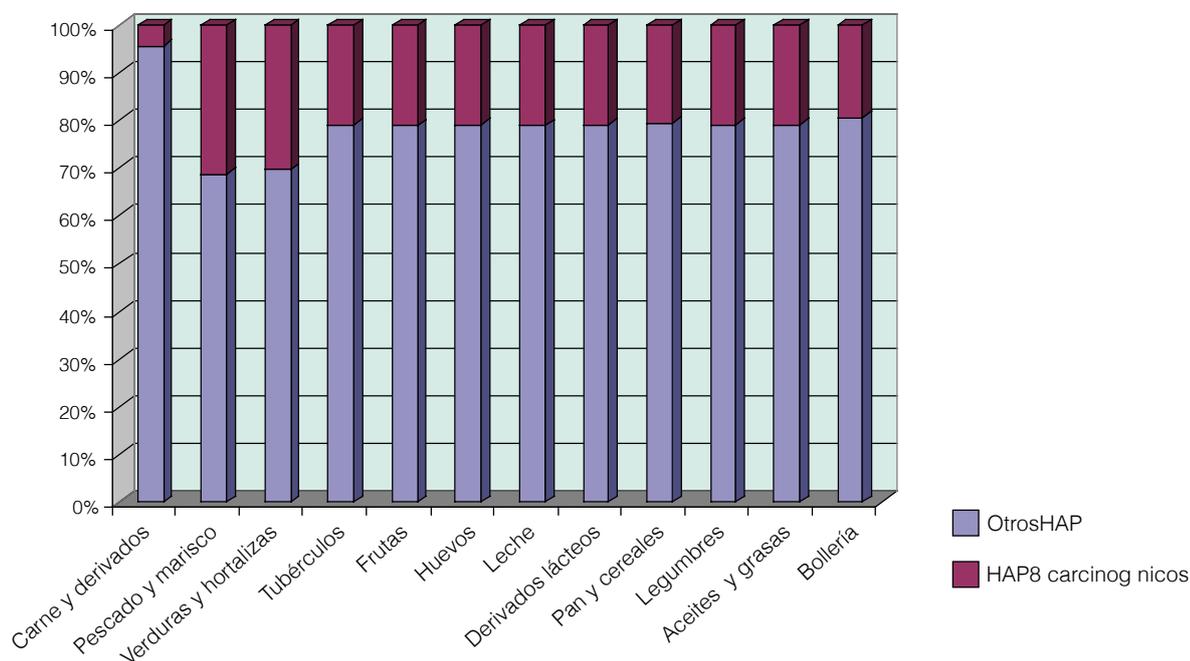
	Carnes y derivados	Pescado y marisco	Verduras y hortalizas	Tubérculos	Fruta	Huevos	Leche	Derivados lácteos	Pan y cereales	Legumbres	Aceites y grasas	Bollería
Naftaleno	2,48	0,44	0,27	0,24	0,27	1,20	0,16	2,49	0,41	0,50	6,25	0,41
Acenaftileno	2,10	0,11	0,05	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,08
Acenafteno	0,34	0,09	0,05	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,11	0,10	1,23	0,19
Fluoreno	2,03	0,09	0,05	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,13
Fenantreno	15,95	0,14	0,09	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,08
Antraceno	3,38	0,11	0,06	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,08
Fluoranteno	5,21	0,40	0,05	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,08
Pireno	5,78	0,44	0,21	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,08
Benzo(a)antraceno*	0,51	0,11	0,07	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,04
Criseno*	0,55	0,18	0,05	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
Benzo(b)fluoranteno*	0,25	0,20	0,04	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
Benzo(k)fluoranteno*	0,09	0,09	0,02	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
Benzo(a)pireno*	0,14	0,07	0,07	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
Dibenzo(a,h)antraceno*	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
Benzo(g,h,i)perileno*	0,07	0,08	0,07	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
Indeno(1,2,3-cd)pireno*	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,10	0,01	0,20	0,03	0,04	0,49	0,03
HAP total	38,99	2,64	1,22	0,73	0,81	3,62	0,47	7,57	1,27	1,50	18,75	1,43
Suma HAP8	1,71	0,82	0,37	0,15	0,17	0,76	0,10	1,58	0,26	0,31	3,92	0,28

En $\mu\text{g}/\text{kg}$ peso fresco

En lo que se refiere al cómputo de HAP8 los valores de la media más altos se han encontrado en los grupos siguientes: aceites y grasas con $3,92 \mu\text{g}/\text{kg}$, en el que destaca la margarina con $4,00 \mu\text{g}/\text{kg}$; carne y derivados con $1,71 \mu\text{g}/\text{kg}$, en el que destaca el chorizo con $14,36 \mu\text{g}/\text{kg}$, y derivados lácteos con $1,58 \mu\text{g}/\text{kg}$, en el que destaca la crema de caramelo con $2,66 \mu\text{g}/\text{kg}$.

Cabe señalar que estos datos, obtenidos básicamente de alimentos crudos, son similares a los obtenidos en el estudio de EFSA si se comparan solamente los mismos productos.

En la figura 1 se presenta la proporción, en el total de HAP estudiados, de los HAP8 en cada uno de los grupos de alimentos estudiados. Se observa que la proporción de los HAP8 es inferior al 25% en la mayoría de los grupos de alimentos.

Figura 1. Proporción d'HAP8 en los grupos de alimentos

4.2 CONTRIBUCIÓN DE LOS ALIMENTOS A LA INGESTA

La ingesta de HAP total estimada a través del consumo de los alimentos considerados es de 6.640 ng/día, de los cuales 644,5 ng/día corresponden a los HAP8. La ingesta de B(a)p se estima en 74,92 ng/día.

En la tabla 2 se resumen estos datos por grupos de alimentos. Atendiendo a la ingesta de HAP total, la contribución más grande proviene del grupo de la carne y derivados con 4.750 ng/día, seguido de los aceites y grasas con 510 ng/día. En el grupo de la carne y derivados destaca la contribución del chorizo con 3,93 ng/día y en el de los aceites y grasas, aceite de oliva con 460 ng/día. Observando la ingesta d'HAP8 y de B(a)p, destaca en primer lugar el grupo de carne y derivados en los dos casos.

Tabla 2. Ingesta diaria estimada de HAP. Resumen por grupos de alimentos

	Consumo de alimento	Ingesta de HAP total ng/día	Ingesta de HAP8 carcinogénicos ng/día	Ingesta de B(a)p ng/día
Carne y derivados	150,3	4.750	221,3	19,29
Pescado y mariscos	52,94	100	30,77	2,99
Verduras y hortalizas	129,2	200	62,06	11,38
Tubérculos	73,06	50	11,25	1,41
Frutas	160,7	150	31,45	3,93
Huevos	31,07	110	23,78	2,97
Leche	127,1	70	15,53	1,94
Derivados lácteos	85,47	290	60,43	7,55
Pan y cereales	217,1	280	59,15	7,39
Legumbres	28,50	50	9,92	1,24
Aceites y grasas	27,09	510	106,5	13,31
Bollería	19,04	60	12,42	1,51
Total alimentos estudio	1102	5.850	570,1	66,18
Total alim. considerados	1284	6.640	644,5	74,92

En las figuras 2, 3 y 4 se representan los porcentajes de contribución de los diferentes alimentos a la ingesta diaria estimada de HAP totales, d'HAP8 y de B(a)p.

Se puede comprobar que, tanto en HAP totales, como en HAP8 o B(a)p, la carne y derivados es el grupo que más aporta.

Figura 2. Contribución por grupos de alimentos a la ingesta de HAP totales

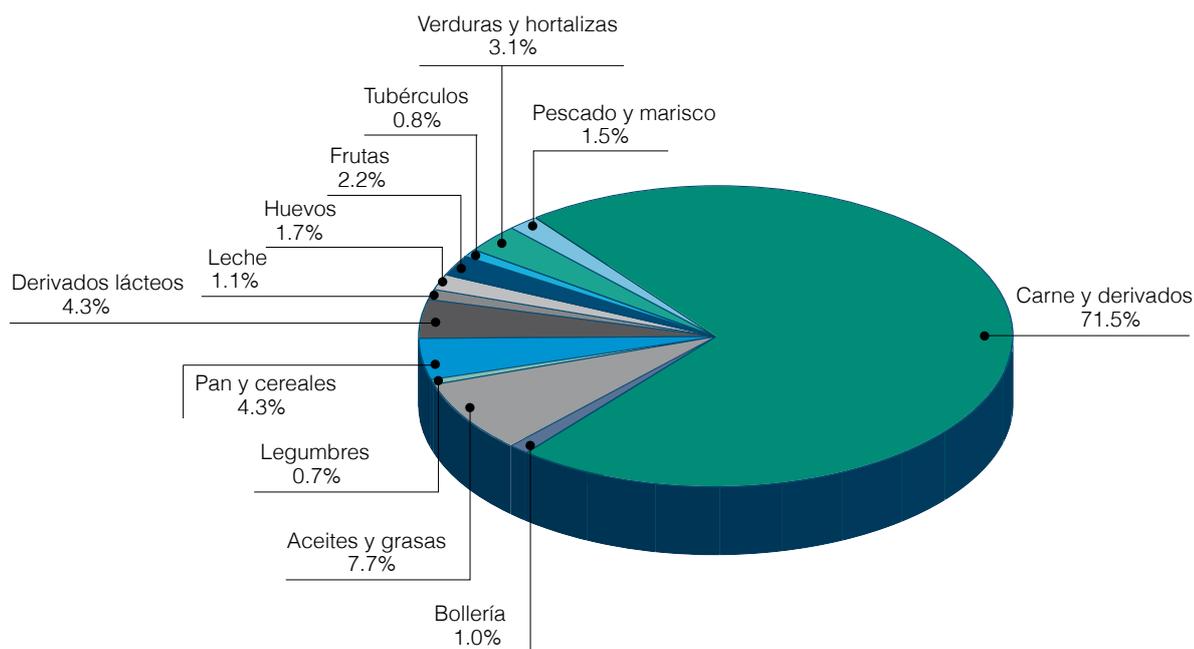


Figura 3. Contribución por grupos de alimentos a la ingesta de HAP8

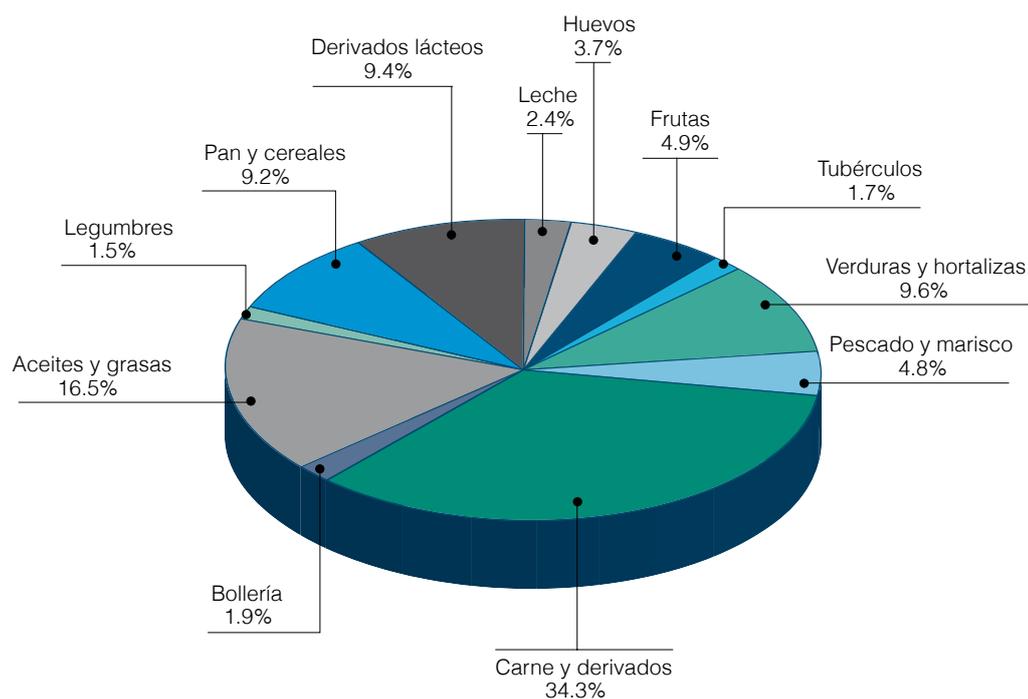
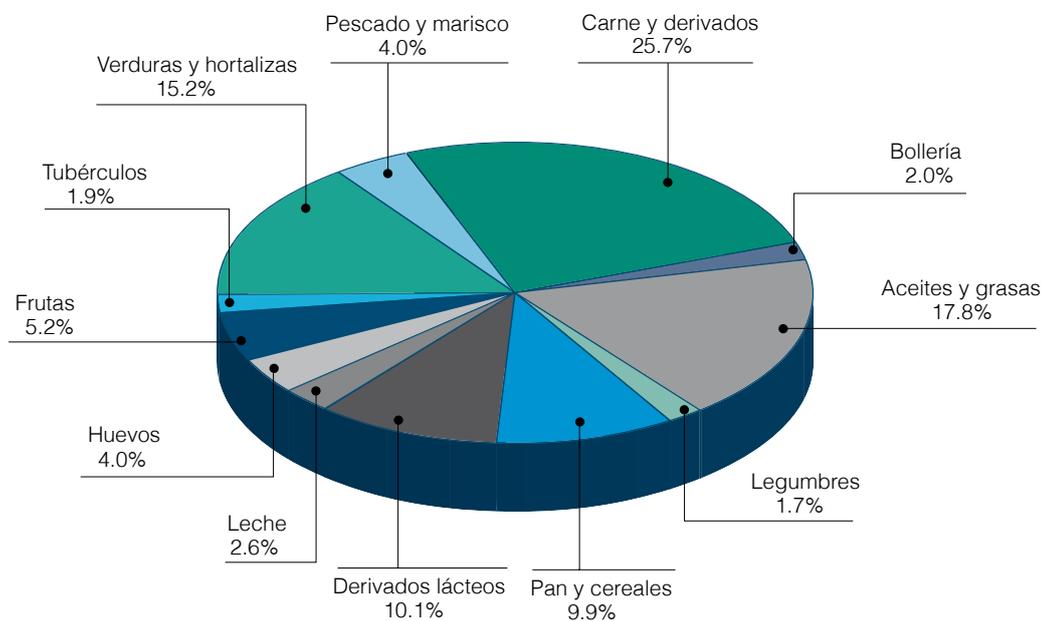


Figura.4. Contribución por grupos de alimentos a la ingesta de B(a)p

4.3 INGESTA DIARIA ESTIMADA POR GRUPOS DE POBLACIÓN

La tabla 3 muestra la ingesta estimada de HAP para diferentes grupos de población, según edad y sexo. La ingesta estimada más alta corresponde a los grupos de los chicos adolescentes.

Tabla 3. Ingesta diaria estimada de HAP de los grupos de población

Grupo de población	Ingesta de HAP total ng/día	Ingesta de HAP8 carcinogénicos ng/día	Ingesta de B(a)p ng/día
Hombres	6.640	644,5	74,92
Mujeres	3.810	480,3	56,48
Niños/as	7.590	733,4	82,40
Chicos adolescentes	8.200	666,8	71,41
Chicas adolescentes	5.490	508,6	56,46
Hombres mayores de 65 años	3.520	549,0	72,59
Mujeres mayores de 65 años	2.550	395,2	49,17

4.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO

4.4.1 Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 4 se presenta la ingesta diaria estimada de HAP, en los diferentes grupos de población expresada en función del peso corporal. Como es habitual en la mayoría de contaminantes, al expresar la exposición en relación con el peso corporal, el grupo de los niños se destaca.

Para los HAP cancerígenos, la EFSA ha propuesto como límite de seguridad la BMDL₁₀ o dosis experimental, crónica, que causa un 10% de incidencia de tumores en ratones (límite inferior del intervalo de confianza del 95% correspondiente a la dosis).

Los valores de BMDL₁₀ para los HAP que recomienda la EFSA se extraen de los trabajos de carcinogénesis llevados a cabo por Culp y colaboradores en 1998. Para el B(a)p se ha fijado una BMDL₁₀ de 0,07 mg/kg de peso corporal y día ($7 \cdot 10^4$ ng/kg/día) y, para el HAP8, de 0,49 mg/kg pc y día ($49 \cdot 10^4$ ng/kg/día).

Como se puede comprobar, los datos correspondientes a la ingesta en Cataluña son claramente inferiores al límite de seguridad establecido por la EFSA.

Tabla 4 Ingesta diaria estimada de HAP de los grupos de población en función del peso corporal

Grupo de población	Ingesta de HAP total ng/día	Ingesta de HAP8 carcinogénicos ng/día	Ingesta de B(a)p ng/día
Hombres	90	9,21	1,07
Mujeres	70	8,73	1,03
Niños/as	320	30,56	3,43
Chicos adolescentes	150	11,91	1,28
Chicas adolescentes	100	9,60	1,07
Hombres mayores de 65 años	50	8,45	1,12
Mujeres mayores de 65 años	40	6,59	0,82

Siguiendo las recomendaciones de EFSA, se ha estimado el margen de exposición o MOE (margin of exposure). El MOE es un cociente de riesgos y se calcula dividiendo una dosis de la que se conoce el porcentaje de efecto que produce experimentalmente, por la dosis que se quiere evaluar. Por tanto, en una situación concreta es deseable un valor de MOE cuanto más alto mejor.

Para el caso concreto de los HAP cancerígenos, la EFSA propone evaluar la suma de los HAP8 respecto de la BMDL₁₀. El valor de BMDL₁₀ para el B(a)p es de 4,2 mg/día, y para los HAP8, de 29,4 mg/día.

Se ha calculado los MOE de los grupos con las ingestas más altas de nuestro estudio. La EFSA considera que valores de MOE iguales o inferiores a 10.000 indican un riesgo para el grupo de población evaluada. Como se puede observar en la tabla 5, los valores de MOE obtenidos en nuestra población son bastante superiores: entre 45.000 y 40.000 en función del grupo de edad, a diferencia del que se ha estimado para un europeo, 17.000, en el caso del estudio de EFSA. Esta diferencia se explica en parte por el hecho de que el estudio de EFSA, que evalúa específicamente estos contaminantes, analiza principalmente los alimentos procesados térmicamente, como el pescado ahumado, la carne a la brasa, la fruta desecada o el café, los cuales contienen concentraciones más altas que los productos frescos, que son los mayoritarios en nuestro estudio, ya que los HAP también se forman in situ durante la cocción a altas temperaturas.

Tabla 5. Valores de MOE para la exposición a HAP8 y B(a)p

Ingesta diaria	HAP8*	MOEHAP8	B(a)p*	MOEB(a)p
Hombre adulto, EFSA	1.729	17.000	235	17.900
Hombre adulto	644,5	45.606	74,92	56.147
Niños/as	733,4	40.078	82,40	51.050
Chicos adolescentes	666,8	44.081	71041	58.906

*En ng/día

Para los compuestos que tienen dosis de referencia (RfD), dosis por debajo de la cual es muy improbable que aparezcan efectos tóxicos, la evaluación se hace individualmente. Para todos los grupos de población, tabla 6, se puede observar una ingesta diaria muy por debajo de estos valores de referencia. Los correspondientes cocientes de riesgos obtenidos dividiendo la exposición para la RfD dan valores muy inferiores a la unidad en todos los casos.

Tabla 6. Ingesta diaria correspondiente a los HAP con dosis de referencia establecida

	Antraceno	Acenafteno	Fluoranteno	Fluoreno	Naftaleno	Pireno
Hombres	1,2E-05	2,7E-06	1,3E-05	6,3E-06	7,1E-06	1,5E-05
Mujeres	7,0E-06	2,3E-06	1,0E-05	4,8E-06	5,4E-06	1,1E-05
Niños/as	8,6E-06	2,9E-06	1,2E-05	6,0E-06	1,5E-05	1,4E-05
Chicos adolescentes	1,0E-05	3,0E-06	1,5E-05	7,1E-06	8,2E-06	1,7E-05
Chicas adolescentes	8,0E-06	2,5E-06	1,2E-05	5,5E-06	6,0E-06	1,3E-05
Hombres mayores de 65 años	6,4E-06	2,3E-06	9,1E-06	4,5E-06	4,7E-06	1,0E-05
Mujeres mayores de 65 años	5,7E-06	2,0E-06	8,1E-06	4,0E-06	4,4E-06	9,1E-06
Dosis de Referencia RfD	3,0E-01	6,0E-02	4,0E-02	4,0E-02	2,0E-02	3,0E-02

En mg/kg/día

4.4.2 Evaluación probabilística de la exposición

En las tablas 7 y 8 se presentan respectivamente los resultados de la evaluación probabilística de la exposición a HAP total y HAP8 carcinogénicos a través de la dieta.

Tabla 7. Ingesta relativa de HAP total por grupos de población, Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertidumbres

Grupo de población	Variabilidad						Incertidumbre c*Q					
	media	SD	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
Hombres	91,1	68,3	72,9	112,0	170,8	218,8	91,0	70,9	72,6	112,7	173,7	224,9
Mujeres	79,6	69,3	58,7	95,0	148,3	194,1	79,2	74,0	58,4	94,4	150,6	197,8
Niños/as	149,5	124,0	119,8	184,4	294,5	338,6	147,5	125,4	118,1	182,0	286,5	343,1
Chicos adolescentes	133,4	103,1	102,9	167,3	291,7	341,6	134,6	105,4	103,9	171,1	292,9	349,8
Chicas adolescentes	65,7	61,5	48,4	70,6	127,5	197,6	66,8	64,5	49,2	71,8	129,5	202,4
Hombres mayores de 65 años	45,3	33,8	35,3	49,5	78,0	101,7	46,2	37,2	35,5	50,9	81,1	105,3
TOTAL	84,8	74,5	61,8	104,1	169,8	220,9	87,7	78,9	64,4	107,3	172,5	230,6

En ng/kg/día

Tabla 8. Ingesta relativa d'HAP8 por grupos de población, Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertidumbres

Grupo de población	Variabilidad						Incertidumbre c*Q					
	media	SD	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
Hombres	9,06	3,18	8,46	10,46	12,91	14,87	9,14	3,47	8,46	10,64	13,37	15,50
Mujeres	9,63	3,42	8,97	11,01	13,56	15,62	9,69	4,15	8,92	11,12	14,09	16,54
Chicos adolescentes	13,21	5,41	12,07	15,30	19,23	21,69	13,19	5,87	12,04	15,36	19,62	22,41
Chicas adolescentes	12,17	4,62	11,12	14,41	18,55	20,80	12,15	4,83	11,08	14,53	18,78	21,22
Hombres mayores de 65 años	7,77	2,92	7,16	8,80	11,02	13,37	7,83	3,16	7,14	8,99	11,60	13,85
Mujeres mayores de 65 años	7,05	2,13	6,71	8,04	9,57	10,82	7,12	2,51	6,67	8,15	10,12	11,89
TOTAL	9,50	3,55	8,77	10,96	13,70	15,89	9,56	3,93	8,79	11,15	14,10	16,55

En ng/kg/día

Se puede observar una coincidencia considerable entre los valores de las medias del estudio probabilístico con los cálculos deterministas. Lógicamente, cuando se tiene en cuenta la incertidumbre, estos valores aumentan. En ningún caso, ni al considerar la variabilidad, ni en el peor escenario razonable que se crea al tener en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de consumo y de concentración, los valores obtenidos superan el doble o el triple de los valores deterministas. Obviamente, dado el amplio margen que separa estos datos de cualquier cifra de riesgo, en estos supuestos tampoco nos aproximamos significativamente a situaciones límite.

En cambio, el estudio de la EFSA advierte que los grandes consumidores (percentil 97,5%) de productos a base de cereales y de pescado y productos de la pesca se hallan en una situación de riesgo, aunque se debe considerar de muy bajo, con unas ingestas de benzo(a)pireno de 389 ng/día (MOE de 10.800) y d'HAP8 de 3.078 ng/día (MOE de 9.600).

4.5 EVOLUCIÓN 2000-2005-2008

4.5.1 Concentración

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran las comparaciones de las concentraciones medias de HAP totales, HAP8 y B(a)p halladas en los tres estudios de dieta total en Cataluña.

Para los HAP totales, se observan algunos descensos como en el caso de la leche, pan i cereales, legumbres y bollería. Por contra, manifiestan incrementos el grupo de la carne y derivados así como los derivados lácteos.

Respecto a los HAP8 se observa una tendencia a la disminución de las concentraciones en carne y derivados, pescado i mariscos, leche, pan y cereales y bollería. En cambio, se detectan subidas en los valores de verduras, derivados lácteos y aceites y grasas.

En el cas del B(a)p se observa una disminución del contenido en pescados y mariscos, leche, pan y cereales, y bollería. Se aprecian incrementos en carne y derivados, verduras y derivados lácteos.

Figura 5. Comparación de las concentraciones medias de HAP total 2000-2005-2008

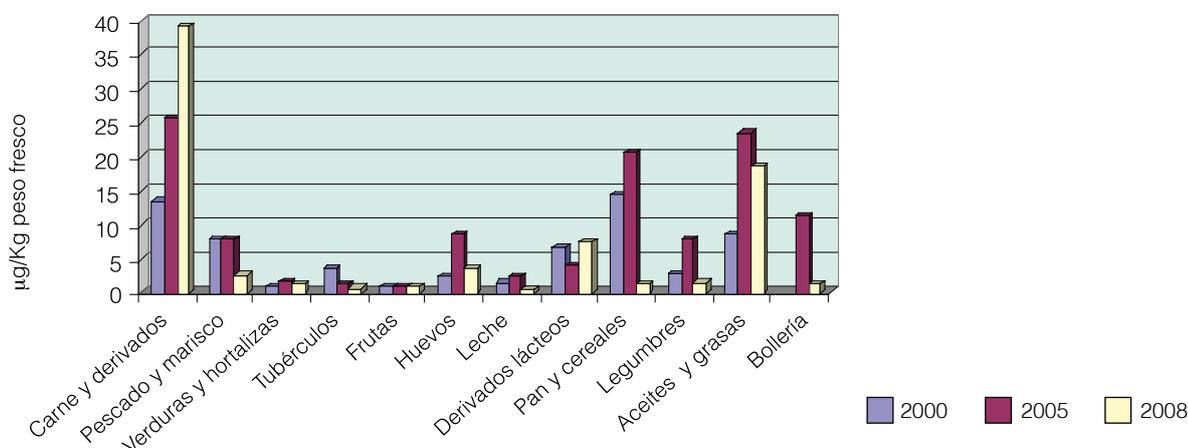


Figura 6. Comparación de las concentraciones medias de HAP8 2000-2005-2008

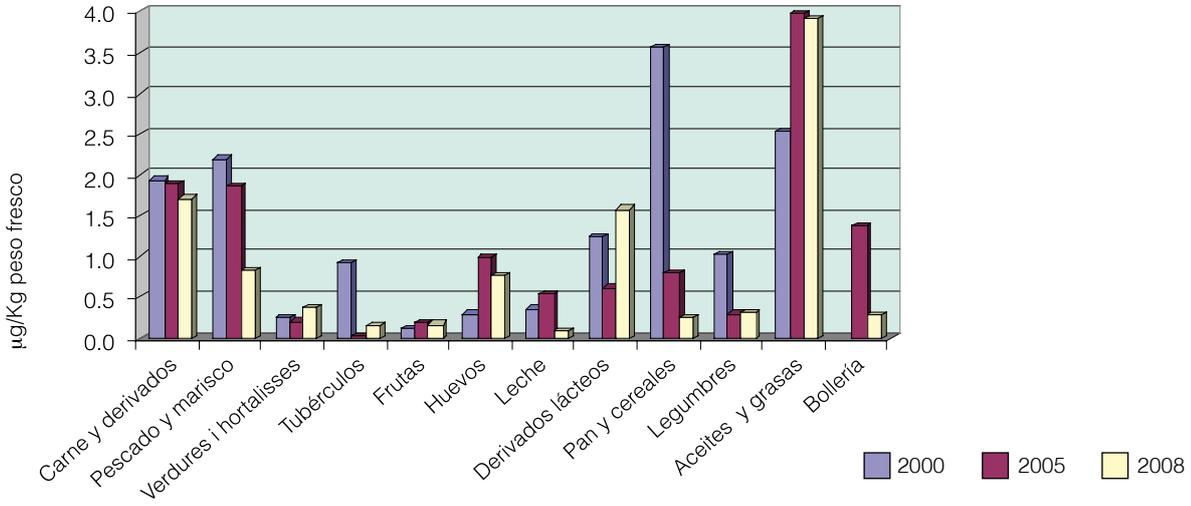
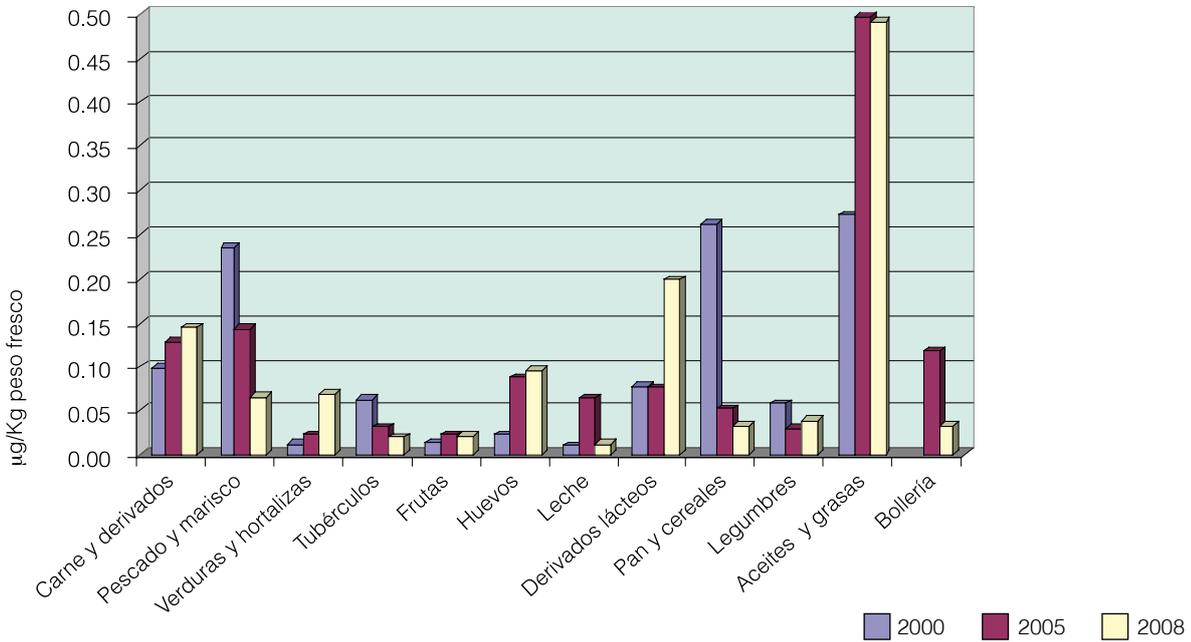


Figura 7. Comparación de las concentraciones medias de B(a)p 2000-2005-2008



4.5.2 Ingesta

Como se puede observar en la tabla 9, la ingesta total de HAP estimada para un individuo adulto en Cataluña es de 6,64 µg/día, mientras que el año 2005 fue de 12,04 µg/día (44.3%) y al 2000 de 8,42 µg/día. En cuanto a la evolución de los valores de ingesta para el conjunto de los HAP8 y el B(a)p, se aprecia un notable descenso, que se puede cifrar en un 31,4% y un 16,1% respectivamente.

Tabla 9. Variación en la ingesta diaria de HAP totales, HAP8 y B(a)p. 2000-2005-2008

	Consumo de alimentos g/día		HAP total µg/día			HAP8 ng/día			B(a)p ng/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008	2000	2005	2008	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	2,49	3,28	4,75	358,3	306,4	221,3	18,13	25,70	19,29
Pescado y marisco	92	67,53	0,73	0,34	0,10	201,2	74,46	30,8	21,62	7,14	2,99
Verduras y hortalizas	226	159,7	0,20	0,34	0,20	56,95	30,19	62,1	2,94	3,53	11,38
Tubérculos	74	73,06	0,27	0,09	0,05	68,30	2,26	11,3	4,66	2,26	1,41
Frutas	239	193,6	0,23	0,20	0,15	29,88	35,70	31,5	3,35	4,52	3,93
Huevos	34	31,29	0,08	0,27	0,11	10,30	30,66	23,8	0,78	2,78	2,97
Leche	217	128,4	0,33	0,40	0,07	78,12	88,01	15,5	2,39	10,72	1,94
Derivados lácteos	106	75,62	0,70	0,14	0,29	132,9	22,50	60,4	8,27	2,81	7,5
Pan y cereales	206	224,3	2,98	5,47	0,28	734,8	174,2	59,1	53,97	9,92	7,39
Legumbres	24	30,36	0,07	0,22	0,05	24,46	9,06	9,9	1,39	0,94	1,24
Aceites y grasas	41	27,16	0,36	0,85	0,51	103,6	107,4	106,4	11,15	13,42	13,31
Bollería		45,45		0,46	0,06		58,26	12,4		5,55	1,51
Total alimentos considerado	1444	1228	8,42	12,04	6,64	1799	939,2	644,5	128,6	89,29	74,9

4.6. OTROS ESTUDIOS

En la tabla 10 y 11 se presentan los datos de algunos estudios similares del resto del mundo.

Tabla 10. Ingesta diaria de HAP. Comparativa con otros estudios de ingesta

País	$\mu\text{g}/\text{día}$	Autores
Cataluña	6,64	Este estudio
España	8,75-10,21	Duarte-Salles y cols., 2010
España	8,4	Yoon y col., 2007
Cataluña	12,04	Estudi 2005
España	8,57	Ibañez, R y col., 2005
Cataluña	8,4	Estudi 2000
Nueva Zelanda	3,2	Thomson, B y col., 1996
Italia	3	Lodovici, M y col., 1995
Estados Unidos	3	Menzie, CA y col., 1992
Holanda	entre 5 i 17	de Vos, RH y col., 1990
Reino Unido	3,7	Dennis, MJ y col., 1983

Tabla 11. Ingesta diaria de benzo(a)pireno. Comparativa con otros estudios de ingesta

País	$\text{ng}/\text{día}$	Autores
Cataluña	74,9	Este estudio
China	487,64	Xia y col., 2010
España	188-199	Duarte-Salles y cols., 2010
UE	186-258	EFSA, 2008
Irán	70,6-91,4	Hakami y cols., 2008
Corea	124,55	Lee y cols., 2007
Cataluña	89,29	Estudio 2005
España	140	Ibañez, R y col., 2005
Cataluña	128,6	Estudio 2000



5 Mercurio

El mercurio es un elemento natural que se encuentra en el aire, el agua y el suelo. Las principales fuentes de mercurio son las emisiones industriales. El mercurio inorgánico se encuentra en diversas formas y es persistente en el medio ambiente. Las tres formas predominantes son: a) el mercurio elemental o metálico (con el símbolo químico Hg^0 ; b) el mercurio iónico o inorgánico (con el símbolo químico Hg^{2+}) presente en la naturaleza como compuesto o complejo en solución, y c) el mercurio orgánico, del cual el metilmercurio (con el símbolo químico MeHg) es el más importante.

El mercurio elemental se utiliza en la industria química para obtener cloro, álcalis, monómeros de clorovinilo, amalgamas dentales y, en la industria electrónica, para fabricar instrumentos de medida, bombillas de bajo consumo, etc. El mercurio inorgánico se utiliza en la industria química como reactivo químico en la obtención de pinturas, medicamentos y baterías. Otra fuente de emisión son los combustibles fósiles, como el carbón, el gasoil y el petróleo que se utilizan para producir energía. El metilmercurio se forma a partir de los microorganismos del suelo y del agua, y se bioacumula a lo largo de la cadena trófica acuática; depredadores como el tiburón, el pez espada o emperador y el atún son las especies que más contienen, a causa de su larga vida y de su exclusiva dieta carnívora.

La absorción de mercurio inorgánico por vía oral varía en adultos entre un 2 y un 38%, en función de la forma química. La mayoría de formas está en un rango de absorción entre el 10 y el 15% (JECFA, 2011)¹. Los incrementos del pH intestinal, dietas lácteas (importante en el caso de los neonatos) y el aumento de la actividad pinocitósica en el tracto intestinal (como sucede en los bebés) favorecen su absorción. El mercurio inorgánico tiene una capacidad limitada para atravesar la barrera hematoencefálica, la placenta y también para pasar a la leche. Se acumula principalmente en el riñón. La semivida de las formas inorgánicas varía de 30 a 60 días en función del órgano; en el riñón y el cerebro es donde perduran más (UNEP/WHO)².

El mercurio inorgánico provoca daños renales graves. El primer efecto que se observa es una glomerulonefritis autoinmune (inflamación renal). En niños que han ingerido accidentalmente cloruro de mercurio se ha visto afectado su sistema cardiovascular (aumento de la presión sanguínea y de las pulsaciones cardíacas). Algunos estudios apuntan que podría causar efectos sobre el desarrollo neuronal y que algunas formas pueden ser mutagénicas y llegar a las gónadas femeninas. No se ha demostrado que tenga efectos genotóxicos ni que sea cancerígeno para los humanos. Los datos de estudios carcinogénicos en animales son limitados. En todo caso, el órgano más sensible es el riñón y todos los demás efectos tóxicos, como el cáncer, se observan a dosis superiores a la que causa daño renal (UNEP/WHO).²

El Comité Mixto de la OMS y la FAO de Expertos en Aditivos Alimentarios y Contaminantes (JECFA) evaluaron en diversas ocasiones el mercurio. En 2003 estableció una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de $5\mu\text{g}/\text{Kg}$ de peso corporal y semana, de la cual solo de $1,6\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal y semana de metilmercurio (JECFA, 2003). La ingesta de metilmercurio se calculó a partir de la ausencia de efectos sobre el desarrollo mental en niños de 4 a 7 años de madres de las islas Feroe y Seychelles, grandes consumidores de productos de la pesca. Estos resultados se han visto confirmados por otros estudios efectuados en Nueva Zelanda, Isla de Madeira y cuenca del río Amazonas (UNEP/WHO, 2008). Recientemente, el Comité propuso que se retire la ISTP para el mercurio total y se adopte una ISTP para el mercurio inorgánico de $4\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal

1 Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization. Safety evaluation of certain contaminants in food. FAO JECFA Monographs 8 / Who Food Additives Series: 63, 2011.

2 United Nations Environment Program and World Health Organisation. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. Geneva, 2008.

por semana (JECFA, 2011), estimada a partir de datos de toxicidad sobre el riñón. Este valor se aplicaría a la exposición a los alimentos distintos de los productos de la pesca. Esta nueva ingesta semanal tolerable provisional está pendiente de ratificación.

5.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Las concentraciones detectadas en los diferentes alimentos analizados se presentan en la tabla 5.1. Como es habitual, en conjunto el grupo del pescado es el que muestra unas concentraciones más elevadas. Los valores más altos se han detectado en el emperador con un valor medio de 0,87 µg/g de peso fresco y el atún con 0,55 µg/g de peso fresco. Entre las muestras de pescado y marisco, los valores más bajos se encuentran en la sardina en lata, el salmón, la sepia, la almeja y el calamar.

Tabla 5.1. Concentración de mercurio total en los alimentos. Valores medios

	Hg total	Me Hg
Carne y derivados	0,013	-
Pescado y marisco	0,145	0,131
Verduras y hortalizas	0,007	-
Tubérculos	0,010	-
Frutas	0,006	-
Huevos	0,004	-
Leche	0,004	-
Derivados lácticos	0,005	-
Pan y cereales	0,008	-
Legumbres	0,008	-
Aceites y grasas	0,006	-
Bollería	0,005	-

En µg/g peso fresco

Se observa en la tabla 5.2 que las concentraciones más altas de metilmercurio se encuentran en las especies de pescado que son grandes predadores, como el atún y el pez espada.

Tabla 5.2. Concentración media de metilmercurio en las especies de pescado y marisco analizadas

	2008
Sardina	0,019
Sardina en lata	0,017
Atún	0,449
Atún en lata	0,132
Boquerón	0,063
Caballa	0,048
Pez espada	0,782
Salmón	0,007
Merluza	0,031
Salmonete	0,201
Lenguado	0,027
Sepia	0,008
Calamar	0,004
Almeja	0,016
Mejillón	0,015
Gamba	0,229

En µg/g peso fresco

En el pescado y marisco, el metilmercurio puede representar más del 90% del mercurio total (Bloom NS, 1992)³. Aquest valor s'ha pres com a referència en les avaluacions de JECFA, d'UNEP/WHO i d'aquest estudi. Alguns estudis indiquen que el percentatge de metilmercuri respecte del total pot variar molt, disminuint en espècies de peixos que no són grans predadors. Les concentracions de metilmercuri en cada espècie de peix és més elevada en general quan augmenta la mida o el pes, paràmetres que es correlacionen amb una edat i un nivell tròfic elevats. Es recomana que en els estudis d'exposició s'analitzin amb detall les espècies de peix i marisc que consumeix la població, així com que se n'estimi amb cura el patró de consum (UNEP/WHO, 2008).

³ Bloom NS (1992). On the methylmercury content of fish tissue. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.

5.2 CONTRIBUCIÓN DE LOS ALIMENTOS A LA INGESTA

La tabla 5.3 presenta la ingesta diaria estimada de mercurio y metilmercurio para un hombre adulto.

Tabla 5.3. Ingesta diaria estimada de mercurio total y metilmercurio. Hombre adulto. Resumen por grupos de alimentos

	Consumo de alimento g/día	Ingesta de Hg total µg/día	Ingesta de MeHg µg/día
Carne y derivados	171,9	2,40	
Pescado y marisco	67,53	5,39	4,85
Verduras y hortalizas	159,7	1,60	
Tubérculos	73,06	0,74	
Frutas	193,6	1,37	
Huevos	31,29	0,14	
Leche	157,5	0,70	
Derivados lácteos	101,3	0,47	
Pan y cereales	225,3	1,99	
Legumbres	30,36	0,28	
Aceites y grasas	27,16	0,12	
Bollería	45,45	0,23	
TOTAL alimentos	1.284	15,41	4,85

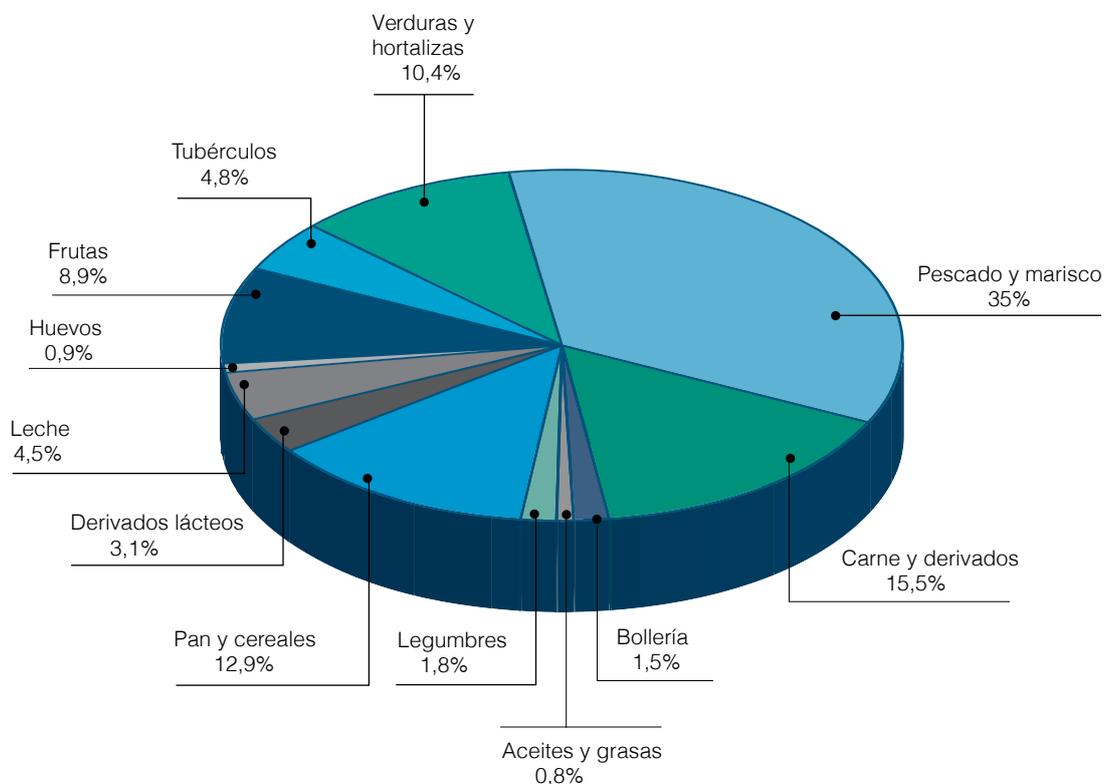
La ingesta estimada de mercurio para un hombre adulto estándar a través de la dieta es de 15,41 µg/día y la de metilmercurio es de 4,85 µg de MeHg/día.

La contribución más importante a esta ingesta se debe al atún en lata y a la gamba, con 1,25 µg/día y 0,90 µg/día, respectivamente. Aunque el emperador es el alimento estudiado que presenta más concentración de mercurio, su consumo es bajo (0,05 g/día), por lo que no representa una contribución global significativa a nivel poblacional, pero se ha de tener en cuenta que a nivel individual sí puede ser significativo (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Contribución a la ingesta de metilmercurio por especie de pescado y marisco

	Concentración µg/g peso fresco	Consumo g/día	Ingesta µg/día
Sardina	0,019	2,91	0,050
Sardina en lata	0,017	0,86	0,006
Atún	0,449	1,62	0,808
Atún en lata	0,132	8,51	1,121
Anchoa	0,063	2,04	0,129
Caballa	0,048	1,13	0,054
Pez espada	0,782	0,06	0,047
Salmón	0,007	1,79	0,013
Merluza	0,031	15,77	0,485
Salmonete	0,201	0,33	0,066
Lenguado	0,027	5,48	0,145
Sepia	0,008	4,46	0,037
Calamar	0,004	3,17	0,013
Almeja	0,016	0,27	0,004
Mejillón	0,015	0,97	0,014
Gamba	0,229	3,53	0,810

Figura 5.1. Contribución del tipo de alimento a la ingesta diaria de mercurio total



5.3 INGESTA DIARIA ESTIMADA POR GRUPOS DE POBLACIÓN

La tabla 5.5 muestra la ingesta estimada de mercurio para los diferentes grupos de población, según edad y sexo.

El hombre adulto es el grupo de población que hace una ingesta diaria de mercurio más elevada, con 15,41 $\mu\text{g}/\text{día}$.

Tabla 5.5. Ingesta diaria estimada de mercurio y metilmercurio de los diferentes grupos de población

Grupo de población	Ingesta diaria de mercurio total	Ingesta diaria de metilmercurio
Hombres	15,41	4,85
Mujeres	13,67	4,58
Niños y niñas	13,35	4,47
Chicos adolescentes	14,27	3,23
Chicas adolescentes	12,14	3,18
Hombres mayores de 65 años	13,65	3,91
Mujeres mayores de 65 años	10,82	2,87

En $\mu\text{g}/\text{día}$

5.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO

5.4.1 Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 5.6 se muestra la ingesta estimada de mercurio total y metilmercurio en los diferentes grupos de población, expresada en función del peso corporal.

Así, el hombre adulto, con una ingesta d'1,54 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$, derivada mayoritariamente del consumo de pescado (0,54 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$), está claramente por debajo del nivel de seguridad toxicológica establecida por el JECFA de 5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$. Los niños y niñas son los que han presentado una ingesta semanal de mercurio más elevada con 3,89 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$.

Tabla 5.6. Ingesta de mercurio total y metilmercurio relativa al peso corporal

Grupo de población	Ingesta diaria de mercurio total	Ingesta semanal de mercurio total	Ingesta diaria de metilmercurio	Ingesta semanal de metilmercurio
Hombres	0,22	1,54	0,07	0,49
Mujeres	0,25	1,74	0,08	0,58
Niños y niñas	0,56	3,89	0,19	1,31
Chicos adolescentes	0,25	1,78	0,06	0,40
Chicas adolescentes	0,23	1,60	0,06	0,42
Hombres mayores de 65 años	0,21	1,47	0,06	0,42
Mujeres mayores de 65 años	0,18	1,26	0,05	0,33

En $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$ y $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ (aproximada)

Respecto a la ingesta de metilmercurio, el valor de la ingesta tolerable se establece por el JEFCA en 1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$; los niños y las niñas son los que presenten un valor de ingesta más elevado, de 1,31 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ (1,83 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ en el estudio del 2005 y 1,31 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ en el de 2000), seguido del grupo de las mujeres con 0,58 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$. En ningún caso, se supera el límite establecido.

Se ha de mencionar que el 2003 el JEFCA (FAO/OMS) redujo la ingesta semanal provisional tolerable para el metilmercurio de 3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ a 1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$, debido a los efectos sobre el desarrollo neurológico en el feto. Así, aunque la cifra que se podría aplicar en la población general sea de 3,3 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$, es conveniente aplicar una ISTP de 1,6 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$ para toda la población, adultos, niños y niñas y embarazadas para más seguridad.

5.4.2 Evaluación probabilística de la exposición

En la tabla 5.7 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición al mercurio total a través de la dieta.

Tabla 5.7. Ingesta relativa de mercurio total por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertidumbres

Grupo de población	Variabilidad						Incertidumbre c*Q					
	media	SD	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
Hombres	1,40	0,35	1,40	1,61	1,89	2,03	1,47	0,56	1,33	1,68	2,10	2,45
Mujeres	1,61	0,49	1,54	1,82	2,17	2,38	1,68	0,70	1,54	1,89	2,38	2,80
Chicos adolescentes	1,75	0,49	1,68	1,96	2,31	2,52	1,82	0,84	1,68	2,10	3,70	3,15
Chicas adolescentes	1,68	0,42	1,61	1,89	2,17	2,38	1,68	0,77	1,54	1,96	2,45	2,94
Hombres mayores de 65 años	1,33	0,35	1,26	1,47	1,75	1,89	1,33	0,49	1,26	1,54	1,89	2,24
Mujeres mayores de 65 años	1,26	0,35	1,19	1,40	1,61	1,75	1,26	0,49	1,19	1,47	1,82	2,14
TOTAL	1,54	0,42	1,47	1,75	2,03	2,24	1,54	0,77	1,40	1,75	2,24	2,59

En $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$

Se puede observar una gran coincidencia entre los valores de las medias del estudio probabilístico con los cálculos deterministas. Lógicamente, al tener en cuenta la incertidumbre asociada a los datos de consumo y de concentración, estos valores aumentan. En ningún caso, se observa que la exposición supere el nivel de seguridad toxicológico de $5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$, establecido por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos y Contaminantes Alimentarios (JECFA). El percentil 95 (alto) de la población realiza una ingesta de mercurio de entre $2,14 - 3,12 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$, según el grupo considerado.

En la tabla 5.8 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición al metilmercurio a través de la dieta.

Tabla 5.8. Ingesta relativa de metilmercurio por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertidumbres

Grupo de población	Variabilidad						Incertidumbre c*Q					
	media	SD	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
Hombres	0,462	0,273	0,413	0,595	0,798	0,945	0,497	0,455	0,339	0,616	0,917	1,176
Mujeres	0,532	0,343	0,469	0,665	0,903	0,155	0,567	0,518	0,448	0,693	1,043	1,372
Chicos adolescentes	0,455	0,392	0,371	0,567	0,798	0,994	0,490	0,588	0,343	0,567	0,917	1,337
Chicas adolescentes	0,434	0,252	0,055	0,553	0,756	0,924	0,455	0,553	0,343	0,546	0,875	1,169
Hombres mayores de 65 años	0,427	0,245	0,378	0,539	0,742	0,889	0,441	0,357	0,364	0,553	0,805	1,022
Mujeres mayores de 65 años	0,350	0,217	0,315	0,448	0,602	0,707	0,364	0,287	0,301	0,455	0,658	0,840
TOTAL	0,483	0,308	0,420	0,609	0,826	0,987	0,497	0,497	0,392	0,609	0,910	1,183

En $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$

También en este caso se puede observar una gran coincidencia entre los valores de las medias del estudio probabilístico con los cálculos deterministas. De la misma manera, al tener en cuenta la incerteza, estos valores aumentan. En ningún caso, ni cuando se considera la variabilidad, ni en el peor escenario razonable que se crea al tener en cuenta las incertezas asociadas a los datos de consumo y de concentración, se observa que la exposición supere el nivel de seguridad toxicológico de 1,6 μg de metilmercurio/kg/semana, establecido por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos y Contaminantes Alimentarios (JECFA). El percentil 95 (alto) de la población realiza una ingesta de metilmercurio entre 0,840-1,372 μg /kg/semana, según el grupo considerado.

5.5 EVOLUCIÓN 2000-2005-2008

5.5.1 Concentración

Las variaciones temporales en la concentración de mercurio en los grupos de alimentos se muestran en las tablas 6.9 y 6.10. Se observa un incremento en la concentración en carne y derivados, en verduras y hortalizas, en tubérculos y en pan y cereales. Así mismo, se observa una disminución en pescado y marisco, fruta, huevos y legumbres.

Tabla 5.9. Variación temporal de Hg total en los grupos de alimentos.

	2000	2005	2008
Carne y derivados	0,012	0,005	0,013
Pescado y marisco	0,097	0,247	0,145
Verduras y hortalizas	0,0005	0,004	0,007
Tubérculos	0,003	0,004	0,010
Frutas	0,0005	0,008	0,006
Huevos	0,008	0,009	0,004
Leche	0,003	0,004	0,004
Derivados lácteos	0,012	0,004	0,005
Pan y cereales	0,030	0,004	0,008
Legumbres	0,0005	0,022	0,008
Aceites y grasas	0,030	0,004	0,006
Bollería	-	0,004	0,005

En μg /g peso fresco

Tabla 5.10. Variación temporal de la concentración media de metilmercurio en las especies de pescado y marisco

	2000	2005	2008
Sardina	0,054	0,082	0,019
Sardina en llauna			0,017
Tonyina		0,485	0,449
Tonyina en llauna			0,132
Anxova		0,082	0,063
Verat		0,094	0,048
Peix espasa		1,928	0,782
Salmó		0,046	0,007
Lluç	0,092	0,187	0,031
Moll		0,233	0,201
Llenguado		0,082	0,027
Sípia		0,056	0,008
Calamar		0,024	0,004
Cloïssa		0,018	0,016
Musclo	0,024	0,020	0,015
Gamba		0,118	0,229

En µg/g peso fresco

Las concentraciones de metilmercurio en las especies de pescado que son grandes predadores siguen siendo altas. En cambio, en las especies de más consumo, como la merluza, las concentraciones analizadas en este estudio son más bajas, de manera que la ingesta de metilmercurio a través de la dieta es inferior a la evaluada en los otros estudios.

5.5.2 Ingesta

La ingesta total de mercurio estimada para un individuo estándar de Cataluña es de 15,41 µg/día (Tabla 5.11). Este valor es ligeramente inferior a la ingesta estimada en el año 2000 (21,21 µg/día) y a la del 2005 (18,58 µg/día). En cuanto a la ingesta de metilmercurio, considerando que esta proviene exclusivamente del pescado, se contempla una disminución del 57% en relación al valor considerado por el estudio de 2005, dato que se correlaciona con la disminución de concentración observada.

Tabla 5.11. Variaciones en la ingesta diaria de mercurio total y metilmercurio. 2000-2005-2008

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de Hg total µg/día			Ingesta de MeHg µg/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	2,28	0,95	2,40			
Pescado y marisco	92	67,53	8,92	12,61	5,39	8,03	11,35	4,85
Verduras y hortalizas	226	159,7	0,11	0,61	1,60			
Tubérculos	74	73,06	0,22	0,29	0,74			
Frutas	239	193,6	0,12	1,25	1,37			
Huevos	34	31,29	0,22	0,28	0,14			
Leche	217	157,5	0,65	0,51	0,70			
Derivados lácteos	106	101,3	1,27	0,30	0,47			
Pan y cereales	206	225,3	6,18	0,90	1,99			
Legumbres	24	30,36	0,01	0,58	0,28			
Aceites y grasas	41	27,16	1,23	0,11	0,12			
Bollería		45,45		0,18	0,23			
Total alimentos	1444	1284	21,21	18,58	15,41	8,03	11,35	4,85

5.6 OTROS ESTUDIOS

En la tabla 6.12 se presentan los datos de algunos estudios similares de otros países. Aún siendo difíciles las comparaciones a causa de las diversas metodologías y diseños de estudio empleados, se pueden utilizar los datos como referencia.

Tabla 5.12. Ingesta diaria de mercurio total. Comparativa con otros estudios de ingesta

País	Hg total	MeHg	Autores
Francia	1,38-11,82	1,02	ANSES, 2011
Cataluña	15,41	4,85	Estudi actual
China	4,90		Sun i col., 2011
China		5,76	Zhang i col., 2010
Italia	2,34-6,12	0,66-1,74	Di Leo i col., 2010
Reino Unido	1,4-3,5		Rose i col., 2010
Cataluña	54,81		Rodellar i col., 2010
EE.UU.	8,1		Shilling i col., 2010
Japón	6,76		Zhang i col., 2009
Italia	19,20-50,40	4,80-12,24	Monteduro i col., 2007
China	2,1		Zheng, N i col., 2007
Corea	1,6		Lee, H i col., 2006
Cataluña	18,58		Estudi 2005
Francia	9,7		Leblanc, JC i col., 2005
Chile (Santiago de Chile)	5		Muñoz, O i col., 2005
Polonia	6,7		Marzec, Z i col., 2004
España	9,8		Bordajandi, LR i col., 2004
Francia	9		Noël, L i col., 2003
Cataluña	21,21		Estudi 2000
Reino Unido	31		Ysart, GE i col., 1999
País Vasco	18		Urieta, L i col., 1996

En µg/día

6 Cadmio

El cadmio es un elemento de la corteza terrestre que se encuentra en pequeñas cantidades asociado a minerales de cinc, cobre y plomo. La concentración en el suelo se estima en 0,1 mg/kg-0,15 mg/kg, pero este nivel natural puede aumentar como consecuencia de actividades antropogénicas como la minería, la producción de energía a partir de combustibles fósiles, la incineración de basura, la industria química (pinturas, baterías) y la agricultura (pesticidas, fertilizantes fosfatados y de depuradora).

El cadmio no tiene ninguna función conocida en el cuerpo humano, pero es capaz de imitar la acción de otros metales que son esenciales para diversas funciones biológicas de las células, como el calcio, el cinc y el hierro.

Las vías de exposición al cadmio más importantes son los alimentos y el tabaco. Para los fumadores, la exposición a través del tabaco representa el 50% de la cantidad absorbida, mientras que para una persona no fumadora, la exposición se produce fundamentalmente a través de la ingesta de alimentos contaminados. Entre los alimentos destacan el arroz, el trigo, las hortalizas (especialmente las de raíces comestibles) y los moluscos filtradores (almejas, mejillones).

El organismo absorbe muy poco el cadmio presente en los alimentos (3-5%). Pero lo elimina también muy poco (tiene una semivida biológica de diez a treinta años) y lo acumula en el riñón y en el hígado. Además del cáncer, el cadmio provoca daños en las células renales tubulares proximales y causa disfunción renal y desmineralización de los huesos. No obstante, el riñón lo almacena en el córtex renal y sólo provoca daños cuando se supera la capacidad de almacenaje del tejido. Este fenómeno de saturación o carga crítica se alcanza después de exposiciones elevadas de ingesta y crónicas del orden de cincuenta años (ANSES, 2011)¹.

En 1993, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasificó el cadmio y sus compuestos en el grupo 1 (carcinógeno para los humanos), a partir de estudios en humanos, principalmente sobre estudios de exposición por inhalación en ambientes industriales, y a partir de estudios en animales. Estudios recientes consideran que el cadmio podría ser también cancerígeno por vía alimentaria a partir de una ingesta diaria de 1,5 µg Cd/kg de peso corporal (EFSA, 2009).

El Comité Mixto de la FAO/OMS de Expertos en Aditivos y Contaminantes Alimentarios (JECFA) ha evaluado en diversas ocasiones este contaminante (1972, 1988, 1993, 2000, 2004). El Comité ha fijado en todas estas evaluaciones una ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) de 7 µg/kg de peso corporal (ingesta diaria de 1 µg/kg de peso corporal). En el 2010, el Comité² fijó una nueva ingesta mensual tolerable provisional (IMTP) de 25 µg/kg, a partir de datos de marcadores de daño de los túbulos renales y considerando la larga vida del cadmio en el cuerpo. Esta ingesta mensual equivale a una ingesta semanal de 5,8 µg/kg de peso corporal y a una diaria de 0,8 µg/Kg de peso corporal. La IMTP está pendiente de ratificación.

El Programa de medio ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) señaló en el 2006 que la ingesta semanal de cadmio a partir de los alimentos en la mayoría de los países está entre 0,7 y 2,8 µg/Kg de peso corporal por semana, lo cual representa un margen de seguridad pequeño, inferior a 10, de manera que podría haber grupos de población en riesgo, como el de las personas fumadoras o vegetarianas.

1 Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à la révision des teneurs maximales en cadmium des denrées alimentaires destinées à l'homme. Avis du 24 novembre 2011, Saisine n° 2011-SA-0194.

2 Safety evaluation on certain contaminants in food. WHO Food Additives Series: 63. FAO JECFA, Monographs 8. Seventy-second meeting of JECFA, 2011.

En 2009 la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA)³ evaluó el cadmio a través de la dieta y fijó una ingesta semanal tolerable (IST) de 2,5 µg/kg de peso corporal (ingesta diaria de 0,357 µg/kg). Esta IST se ha obtenido de un estudio de metanálisis de 35 estudios que demostraban una relación entre la excreción urinaria de cadmio y la de un marcador de daño tubular renal, el beta-2-microglobulina. La EFSA señala que en Europa hay países en que la población podría exceder esta IST. Las personas vegetarianas, fumadoras, niños y habitantes de zonas con mucha contaminación podrían duplicarla.

6.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Las concentraciones detectadas en los alimentos analizados se presentan en las tablas 6.1 y 6.2. Por grupos, los niveles más elevados los encontramos en el pescado y marisco y en los tubérculos; en concreto, el mejillón, con 0,354 µg/gr de peso fresco, y el calamar, con 0,288 µg/gr de peso fresco, son los que presentan valores más altos.

Tabla 6.1. Concentración media de cadmio en los alimentos

Alimentos	Cd
Carne y derivados	0,007
Pescado y marisco	0,089
Verduras y hortalizas	0,016
Tubérculos	0,053
Frutas	0,005
Huevos	0,004
Leche	0,004
Derivados lácteos	0,006
Pan y cereales	0,023
Legumbres	0,007
Aceites y grasas	0,005
Bollería	0,014

En µg/g peso fresco

³ Cadmium in food. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA, January 2009.

Tabla 6.2. Concentración media de cadmio en las especies de pescado y marisco analizadas

2008	
Sardina	0,014
Sardina en lata	0,026
Atún	0,022
Atún en lata	0,009
Boquerón	0,017
Caballa	0,014
Pez espada	0,075
Salmón	0,004
Merluza	0,009
Salmonete	0,004
Lenguado	0,004
Sepia	0,251
Calamar	0,288
Almeja	0,216
Mejillón	0,354
Gamba	0,127

En µg/g peso fresco

El estudio francés de dieta total 2006-2010 de la ANSES⁴ también identifica al marisco y a los moluscos como los alimentos con más concentración de cadmio, seguidos del foie gras y patés, del pan y cereales, tubérculos y de productos de bollería.

Igualmente, el *Informe resumen de datos de cadmio 2000-2007* de l'AESAN⁵ identifica el marisco y los productos a base de marisco como el grupo de alimentos que más cadmio contiene, con una media de 0,308 mg/kg, seguido de los despojos (0,275 mg/kg), el pescado y productos de la pesca (0,076 mg/kg), las patatas (0,05 mg/kg) y los cereales y derivados (0,034 mg/kg).

4 Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2). Tome 1. Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement et travail (ANSES), Juin 2011.

5 Informe resumen de datos de cadmio 2000-2007. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), 2008.

6.2 CONTRIBUCIÓN DE LOS ALIMENTOS A LA INGESTA

La ingesta estimada de cadmio para un hombre adulto, a través del consumo de alimentos, es de 21,57 $\mu\text{g}/\text{día}$. Las aportaciones más significativas provienen del pan y los cereales, con 6,06 $\mu\text{g}/\text{día}$, y del pescado y marisco, con 4,19 $\mu\text{g}/\text{día}$.

En la figura 6.1 se puede observar la contribución porcentual de los diferentes grupos de alimentos a la ingesta diaria de cadmio. En la tabla 3.3 se presenta un resumen de los datos de ingesta por grupos de alimentos.

Figura 6.1. Contribución de los alimentos a la ingesta diaria de cadmio

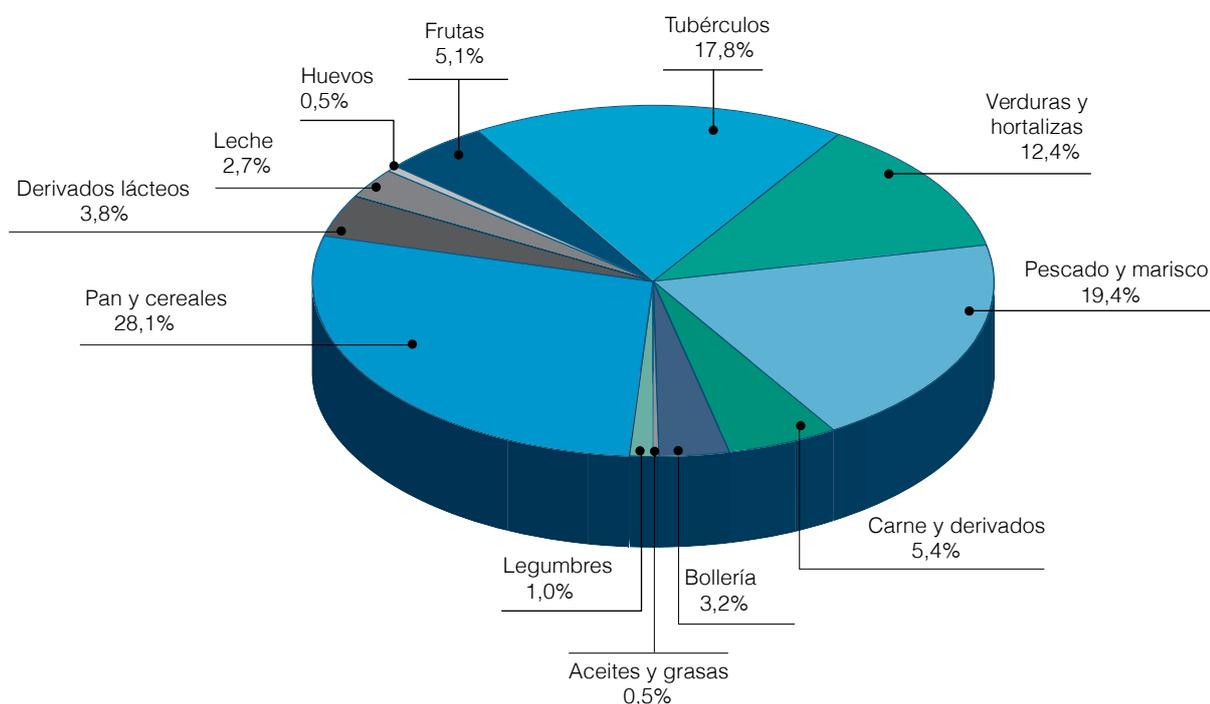


Tabla 6. 3. Ingesta diaria estimada de cadmio. Hombre adulto. Resumen por grupos de alimentos

	Consumo de alimento g/día	Ingesta de Cd $\mu\text{g}/\text{día}$
Carne y derivados	171,9	1,16
Pescado y marisco	67,53	4,19
Verduras y hortalizas	159,7	2,68
Tubérculos	73,06	3,85
Frutas	193,6	1,10
Huevos	31,29	0,12
Leche	157,5	0,59
Derivados lácteos	101,3	0,82
Pan y cereales	225,3	6,06
Legumbres	30,36	0,21
Aceites y grasas	27,16	0,11
Bollería	45,45	0,70
TOTAL alimentos	1.284	21,57

6.3 INGESTA DIARIA ESTIMADA POR GRUPOS DE POBLACIÓN

La tabla 6.4 muestra la ingesta estimada de cadmio para los diferentes grupos de población, según edad y sexo. El grupo de población con una ingesta diaria estimada de cadmio más alto es el formado por hombres adultos, seguido de los chicos adolescentes y de los hombres mayores de 65 años.

Tabla 6.4. Ingesta diaria estimada de cadmio de los diferentes grupos de población

	Ingesta de cadmio
Hombres	21,57
Mujeres	18,85
Niños y niñas	16,46
Chicos adolescentes	21,28
Chicas adolescentes	18,55
Hombres mayores de 65 años	21,24
Mujeres mayores de 65 años	15,77

En $\mu\text{g}/\text{día}$

6.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO

6.4.1 Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 6.5 se muestra la ingesta diaria estimada de cadmio por consumo de alimentos en los diferentes grupos de población expresada en función del peso corporal.

Tabla 6.5. Ingesta de cadmio por consumo de alimentos en relación con el peso corporal

	Ingesta de cadmio $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$	Ingesta de cadmio $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}^*$
Hombres	0,308	2,16
Mujeres	0,343	2,40
Niños y niñas	0,686	4,80
Chicos adolescentes	0,380	2,66
Chicas adolescentes	0,350	2,45
Hombres mayores de 65 años	0,327	2,29
Mujeres mayores de 65 años	0,263	1,84

* aproximada

Los grupos de niños y niñas y el de chicos adolescentes superan el nuevo valor de seguridad establecido por la EFSA de $2,5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$.

Estudios sobre exposición al cadmio en población infantil efectuados en Alemania y en los EE.UU. indican que una fracción pequeña de la población infantil está sobreexpuesta y, a pesar de ello, no presenta daño renal, probablemente porque el riñón lo acumula y en estas edades no es probable que se supere el nivel de carga crítica o saturación por encima del cual se producirían daños (ANSES, 2011).

Teniendo en cuenta que los datos de la tabla 5.5 indican una exposición media en la población adulta por debajo del nivel de seguridad toxicológica, el hecho de que se supere este nivel en las poblaciones infantiles y adolescentes no refleja una situación de riesgo.

6.4.2 Evaluación probabilística de la exposición

En la tabla 3.6 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición al cadmio a través de la dieta.

Tabla 6.6. Ingesta diaria relativa de cadmio por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertidumbres

Grupo de población	Variabilidad						Incertidumbre c*Q					
	media	SD	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
Hombres	2,03	0,56	1,96	2,31	2,73	3,01	2,10	0,63	1,96	2,38	2,87	3,15
Mujeres	2,31	0,63	2,14	2,59	3,08	3,36	2,31	0,77	2,17	2,66	3,22	3,64
Chicos adolescentes	2,59	0,63	2,52	2,94	3,43	3,71	2,66	0,70	2,52	3,01	3,47	3,99
Chicas adolescentes	2,45	0,56	2,38	2,80	3,22	3,50	2,45	0,70	2,38	2,80	3,36	3,71
Hombres mayores de 65 años	1,89	0,49	1,82	2,17	2,52	2,73	0,27	0,63	1,82	2,24	2,66	3,01
Mujeres mayores de 65 años	1,75	0,42	1,75	2,03	2,38	2,59	0,26	0,56	1,75	2,10	2,52	2,73
TOTAL	2,17	0,63	2,10	2,52	2,87	3,22	0,32	0,70	2,10	2,52	3,08	3,43

En $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$

Se puede observar una coincidencia entre los valores de las medias del estudio probabilístico y los cálculos deterministas (tabla 3.5). Lógicamente, al tener en cuenta la incertidumbre estos valores aumentan. Tal como pasa en la mayoría de los países de nuestro entorno, una parte de la población (entre el 5 y el 50%) sobrepasa ligeramente el nuevo nivel de $2,5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$. El percentil 95 de todos los grupos de la población realiza una ingesta de cadmio entre $2,76$ - $3,99 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{semana}$.

Conviene que se sigan los esfuerzos por reducir las concentraciones de cadmio en los alimentos, dado que una pequeña fracción de la población (percentil 95) podría superar a lo largo de cincuenta años la ingesta diaria admisible (IDA) establecida por la EFSA y estar en situación de riesgo.

6.5 EVOLUCIÓN 2000-2005-2008

6.5.1 Concentración

En la tabla 6.7 se puede observar la variación detectada en la concentración de cadmio en los grupos de alimentos.

Tabla 6.7. Variación temporal en las concentraciones de cadmio en los grupos de alimentos. 2000-2005

	2000	2005	2008
Carnes y derivados	0,006	0,023	0,007
Pescado y marisco	0,036	0,039	0,089
Verduras y hortalizas	0,005	0,007	0,016
Tubérculos	0,020	0,025	0,053
Frutas	0,001	0,005	0,005
Huevos	0,008	0,005	0,004
Leche	0,002	0,005	0,004
Derivados lácteos	0,006	0,005	0,006
Pan y cereales	0,033	0,016	0,023
Legumbres	0,0005	0,120	0,007
Aceites y grasas	0,008	0,045	0,005
Bollería	-	0,005	0,014

En µg/g peso fresco

Resulta complejo extraer una conclusión indiscutible sobre la tendencia general. Sin embargo, las variaciones son de magnitud muy diferente y de signos opuestos: se incrementan las concentraciones en pescado y marisco, verduras y hortalizas, tubérculos, derivados lácteos, pan y cereales y bollería, y disminuyen en carne y derivados, huevos y, especialmente, en legumbres y aceites y grasas.

6.5.2 Ingesta

En la tabla 6.8 se observa la variación en la ingesta diaria de cadmio entre los estudios del 2000, 2005 y 2008. En el cómputo global, la ingesta varía en el 2008 con respecto al 2005 y 2000 en un 25,5% y 37% respectivamente.

Tabla 6. 8. Variaciones en la ingesta diaria de cadmio. 2000-2005

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de Cd µg/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	1,11	2,92	1,16
Pescado y marisco	92	67,53	3,33	1,43	4,19
Verduras y hortalizas	226	159,7	1,13	0,98	2,68
Tubérculos	74	73,06	1,47	1,80	3,85
Frutas	239	193,6	0,22	0,94	1,10
Huevos	34	31,29	0,27	0,15	0,12
Leche	217	157,5	0,43	0,64	0,59
Derivados lácteos	106	101,3	0,64	0,38	0,82
Pan y cereales	206	225,3	6,80	4,21	6,06
Legumbres	24	30,36	0,01	3,09	0,21
Aceites y grasas	41	27,16	0,33	0,43	0,11
Bollería	-	45,45	-	0,22	0,70
Total alimento considerado	1444	1284	15,74	17,19	21,57

6.6 OTROS ESTUDIOS

En la tabla 6.9 se presentan los datos de algunos estudios similares de otras partes del mundo que, a pesar de ser difíciles las comparaciones a causa de las diversas metodologías y diseños de estudio utilizados, se pueden utilizar como referencia

Tabla 6. 9. Ingesta diaria de cadmio. Comparativa con otros estudios de ingesta

País	µg/día	Autores
Francia	9,6	ANSES, 2011
Cataluña	21,6	Aquest estudi
Suecia	19	Thomas i col., en premsa
Inglaterra	9,8-11,9	Rose i col., 2010
Bélgica	9,8	Vromman i col., 2010
China	14.4-14.7	Liu i col., 2010
Líbano	15,82	Nasreddine i col., 2010
Nueva Zelanda	17	Whyte i col., 2009
España	17,43	AESAN, 2008
China	41,9	Zheng, N i col., 2007
España	11	Rubio i col., 2006
Japón	15,9	Aung, NN i col., 2006
Egipto	1,47	Radwan, MA i col., 2006
Corea	14,3	Lee, H i col., 2006
Cataluña	17,2	Estudi 2005
Chile (Santiago de Chile)	20	Muñoz, O i col., 2005
Francia	2,7	Leblanc, JC i col., 2005
Polonia	16,4-34,5	Marzec, Z i col., 2004
España	7,7	Bordajandi, LR i col., 2004
Brasil (Río de Janeiro)	1,8	Santos, EE i col., 2004
Francia	3,6	Noël, L i col., 2003
EE.UU.	7,21	Moschandreas, DJ i col., 2002
Cataluña	15,8	Estudi 2000
Reino Unido	12	Ysart, GE i col., 2000
Cataluña (Tarragona)	18	Llobet, JM i col., 1998
País Vasco	11	Urieta, L i col., 1996

7 Arsénico

El arsénico es un metaloide muy abundante en la corteza terrestre, con una media de 2 mg/kg, y muy presente en determinadas zonas deltaicas. Su presencia en el ambiente se puede incrementar a partir de emisiones industriales para producir energía con combustibles fósiles o para fabricar productos químicos. Está presente en diferentes formas químicas, orgánicas e inorgánicas, y en todos sus estados de valencia [(-3), (0), (+3) y (+5)], aunque la más abundante en los organismos y los alimentos es la forma pentavalente, ya que es la más estable en condiciones ambientales normales. La forma química del arsénico determina su comportamiento en el medio ambiente, la biodisponibilidad y la toxicidad. La forma más tóxica es la trivalente, la cual es muy reactiva con el grupo sulfúrico presente en las proteínas y genera oxígeno libre dentro de las células (EFSA, 2009).

Las formas inorgánicas solubles, pentavalentes y trivalentes, se absorben entre un 70% y un 90% por vía intestinal. Se distribuye ampliamente por casi todos los órganos y atraviesa la barrera placentaria. Los mamíferos transforman el arsénico inorgánico pentavalente en trivalente y luego lo excretan en forma orgánica mediante metilación (EFSA, 2009).

Las formas inorgánicas son las más tóxicas debido a su biodisponibilidad y efectos adversos en las personas. La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) ha evaluado varias veces los efectos del arsénico inorgánico. En la última evaluación de 2009¹, la IARC concluyó que había suficiente evidencia en humanos para determinar que una concentración alta de arsénico en el agua de bebida provoca cáncer de vejiga urinaria, piel y pulmón y, además, que había evidencias limitadas para el cáncer de próstata, riñón e hígado. El arsénico inorgánico está clasificado en el grupo 1 como cancerígeno para los humanos.

Además de cáncer, el arsénico inorgánico causa lesiones cutáneas, neurotoxicidad, enfermedades cardiovasculares, perturbación del metabolismo de la glucosa y diabetes.

De acuerdo con los datos relativos al cáncer de pulmón en humanos, en el 2009 la EFSA propuso utilizar como referencia el límite más bajo del percentil 95% de la dosis experimental que se asocia a un 1% de incidencia o riesgo extra (BMDL01) y que se establece en un intervalo de 0,3 a 8,0 mg/kg de peso corporal/día. En el 2010, el JECFA estableció un BMDL0,5 de 3 mg/kg de peso corporal/día (con un intervalo entre 2 y 7 mg/kg de peso corporal/día).

En los alimentos se pueden encontrar formas inorgánicas y orgánicas. Los datos de especiación en alimentos son escasos y poco representativos. Así, la proporción de arsénico inorgánico varía entre el 50% y el 100% en los alimentos distintos de los productos de la pesca y se asume una proporción media del 70%. Para los productos de la pesca esta proporción es muy pequeña y tiende a disminuir cuando el arsénico total aumenta, y además puede variar dependiendo del tipo de producto. Para estos alimentos se ha fijado una cantidad de arsénico inorgánico de 0,03 mg/kg de pescado, equivalente a un 2% de la concentración de arsénico total detectada, y de 0,1 mg/kg en otros productos de la pesca, equivalente a un 3,5% de la concentración detectada (EFSA, 2009).

Las formas orgánicas se consideran poco tóxicas, aunque se desconoce la toxicidad para los humanos de algunas formas como los arsenolípidos. En los peces marinos, la forma predominante es el arsenobetaina, un compuesto que es muy poco o nada tóxico. Los arsenoazúcares se encuentran en las algas marinas y, en concentraciones bajas, en los moluscos filtradores. Parece que estos compuestos tienen alguna actividad tóxica. Los arsenolípidos se encuentran principalmente en la grasa de los pescados azules. No se ha establecido una ingesta diaria admisible de las formas orgánicas porque no hay datos suficientes para ello (EFSA, 2009).

1 Arsenic and arsenic compounds. IARC, 2009

7.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Las concentraciones detectadas en los alimentos analizados se presentan en la tabla 7.1. Solamente se han detectado cantidades significativas de arsénico en el grupo de pescado y marisco y en las muestras de arroz. La concentración más alta se ha encontrado en el salmonete, con 21,71 µg/g de peso fresco. También presentan una concentración de arsénico bastante alta el lenguado (11,61 µg/g de peso fresco) y la gamba (11,10 µg/g de peso fresco). En el arroz, la concentración detectada es de 0,19 µg/g.

Para considerar la proporción de arsénico que hay en los alimentos, se asume la recomendación de la EFSA: un 70% del arsénico total en todos los alimentos distintos de los productos de la pesca, 0,03 mg/kg o 2% del arsénico total para el pescado y 0,1 mg/kg o 3,5% para el marisco.

Tabla 7.1. Media de la concentración de arsénico total e inorgánico en los alimentos.

	As total	As inorgánico	
Carne y derivados	0,013	0,009	
Pescado y marisco	5,415	0,134 ¹	0,046 ²
Verduras y hortalizas	0,019	0,013	
Tubérculos	0,013	0,009	
Frutas	0,013	0,009	
Huevos	0,013	0,009	
Leche	0,013	0,009	
Derivados lácticos	0,026	0,018	
Pan y cereales	0,061	0,043	
Legumbres	0,013	0,009	
Aceites y grasas	0,013	0,009	
Bollería	0,013	0,009	

En µg/g de peso fresco

1. Estimación a partir del 2% del arsénico total del pescado y del 3,5% del marisco.
2. Estimación a partir del valor de 0,03 mg/kg y 0,1 mg/kg, y asumiendo un consumo diario de 51,7g de pescado y 15,82g de marisco.

7.2. CONTRIBUCIÓN DE LOS ALIMENTOS A LA INGESTA

La ingesta diaria de arsénico total para un hombre adulto se estima en 344,1 µg/día, de los cuales el 92% proviene de la ingesta de pescado y marisco y un 3,4% del pan y los cereales.

Se evalúa la ingesta de arsénico inorgánico en 27,40 µg/día, de los cuales el 29,7% proviene del grupo de pan y cereales y el 28,6% del pescado y marisco (figura 4). En cuanto a la aportación de pan y cereales, la contribución más notable es la del arroz, con 5,60 µg/día, seguida de la pasta alimenticia con 1,18 µg/día. Del arsénico inorgánico del pescado, la aportación más importante es la de la gamba, con 1,37 µg/día, seguida del lenguado con 1,27 µg/día y la merluza con 1,13 µg/día. Las especies con una contribución más baja a la ingesta diaria estimada de arsénico inorgánico son el pez espada y la almeja, con 0,002 µg/día y 0,004 µg/día, respectivamente.

En la tabla 7.2 se presenta un resumen de la ingesta por grupos de alimentos.

Tabla 7.2. Ingesta diaria estimada de arsénico total y arsénico inorgánico, en hombre adulto y por grupos de alimentos.

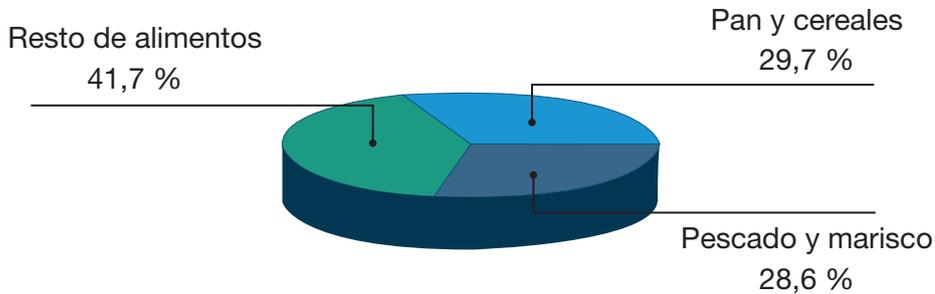
Alimentos	Consumo de alimento g/día	Ingesta de as total µg/día	Ingesta de as inorgánico µg/día	
Carne y derivados	171,9	2,30	1,61	
Pescado y marisco	67,53	316,1	7,84 ¹	3,13 ²
Verduras y hortalizas	159,7	3,45	2,41	
Tubérculos	73,06	0,98	0,68	
Frutas	193,6	2,59	1,81	
Huevos	31,29	0,42	0,29	
Leche	157,5	2,11	1,47	
Derivados lácticos	101,3	3,12	2,18	
Pan y cereales	225,3	11,61	8,13	
Legumbres	30,36	0,41	0,28	
Aceites y grasas	27,16	0,36	0,25	
Bollería	45,45	0,61	0,43	
TOTAL alimentos	1284	344,1	27,40	22,86

1. Estimación a partir del 2% del arsénico total del pescado y del 3,5% del marisco.

2. Estimación a partir del valor de 0,03 mg/kg y 0,1 mg/kg, y asumiendo un consumo diario de 51,7 g de pescado y 15,82 g de marisco.

Para nuestro estudio hemos considerado la ingesta de arsénico inorgánico en pescado y marisco, estimada a partir de una concentración de un 2% y un 3%, respectivamente, del total de arsénico detectado, ya que es el escenario más conservador.

Figura 7.1. Contribución del tipo de alimento a la ingesta diaria de arsénico inorgánico.



En Europa, la exposición alimentaria al arsénico se debe principalmente al arroz, los productos de la pesca, el café, la cerveza y determinados vegetales.

7.3. INGESTA DIARIA ESTIMADA POR GRUPOS DE POBLACIÓN

La tabla 7.3 muestra la ingesta estimada de arsénico total y arsénico inorgánico para los diferentes grupos de población, según la edad y el sexo.

Tabla 7.3. Ingesta diaria estimada de arsénico de los diferentes grupos de población.

Grupo de población	Ingesta de arsénico total	Ingesta de arsénico inorgánico
Hombres	344,1	27,40
Mujeres	334,0	24,79
Niños y niñas	211,2	22,32
Chicos adolescentes	262,8	25,41
Chicas adolescentes	213,6	21,91
Hombres mayores de 65 años	368,6	26,13
Mujeres mayores de 65 años	296,7	21,90

En µg/g día

7.4 .EVALUACIÓN DEL RIESGO

7.4.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 7.4 se presenta la ingesta diaria estimada de arsénico inorgánico debida al consumo de los alimentos considerados, en los diferentes grupos de población, y expresada en función del peso corporal.

Tabla 7.4. Ingesta de arsénico inorgánico relativa al peso corporal.

Grupo de población	Ingesta de arsénico inorgánico µg/kg/día
Hombres	0,39
Mujeres	0,45
Niños y niñas	0,93
Chicos adolescentes	0,45
Chicas adolescentes	0,41
Hombres mayores de 65 años	0,40
Mujeres mayores de 65 años	0,36

Como se puede comprobar en la tabla 7.4, todos los valores de ingesta calculados para los grupos de población catalana están en el mismo rango. La exposición alimentaria de los niños es superior a la de los adultos, ya que durante la infancia el consumo de alimentos en relación con su peso corporal es más alto. Aparte de los niños, los grupos con la ingesta más alta son las mujeres adultas y los chicos adolescentes, con 0,45 µg/kg/día.

La evaluación del riesgo se ha llevado a cabo según las recomendaciones de la EFSA para la exposición a este tipo de sustancias que presentan efectos genotóxicos y carcinógenos, y se ha utilizado el margen de exposición (MOE, del inglés margin of exposure). El MOE es un cociente del riesgo y se calcula dividiendo el BMDL01 por la dosis que se quiere evaluar. Por tanto, en una situación concreta, es deseable un valor de MOE tan alto como sea posible.

Como se puede comprobar en la tabla 7.5, si se considera que los efectos se pueden producir en el límite alto del BMDL01, se puede descartar que haya un riesgo para la población general (MOE >1). En cambio, si se considera que los efectos se pueden producir en el límite bajo del BMDL01, no se puede descartar la posibilidad de que haya un riesgo, dado que los valores de ingesta para todos los grupos superan ligeramente el límite bajo del BMDL01 (MOE <1). Por eso, mientras no haya un límite preciso, conviene reducir las aportaciones de arsénico inorgánico de los alimentos y, sobre todo, cuantificar su contenido con exactitud, a fin de ajustar la evaluación del riesgo.

Tabla 7.5. Márgenes de exposición para el arsénico inorgánico en los diferentes grupos de población.

BMDL ₀₁ , µg/kg/día	Hombre	Mujer	Niños	Chicos adolescentes	Chicas adolescentes	Hombres mayores de 65 años	Mujeres mayores de 65 años
Límite bajo: 0,3	0,77	0,66	0,32	0,66	0,73	0,75	0,83
Límite alto: 8	20,5	17,7	8,6	17,7	19,5	20	22

La EFSA estimó una exposición media de los ciudadanos europeos al arsénico inorgánico, considerando las concentraciones mínimas y máximas detectadas, en un intervalo entre 0,13 y 0,56 µg/kg/día, con unos valores del percentil 95% de 0,37 y 1,22 µg/kg/día. Esta exposición es equiparable a la estimada en este estudio para la población catalana. Como en nuestro estudio, estos valores indican que no se puede descartar un riesgo para determinados grupos de la población europea.

7.4.2. Evaluación probabilística de la exposición

En la tabla 7.6 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición alimentaria al arsénico inorgánico.

Tabla 7.6. Ingesta relativa de arsénico inorgánico por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertezas.

Grupo de población	Variabilidad						Incerteza c*Q					
	media	DE	P50	P75	P90	P95	media	SD	P50	P75	P90	P95
Hombres	0,37	0,10	0,36	0,42	0,50	0,55	0,38	0,17	0,35	0,44	0,55	0,65
Mujeres	0,43	0,12	0,41	0,49	0,57	0,64	0,44	0,17	0,40	0,51	0,63	0,74
Chicos adolescentes	0,51	0,16	0,48	0,57	0,69	0,82	0,52	0,27	0,46	0,59	0,78	0,96
Chicas adolescentes	0,45	0,13	0,43	0,51	0,60	0,67	0,47	0,26	0,43	0,54	0,69	0,82
Hombres mayores de 65 años	0,34	0,08	0,33	0,39	0,45	0,49	0,35	0,14	0,32	0,40	0,50	0,58
Mujeres mayores de 65 años	0,36	0,09	0,35	0,41	0,47	0,52	0,37	0,15	0,34	0,42	0,51	0,61
TOTAL	0,40	0,11	0,39	0,46	0,54	0,60	0,41	0,21	0,38	0,48	0,60	0,71

En µg/kg/día

En todos los casos, la ingesta se sitúa en el límite bajo del percentil 95 del BMDL01, es decir, 0,3 µg/kg/día y, por tanto, no se puede descartar un cierto nivel de riesgo si los efectos se produjeran en torno a este límite bajo del rango establecido por la EFSA (0,3-8,0 µg/kg/día).

7.5. EVOLUCIÓN DESDE EL AÑO 2000 AL 2008

7.5.1. Concentración

En la tabla 7.7 se presenta la variación detectada en la concentración de arsénico total en los grupos de alimentos. Se puede observar un incremento notable de las concentraciones en pescados y mariscos, el alimento más trascendental en este caso.

El resto de grupos presentan variaciones de diversos signos y magnitudes. La concentración de arsénico aumenta en todos los grupos de alimentos, a excepción de los aceites y las grasas, en los que ha disminuido de 0,092 µg/g (en el 2000) a 0,013 µg/g de peso fresco.

Tabla 7.7. Variación temporal del arsénico total en los grupos de alimentos (2000, 2005 y 2008).

	2000	2005	2008
Carne y derivados	0,020	0,005	0,013
Pescado y marisco	2,21	4,39	5,41
Verduras y hortalizas	0,002	0,006	0,019
Tubérculos	0,013	0,008	0,013
Frutas	0,002	0,009	0,013
Huevos	0,002	0,012	0,013
Leche	0,006	0,004	0,013
Derivados lácticos	0,023	0,003	0,026
Pan y cereales	0,042	0,056	0,061
Legumbres	0,002	0,003	0,013
Aceites y grasas	0,092	0,006	0,013
Bollería	-	0,004	0,013

En µg/g peso fresco

7.5.2. Ingesta

En la tabla 7.8 se observa la variación en la ingesta diaria de arsénico inorgánico entre los estudios del 2000, 2005 y 2008. En el cómputo global, la ingesta diaria calculada para el año 2008 resulta superior a la del estudio realizado en el 2005, aunque es bastante inferior a la determinada en el estudio del año 2000.

Tabla 7.8. Variaciones en la ingesta diaria de arsénico inorgánico (2000, 2005 y 2008).

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de as inorgánico µg/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	3,70	0,60	1,61
Pescado y marisco	92	67,53	20,33	5,88	7,84
Verduras y hortalizas	226	159,7	0,34	0,65	2,41
Tubérculos	74	73,06	0,96	0,41	0,68
Frutas	239	193,6	0,36	1,17	1,81
Huevos	34	31,29	0,51	0,26	0,29
Leche	217	157,5	1,30	0,33	1,47
Derivados lácticos	106	101,3	2,39	0,16	2,18
Pan y cereales	206	225,3	8,73	7,05	8,13
Legumbres	24	30,36	0,04	0,06	0,28
Aceites y grasas	41	27,16	3,76	0,20	0,25
Bollería	-	45,45	-	0,13	0,43
Total alimento considerado	1444	1284	42,42	16,25	27,40

7.6. OTROS ESTUDIOS

En la tabla 7.9 se presentan los datos de algunos estudios similares de todo el mundo. Aunque las comparaciones son difíciles a causa de las diversas metodologías y diseños de estudio utilizados, Cataluña se sitúa en el grupo de países con una ingesta alta de arsénico.

Tabla 7.9. Ingesta diaria de arsénico total y comparación con otros estudios de ingesta.

País	µg/día	Autores
Francia	54,56	ANSES, 2011
Cataluña	344	Estudio 2008
Tailandia	73-390	Ruangwises et al., 2010
Inglaterra	115-117	Rose et al., 2010
Bélgica	285-649	Baeyens et al., 2009
EE.UU	195	Cleland et al., 2009
Nueva Zelanda	211	Whyte et al., 2009
Bangladés	214	Islam Khan et al., 2009
India (oeste de Bengala)	150	Signes et al., 2008
Bangladés	150	Ohno et al., 2007
Países bajos	38	Dokkum et al., 2007
India	568	Uchino et al., 2006
Cataluña	264	Estudio 2005
Chile (Santiago de Chile)	77	Muñoz et al., 2005
Francia	62	Leblanc et al., 2006
España (Huelva)	150	Bordajandi et al., 2004
Francia	147	Noël et al., 2003
México	39-394	Del Razo et al., 2002
EE.UU	46	Moschandreas et al., 2002
Cataluña	225	Estudio 2000
Reino Unido	120	Ysart et al., 2000
Cataluña (Tarragona)	273	Llobet et al., 1998
País Vasco	291	Urieta et al., 1996

8 Dioxinas, furanos y bifenilos policlorados (PCDD/F Y PCB)

Las dioxinas (PCDD), los furanos (PCCF) y los bifenilos policlorados (PCB) son compuestos aromáticos que agrupan 75, 135 y 209 congéneres, respectivamente. Estos congéneres, que se distinguen por el número y la posición de los átomos de cloro en los anillos aromáticos, son muy estables químicamente, insolubles en agua, muy liposolubles y poco biodegradables. Se acumulan a lo largo de la cadena alimentaria, particularmente en las grasas de origen animal. La alimentación constituye la fuente principal de exposición (más de un 90%) a estos contaminantes (ANSES, 2011)¹.

Mientras que las dioxinas y los furanos (PCDD/F) se forman por procesos de combustión (incendios, incineración, producción de energía, etc.) o como residuos en la industria química, los PCB son mezclas industriales que, por sus propiedades aislantes y estabilidad, se fabricaron y utilizaron hasta finales de la década de los ochenta.

Desde un punto de vista toxicológico, 12 congéneres de PCB se comportan como PCDD/F y se unen al receptor celular Ah. Se les llama PCB similares a las dioxinas (PCB DL, del inglés PCB dioxin-like), por oposición al resto de PCB (PCB NDL, PCB non dioxin-like) que se unen a otros receptores celulares y, por tanto, causan efectos diferentes en el organismo. Sin embargo, estos PCB DL comparten mecanismos de acción con los PCB NDL. Así pues, para evaluar el riesgo de estos compuestos, los PCB DL deben considerarse conjuntamente, por un lado con las dioxinas y los furanos y, por otro, con los PCB NDL (ANSES, 2011).

8.1. DIOXINAS Y FURANOS (PCDD/F)

Las dioxinas y los furanos no causan problemas de salud inmediatos, pero la exposición prolongada permite que se acumulen en el organismo y alcancen concentraciones altas que pueden provocar efectos tóxicos en la reproducción, el desarrollo y el sistema inmunitario.

La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha clasificado la dioxina 2,3,7,8-TCDD, el furano 2,3,4,7,8-PeCDF y el PCB126 DL, que son los compuestos más tóxicos de cada grupo, como cancerígenos para el hombre (IARC, 2012)².

Estas sustancias no son mutagénicas y, en consecuencia, su mecanismo cancerígeno, que se basa en la unión con el receptor celular Ah, depende de la concentración en el organismo.

La presencia de dioxinas, furanos y PCB DL se expresa en equivalentes tóxicos (TEQ) y para calcularlos es preciso multiplicar las concentraciones de cada congénere por sus factores de equivalencia de toxicidad (TEF). Estos factores se han estimado comparando su toxicidad con la dioxina más tóxica, la 2,3,7,8-TCDD. La actual legislación europea se basa en los TEF fijados por la Organización Mundial de la Salud en 2005 (véase la tabla 8.1).

1 Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2). Tomo 1. Polluants organiques persistants. Dioxines, furanes et PCB. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), 2011.

2 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzopara-dioxin, 2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofuran, and 3,3,4,4,5 - pentachlorobiphenyl. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 100F, 2012.

Tabla 8.1. Factores de equivalencia tóxica (TEF). OMS, 2005

Congénere	TEF 2005
2,3,7,8-TCDD	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01
OCDD	0,0003
2,3,7,8-TCDF	0,1
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01
OCDF	0,0003

En 1998, la Organización Mundial de la Salud evaluó el riesgo para la salud asociado a la ingesta de dioxinas y sustancias similares a estas, y estableció una ingesta diaria tolerable (IDT) entre 1 y 4 pg OMS TEQ/kg de peso corporal (p.c.)/día, para una exposición a lo largo de toda la vida³. Las exposiciones ocasionales de corta duración que excedan esta IDT no tienen ninguna repercusión importante sobre la salud. También recomendó a los estados que aplicaran medidas de reducción de la contaminación para que la ingesta se situara por debajo del límite bajo de la IDT.

En 2001, el Comité Científico de Alimentación de la Comisión Europea evaluó las dioxinas, los furanos y los PCB DL y estableció una ingesta semanal tolerable de 14 pg OMS TEQ/kg p.c./semana, a partir de estudios toxicológicos de los efectos adversos en el desarrollo neuronal de los recién nacidos⁴.

En 2001, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) estableció una ingesta mensual tolerable provisional (IMTP) de 70 pg OMS TEQ/kg p. c./mes, que equivale a una ingesta diaria de 2,33 pg OMS-TEQ/kg p. c./día⁵. Este valor se estimó a partir de estudios toxicológicos de la reproducción y el desarrollo neuronal del feto y del recién nacido. Se considera que esta IMTP protege contra los efectos cancerígenos (OMS, 2010)⁶.

3 Assessment of the health risk of dioxins: re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI). WHO Consultation May 25-29 1998, Ginebra, Suiza. WHO European Centre for Environment and Health International Programme.

4 Opinion of the Scientific Committee on Food on the risk assessment of dioxins and dioxin-like PCBs in food. DG SANCO. Comisión Europea, 2001.

5 Polychlorinated dibenzodioxins, polychlorinated dibenzofurans and coplanar polychlorinated biphenyls. Evaluation of certain food additives and contaminants, Fifty-seventh report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, OMS TRS, 909. Ginebra, 2002.

6 Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern. Public Health and Environment. OMS, 2010.

8.1.1. Resultados de los análisis de alimentos

En la tabla 8.2 se presentan las concentraciones de los congéneres de las dioxinas y los furanos analizados por grupos de alimentos, así como los correspondientes valores en equivalentes tóxicos.

Los valores medios más altos se han encontrado en las muestras de pescado y marisco (0,120 ng OMS TEQ/kg de peso fresco) y en el aceite y grasas (0,086 ng OMS TEQ/kg de peso fresco). En estos grupos, y de manera individual, los valores más altos corresponden al salmónete y la sardina (0,456 y 0,256 ng OMS TEQ/kg de peso fresco, respectivamente) y a la mantequilla y el aceite de oliva (0,194 y 0,056 ng OMS TEQ/kg de peso fresco, respectivamente).

Tabla 8.2. Concentraciones medias totales de PCDD/F por grupos de alimentos

	Carnes y derivados	Pescado y marisco	Verduras	Tubérculos	Fruta	Huevos	Leche	Derivados lácteos	Pan y cereales	Legumbres	Aceites y grasas	Bollería
2,3,7,8-TCDD	0,004	0,021	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,006	0,001	0,001	0,015	0,004
1,2,3,7,8-PeCDD	0,004	0,035	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001	0,022	0,002	0,000	0,025	0,009
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,005	0,016	0,001	0,001	0,001	0,007	0,001	0,018	0,003	0,001	0,023	0,008
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,006	0,026	0,001	0,001	0,001	0,028	0,002	0,035	0,003	0,001	0,043	0,010
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,003	0,012	0,001	0,001	0,001	0,010	0,002	0,020	0,002	0,000	0,030	0,009
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,037	0,057	0,004	0,002	0,004	0,224	0,009	0,084	0,011	0,004	0,241	0,044
OCDD	0,204	0,198	0,024	0,019	0,024	0,753	0,028	0,164	0,049	0,013	0,864	0,435
2,3,7,8-TCDF	0,007	0,186	0,001	0,001	0,001	0,011	0,001	0,006	0,003	0,001	0,022	0,010
1,2,3,7,8-PeCDF	0,005	0,048	0,001	0,001	0,001	0,015	0,002	0,010	0,003	0,001	0,017	0,006
2,3,4,7,8-PeCDF	0,007	0,098	0,001	0,001	0,001	0,012	0,003	0,034	0,003	0,002	0,062	0,004
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,007	0,042	0,001	0,001	0,001	0,018	0,004	0,024	0,006	0,002	0,048	0,007
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,006	0,020	0,001	0,001	0,001	0,012	0,003	0,019	0,004	0,001	0,041	0,006
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,006	0,009	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,005	0,002	0,001	0,014	0,009
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,005	0,015	0,001	0,001	0,001	0,009	0,002	0,020	0,005	0,003	0,034	0,006
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,025	0,125	0,018	0,014	0,033	0,240	0,031	0,150	0,035	0,014	0,281	0,074
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,008	0,011	0,003	0,002	0,006	0,007	0,003	0,009	0,006	0,003	0,263	0,041
OCDF	0,036	0,112	0,022	0,013	0,034	0,320	0,042	0,167	0,066	0,012	0,310	0,126
Suma OMS-TEQ PCDD ¹	0,005	0,050	0,001	0,001	0,001	0,018	0,003	0,026	0,004	0,001	0,050	0,016
Suma OMS-TEQ PCDF ¹	0,006	0,070	0,001	0,001	0,002	0,014	0,003	0,030	0,003	0,002	0,036	0,007
Suma OMS-TEQ PCDD/F ¹	0,011	0,120	0,002	0,002	0,003	0,032	0,005	0,056	0,007	0,003	0,086	0,023

En ng/kg de peso fresco

¹En ng OMS-TEQ/kg de peso fresco

8.1.2. Contribución de los alimentos a la ingesta

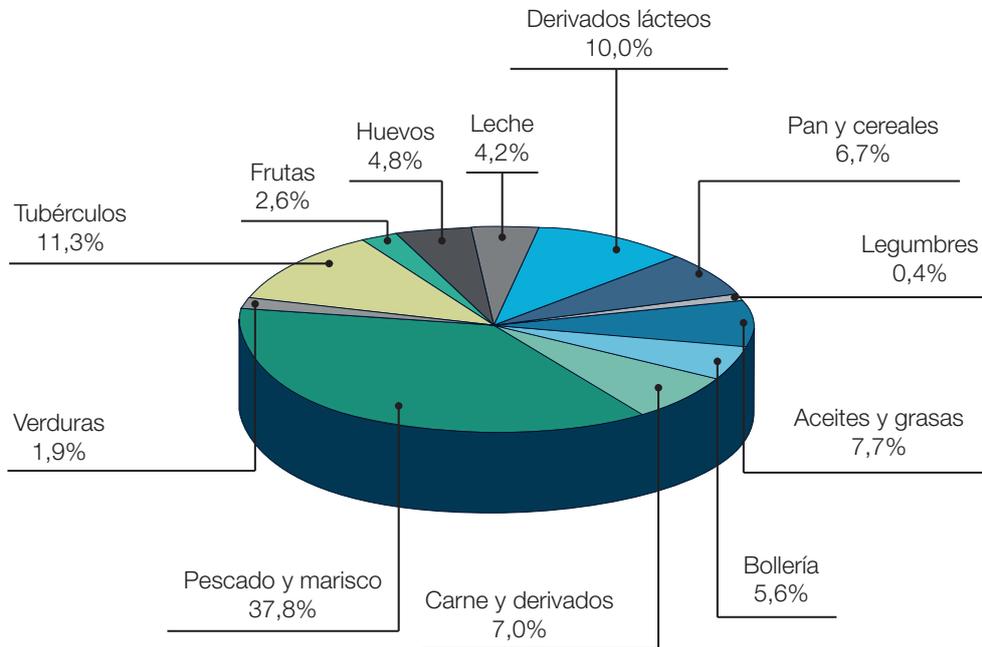
Para un hombre adulto, la ingesta se estima en 20,79 pg OMS TEQ/día. La contribución más importante a la ingesta corresponde al grupo del pescado y el marisco, con 7,86 pg OMS TEQ/día, y al grupo de los tubérculos, con 2,34 pg OMS TEQ/día. En el pescado destacan el atún en lata (1,96 pg OMS TEQ/día), el salmón (0,82 pg OMS TEQ/día) y la sardina (0,75 pg OMS TEQ/día).

En la tabla 8.3 se presenta el resumen de la ingesta diaria de dioxinas y furanos por grupos de alimentos. Se puede observar la contribución destacada del grupo del pescado y el marisco, seguida de la del grupo de los tubérculos.

Tabla 8.3. Ingesta diaria de PCDD/F. Hombre adulto, por grupos de alimentos.

	Consumo de alimento g/día	Ingesta de PCDD/F pg OMS-TEQ/día
Carne y derivados	171,9	1,45
Pescado y marisco	67,53	7,86
Verduras y hortalizas	159,7	0,39
Tubérculos	73,06	2,34
Frutas	193,6	0,54
Huevos	31,29	1,00
Leche	128,4	0,87
Derivados lácticos	75,62	2,09
Pan y cereales	224,3	1,39
Legumbres	30,36	0,09
Aceites y grasas	27,16	1,60
Bollería	45,451	1,17
Total de alimentos	228	20,79

En la figura 8.1 se puede observar la contribución a la ingesta diaria de cada grupo de alimentos. La contribución más importante es la del pescado y el marisco (37,8%), los tubérculos (11,3%) y los derivados lácteos (10,0%).

Figura 8.1. Contribución de los alimentos a la ingesta diaria de dioxinas y furanos

8.1.3. Ingesta diaria estimada por grupos de población

En la tabla 8.4 se muestra la ingesta diaria estimada de dioxinas y furanos en los diferentes grupos de población, según la edad y el sexo. Los valores más altos se observan en el grupo de los hombres adultos y el de los niños y niñas, con 20,79 y 20,04 pg OMS TEQ/día, respectivamente.

Tabla 8.4. Ingesta diaria estimada de PCDD/F en los diferentes grupos de población

Grupos de población	Ingesta de PCDD/F
Hombres	20,79
Mujeres	17,66
Niños y niñas	20,04
Chicos adolescentes	18,24
Chicas adolescentes	15,97
Hombres mayores de 65 años	16,18
Mujeres mayores de 65 años	13,91

En pg OMS-TEQ/día

8.1.4. Evaluación del riesgo

8.1.4.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos

La ingesta mensual estimada de dioxinas y furanos para un hombre adulto de 70 kg, debida al consumo de alimentos, es de 9 pg OMS TEQ/kg p. c. (véase la tabla 8.5). Este valor es muy inferior a la IMTP establecida por el JECFA para las dioxinas y furanos y los PCB con efecto dioxina (70 pg OMS TEQ/kg/mes). El valor máximo lo presentan los niños y niñas, con 25,2 pg OMS TEQ/kg/mes, un valor también muy alejado del establecido por el JECFA.

Asimismo, la ingesta semanal para los hombres adultos y los niños y niñas es de 2,10 y 5,88 pg OMS TEQ/kg/semana, respectivamente, unos valores bastante inferiores a la cifra de 14 pg OMS TEQ/kg/semana establecida por el Comité Científico de la Alimentación Humana (SCF) y adoptada posteriormente por la EFSA en sus evaluaciones.

Si consideramos la ingesta diaria, todos los grupos de población presentan unas ingestas por debajo del límite inferior del intervalo establecido por la OMS (1-4 pg OMS TEQ/kg/día). Por lo tanto, se puede considerar que la ingesta de estos contaminantes asociada a la dieta no representa ningún problema de salud.

Tabla 8.5. Ingesta diaria, semanal y mensual de PCDD/F relativa al peso corporal

Grupos de población	Ingesta diaria de PCDD/F	Ingesta semanal de PCDD/F	Ingesta mensual de PCDD/F
Hombres	0,30	2,10	9
Mujeres	0,32	2,14	9,60
Niños y niñas	0,84	5,88	25,20
Chicos adolescentes	0,33	2,33	9,90
Chicas adolescentes	0,30	2,10	9
Hombres mayores de 65 años	0,28	1,96	8,40
Mujeres mayores de 65 años	0,23	1,61	6,90

En pg OMS-TEQ/kg de peso corporal

8.1.4.2. Evaluación probabilística de la exposición

En la tabla 8.6 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición a las dioxinas y los furanos asociada a la dieta.

Tabla 8.6. Ingesta relativa de dioxinas y furanos (PCDD/F) por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertezas

Grupos de población	Variabilidad					Incerteza c*Q					
	media	DE	P50	P75	P90	media	DE	P50	P75	P90	P95
Hombres	0,23	0,06	0,22	0,26	0,30	0,23	0,23	0,22	0,27	0,31	0,34
Mujeres	0,27	0,08	0,26	0,31	0,37	0,28	0,28	0,27	0,32	0,38	0,43
Chicos adolescentes	0,30	0,08	0,29	0,34	0,39	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	0,44
Chicas adolescentes	0,29	0,07	0,28	0,33	0,39	0,30	0,30	0,29	0,34	0,40	0,44
Hombres mayores de 65 años	0,20	0,06	0,20	0,24	0,28	0,21	0,21	0,20	0,24	0,29	0,31
Mujeres mayores de 65 años	0,23	0,07	0,22	0,28	0,33	0,24	0,24	0,23	0,28	0,34	0,38
TOTAL	0,25	0,07	0,24	0,29	0,34	0,26	0,26	0,25	0,30	0,35	0,39

En pg OMS-TEQ/kg/día

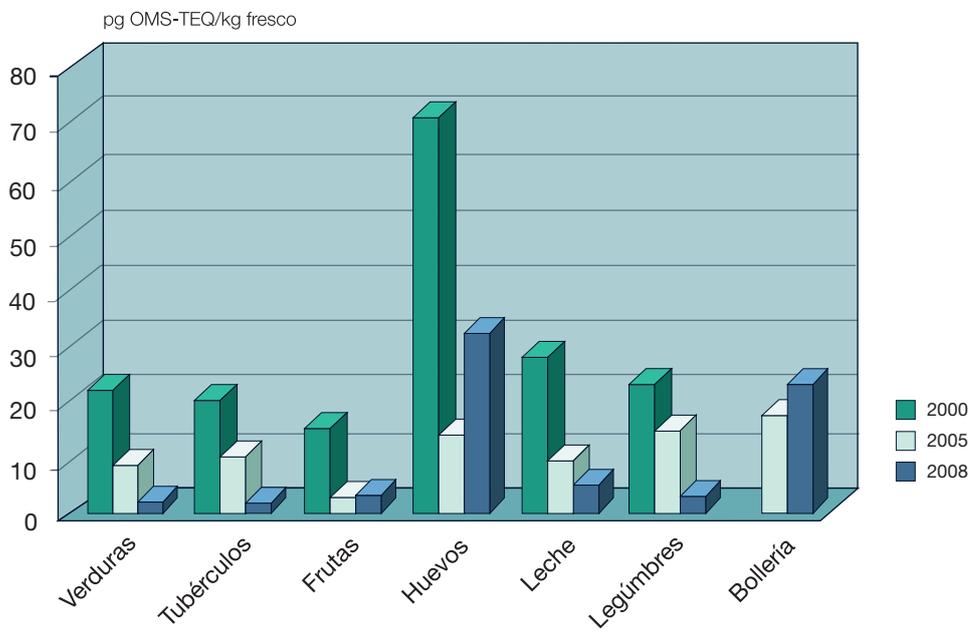
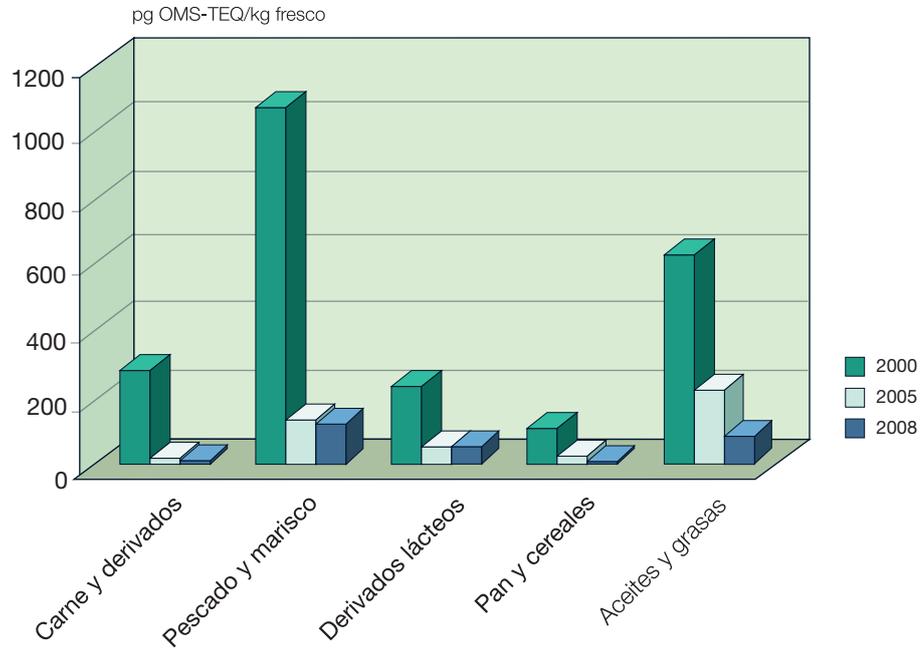
Se puede observar una coincidencia considerable entre los valores de las medias del estudio probabilístico y los cálculos deterministas. Lógicamente, al tener en cuenta la incertidumbre, estos valores aumentan. Tanto si se considera solo la variabilidad, como si se considera el peor escenario razonable que se crea al tener en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de consumo y de concentración, todos los valores de exposición son inferiores al intervalo 1-4 pg OMS TEQ/kg/día recomendado por la OMS y también a los 14 pg OMS TEQ/ kg/semana recomendados por el SCF y los 70 pg OMS TEQ/kg/mes recomendados por el JECFA. Para el percentil 95 (alto) de la población, la ingesta se sitúa entre 0,30 y 0,44 pg OMS TEQ/kg/día, según el grupo considerado, equivalentes a 2,10 3,08 pg OMS TEQ/kg/semana y 9,0-13,2 pg OMS TEQ/kg/mes.

8.1.5. Evolución desde el año 2000 al 2008

8.1.5.1. Concentración

La figura 8.2 muestra la comparación de las medias de concentración de dioxinas y furanos (pg OMS TEQ/kg de peso fresco) entre los tres estudios realizados. Se puede observar un descenso generalizado de la contaminación por PCDD/F en todos los grupos de alimentos, a excepción del grupo de los huevos, la bollería y las frutas.

Figura 8.2. Comparación de las concentraciones de dioxinas y furanos (años 2000, 2005 y 2008)



8.1.5.2. Ingesta

La tabla 8.7 muestra la evolución de la ingesta entre los tres estudios de dieta total, tomando como referencia el hombre adulto. Se observa que en el estudio del 2008 se produce un descenso muy notable respecto al primer estudio (78%) y al segundo (19%). En cuanto a los dos últimos estudios, el descenso de las aportaciones es general y destacan la carne, el pan y los aceites, aunque también hay incrementos leves de la ingesta, con el pescado y los tubérculos como aumentos más notables.

Tabla 8.7. Evolución de la ingesta de PCDD/F desde el año 2000 al 2008

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de PCDD/F (pg OMS-TEQ/día)		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	12,09	2,62	1,45
Pescado y marisco	92	67,53	28,74	6,53	7,86
Verduras y hortalizas	226	159,7	1,67	1,28	0,39
Tubérculos	74	73,06	0,90	0,77	2,34
Frutas	239	193,6	2,20	0,65	0,54
Huevos	34	31,29	2,37	0,43	1,00
Leche	217	128,4	2,10	1,47	0,87
Derivados lácticos	106	75,62	23,32	1,81	2,09
Pan y cereales	206	224,3	13,76	6,33	1,39
Legumbres	24	30,36	0,33	0,43	0,09
Aceites y grasas	41	27,16	7,93	2,50	1,60
Bollería	-	45,45	-	0,85	1,17
Total de alimentos considerados	1444	1228	95,41	25,67	20,79

8.1.6. Otros estudios

En la tabla 8.8 se presentan los datos de algunos estudios similares de todo el mundo. A pesar de la dificultad de las comparaciones, debido a las diversas metodologías y diseños de estudio utilizados, estos datos nos permiten situar a Cataluña respecto a los otros países.

Tabla 8.8. Ingesta diaria de PCDD/F y comparación con otros estudios

Congénera	pg TEQ/día	pg TEQ/kg/día	Autores
Cataluña	20,79	0,30	Este estudio
Suecia	21,8-54,4		Törnkvist et al., 2011
Taiwán	64,8		Wang et al., 2009
Japón	20,50-38,06		Nakatani et al., 2009
Noruega		0,27-0,39	Kvalem et al., 2009
Países Bajos		0,4	De Mul et al., 2008
Japón	26,48		Arisawa et al., 2008
Francia	30,93-65,73	0,53-1,31	Tard et al., 2007
China	5,18-35,17		Li et al., 2007
Egipto		4	Loutfy et al., 2006
Italia		0,96	Fattore et al., 2006
Japón	21,52	0,43	Sasamoto et al., 2006
Cataluña	25,67	0,37	Estudio 2005
España (Huelva)	80,5	1,15	Bordanjandi et al., 2004
Australia		0,34	Food Standards Australia-New
Países Bajos		0,6	Zealand, 2004
Finlandia	58	0,76	Baars et al., 2004
Reino Unido		0,4	Kiviranta et al., 2004
Bélgica	65,29	1	Datos gubernamentales
Cataluña	95,41	1,36	Focant et al., 2002Estudio 2000

8.2. BIFENILOS POLICLORADOS (PCB)

Los bifenilos policlorados (PCB) constituyen una clase amplia de productos químicos orgánicos persistentes que se acumulan en el medio ambiente y están asociados a una larga serie de efectos sobre la salud. Debido a sus propiedades fisicoquímicas, como la estabilidad química, una conductividad térmica baja y una constante dieléctrica alta, los PCB se utilizaron ampliamente en diversas aplicaciones industriales y comerciales, entre las cuales había sistemas de transferencia de calor e hidráulicos, fluidos de refrigeración y de aislamiento en transformadores y condensadores, pigmentos, colorantes, repelentes y papel autocopiativo, y también como plastificantes en pinturas, aislantes, productos de plástico y de goma. Por razones técnicas, los PCB se utilizaban como mezclas complejas de hasta 130 congéneres. Se estima una producción histórica global de 1,3 millones de toneladas de PCB, de las cuales cerca del 97% se utilizó en el hemisferio norte.

Debido a su toxicidad y a la clasificación como contaminantes orgánicos persistentes, se prohibió su procesamiento y distribución en casi todos los países industrializados desde la década de 1980, pero aún así se pueden liberar al medio ambiente a partir de la pintura y los aislantes de edificios antiguos y a partir de vertederos mal mantenidos.

Basándose en las características estructurales y los efectos toxicológicos, los PCB se dividen en PCB similares a las dioxinas (PCB DL), que muestran propiedades toxicológicas similares a las de las dioxinas, y no similares a las dioxinas (PCB NDL), que no comparten el mecanismo de toxicidad de la dioxina, es decir, la unión al receptor celular Ah. Los PCB NDL se unen a muchos receptores, pero de momento no se ha identificado ninguno que sea común para el conjunto de los PCB NDL, por lo que no se ha podido establecer ningún factor de equivalencia.

Se ha demostrado que las mezclas de PCB (DL y NDL) producen efectos endocrinos, inmunológicos y cancerígenos en animales adultos y, a dosis más bajas, efectos en el desarrollo cerebral del feto.

La OMS ha determinado una ingesta diaria de PCB de 20 ng/kg de peso corporal y día, a partir de estudios sobre los efectos en el desarrollo cerebral del feto (IPCS, 2003).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), en su evaluación de los PCB NDL (EFSA, 2005), utilizó los mismos estudios toxicológicos de la OMS y no estableció ningún valor de referencia para los PCB NDL ni para el conjunto de PCB, porque en estos estudios se utilizaron muestras que contenían impurezas de dioxinas y furanos que podían interferir en los resultados.

En Francia, la Agencia nacional de seguridad sanitaria de la alimentación, el medio ambiente y el trabajo (ANSES) considera como valor de referencia una ingesta diaria admisible de 10 ng/kg de peso corporal y día para el grupo de seis congéneres PCB NDL, llamados PCB indicadores, sobre la base de la ingesta establecida por la OMS y los datos de diferentes países europeos recopilados por la EFSA, que indican que estos PCB indicadores representan hasta un 50% del conjunto de PCB presentes en los alimentos consumidos en Europa (ANSES, 2001).

1 International Programme on Chemical Safety (IPCS)- Concise International Assessment Document (CIDAD) 55, Polychlorinated biphenyls: human health aspects. OMS, Ginebra, 2003

2 Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain [CONTAM] related to the presence of non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCB) in feed and food. EFSA, 2005.

Las personas están expuestas a los PCB, principalmente a partir de alimentos contaminados de origen animal ricos en grasa.

8.2.1. Resultados de los análisis de alimentos

Se han analizado 18 congéneres, de los cuales se considera que 12 tienen un efecto dioxina (PCB DL, del inglés PCB dioxin like) y los otros 6 no tienen este efecto (PCB NDL, PCB non-dioxin-like), los cuales son potencialmente importantes desde el punto de vista toxicológico, de acuerdo con la opinión de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2005).

En el caso de los PCB DL, para calcular los valores correspondientes en equivalentes tóxicos (TEQ, expresados en ng OMS TEQ/kg de peso fresco) se han utilizado los factores de equivalencia tóxica (TEF) modificados por la OMS en 2005 y publicados en 2006 (tabla 8.9).

Tabla 8.9. Factores de equivalencia tóxica (TEF), OMS (2005)

Congéneres	TEF 2005
PCB #77	0,0001
PCB #81	0,0003
PCB #105	0,00003
PCB #114	0,00003
PCB #118	0,00003
PCB #123	0,00003
PCB #126	0,1
PCB #156	0,00003
PCB #157	0,00003
PCB #167	0,00003
PCB #169	0,03
PCB #189	0,00003

Las concentraciones de PCB en los alimentos se presentan en la tabla 8.10.

En cuanto al valor global, los grupos de alimentos con una concentración media más alta son el del pescado y el marisco (10.265 ng/kg) y el de aceites y grasas (697,9 ng/kg). Los pescados con una concentración más alta de PCB son el salmonete (47.913 ng/kg), la caballa (26.664 ng/kg) y la sardina (24.667 ng/kg). En el grupo de aceites y grasas, los alimentos con una concentración más alta son la mantequilla (1.736 ng/kg) y la margarina (358,8 ng/kg).

3 Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2). Tomo 1. Polluants organiques persistants. Dioxines, furanes et PCB. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), 2011

Tabla 8.10. Valores de la concentración media de PCB (ng/kg de peso fresco) en los alimentos

	Carnes y derivados	Pescado y marisco	Verduras y hortalizas	Tubérculos	Frutas	Huevos	Leche	Derivados lácteos	Pan y cereales	Legumbres	Aceites y grasas	Bollería
PCB #77	0,24	13,67	0,10	0,10	0,11	0,44	0,05	0,34	0,17	0,10	2,47	1,73
PCB #81	0,12	0,66	0,05	0,05	0,06	0,22	0,02	0,17	0,09	0,05	1,24	0,34
PCB #105	1,51	222,1	0,58	0,49	0,56	5,25	0,64	13,24	0,86	0,50	22,62	3,44
PCB #114	0,26	17,24	0,10	0,10	0,11	0,44	0,05	1,24	0,17	0,10	5,76	0,68
PCB #118	7,87	826,2	1,28	0,98	1,10	15,50	2,98	52,84	1,98	1,01	79,88	8,33
PCB #123	0,24	23,05	0,10	0,10	0,11	0,44	0,05	0,72	0,17	0,10	2,47	0,68
PCB #126	0,07	5,31	0,03	0,02	0,03	0,11	0,02	0,57	0,04	0,02	1,09	0,17
PCB #156	1,84	151,1	0,51	0,50	0,53	2,20	0,30	7,34	0,88	0,50	16,00	3,43
PCB #157	0,38	35,69	0,10	0,10	0,11	0,46	0,05	1,55	0,17	0,10	3,19	0,68
PCB #167	1,09	99,05	0,52	0,49	0,53	2,18	0,25	3,17	0,86	0,50	12,38	3,44
PCB #169	0,06	0,84	0,03	0,02	0,03	0,11	0,01	0,09	0,04	0,02	0,61	0,17
PCB #189	0,27	30,45	0,10	0,10	0,11	0,46	0,05	0,78	0,17	0,10	2,47	0,68
Suma PCB DL	13,94	1.425	3,51	3,05	3,38	27,80	4,47	82,05	5,62	3,12	150,2	23,80
Suma PCB DL TEQ*	0,00925	0,60	0,003	0,003	0,004	0,02	0,002	0,06	0,006	0,003	0,13	0,02
PCB #28	12,03	130,4	2,61	0,98	1,10	25,00	2,55	15,53	9,94	1,33	106,9	24,50
PCB #52	6,23	232,6	1,39	0,98	1,10	4,43	4,05	7,30	4,13	1,01	58,06	13,00
PCB #101	4,37	540,6	1,52	0,98	1,10	4,43	0,82	3,77	2,49	1,01	28,88	6,83
PCB #138	21,75	2.140	1,54	0,98	1,10	34,50	5,10	79,46	2,21	1,01	114,9	14,00
PCB #153	31,79	3.948	2,22	0,98	1,10	48,00	6,53	121,5	2,88	1,24	160,4	21,17
PCB #180	19,42	1.848	1,34	0,98	1,10	29,00	3,18	53,87	2,04	1,01	78,63	11,17
Suma PCB NDL	95,58	8.840	10,62	5,85	6,60	145,4	22,17	281,4	23,69	6,60	547,7	90,67
Suma PCB total	109,5	10.265	14,12	8,90	9,98	173,2	26,64	363,5	29,31	9,72	697,9	114,5

En ng/kg de peso fresco; *en ng OMS-TEQ/kg de peso fresco

Lo mismo podemos observar al estudiar los grupos de PCB DL y NDL. Atendiendo a las concentraciones medias de PCB DL, el grupo del pescado y el marisco (0,60 ng OMS TEQ/ kg) y el de aceites y grasas (0,13 ng OMS TEQ/kg) vuelven a ser los que presentan un contenido más alto. En el caso de los PCB NDL, el pescado y los aceites siguen superando al resto con concentraciones de 8.840 y 547,7 ng OMS TEQ/kg, respectivamente.

Aunque la fracción de PCB NDL siempre es mayoritaria, la presencia de PCB DL en los diferentes grupos de alimentos no es completamente homogénea. En la figura 8.3 se puede observar como en los tubérculos, las frutas y las legumbres, la proporción de DL se sitúa entre el 30% y el 40%, mientras que en el resto de grupos está alrededor del 20%. En la figura 8.4 se puede apreciar la proporción de cada uno de los PCB DL en el conjunto de alimentos.

En términos de OMS-TEQ, los congéneres que más aportan son el 126 y el 169, con un claro predominio del primero. Entre los dos suman más de un 90% del contenido en todos los grupos de alimentos. Este dato es especialmente relevante ya que, entre los PCB DL, estos dos son los que tienen un TEF más alto y, por tanto, los que más se parecen biológicamente a las dioxinas.

Figura 8.3. Proporción de PCB DL/NDL en los grupos de alimentos

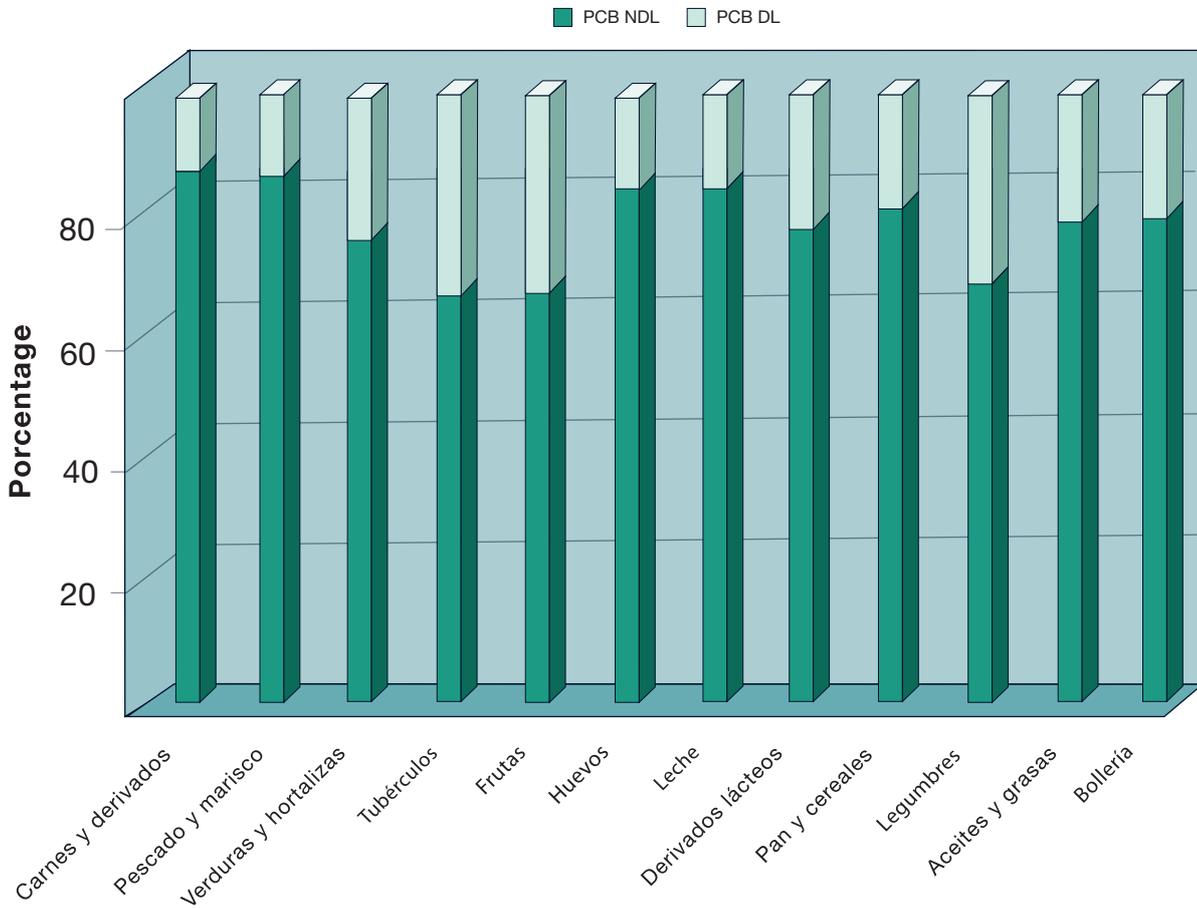
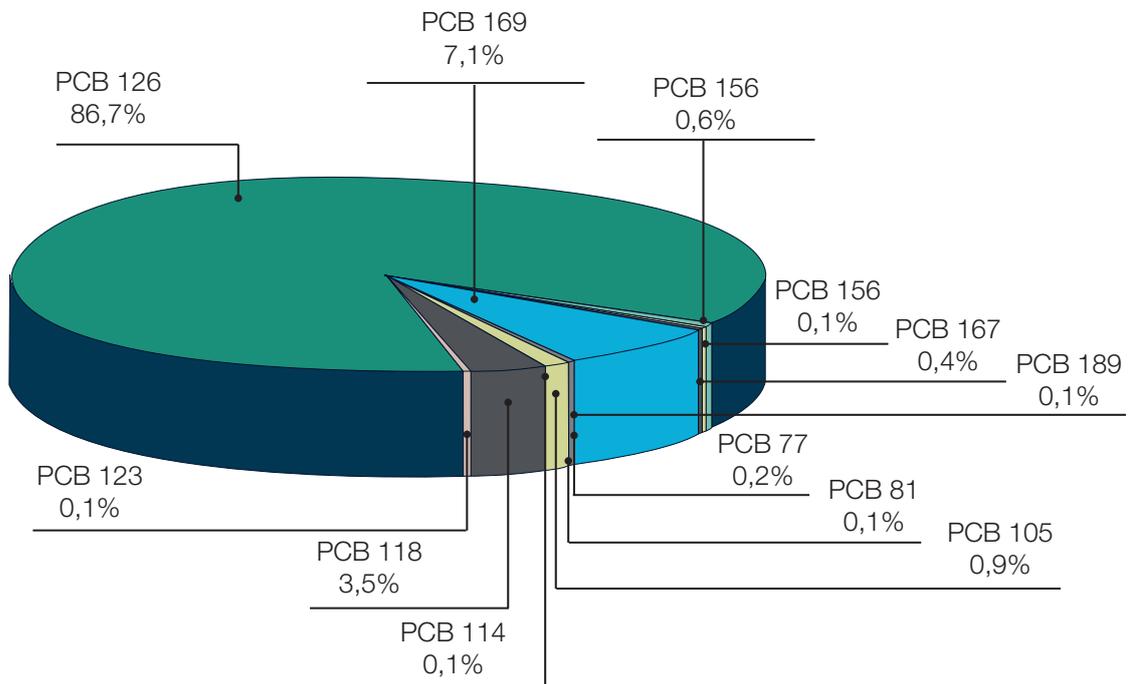


Figura 8.4. Distribución de los PCB DL en los alimentos. Porcentaje de la aportación al total de TEQ



8.2.2. Contribución de los alimentos a la ingesta

Para estimar la ingesta diaria de PCB asociada al consumo de alimentos, se han considerado por separado los congéneres DL, los NDL y el total.

En la tabla 8.11 se presenta la ingesta diaria estimada para un hombre adulto. Por lo que respecta a los PCB DL, la contribución más importante se debe al pescado y el marisco (21,72 pg OMS TEQ/día), seguido de los aceites y grasas y los derivados lácteos (2,46 y 2,30 pg OMS TEQ/día, respectivamente). En el grupo del pescado y el marisco destaca la sardina como la especie que más PCB DL aporta, con 5,12 pg OMS TEQ/día. En el grupo de los aceites y grasas es el aceite de oliva, con 2,05 pg OMS TEQ/día, y en el de los derivados lácteos es el queso tipo 2 (manchego y similares), con 0,58 pg OMS TEQ/día. En cuanto a los PCB NDL y al total, se observa un comportamiento ligeramente diferente ya que, aunque el pescado se mantiene como máximo aportador, el segundo lugar lo ocupan los derivados lácteos y la carne y derivados, con valores muy similares entre estos dos grupos.

Tabla 8.11. Ingesta diaria de PCB (hombre adulto, por grupos de alimentos)

	Consumo de alimento g/día	Ingesta de PCB DL pg OMS-TEQ/día	Ingesta de PCB NDL ng/día	Ingesta de PCB total ng/día
Carne y derivados	171,9	0,84	10,66	12,35
Pescado y marisco	67,53	21,72	318,00	364,40
Verduras y hortalizas	159,7	0,55	2,09	2,64
Tubérculos	73,06	0,24	0,44	12,65
Frutas	193,6	0,68	1,23	1,86
Huevos	31,29	0,48	4,55	5,42
Leche	128,4	0,72	4,03	4,76
Derivados lácteos	75,62	2,30	10,56	13,41
Pan y cereales	224,3	1,30	4,93	6,12
Legumbres	30,36	0,10	0,20	0,29
Aceites y grasas	27,16	2,46	8,20	10,55
Bollería	45,45	1,05	4,51	5,60
Total de alimentos considerados	1228	32,43	369,4	440,1

En las figuras 8.5 y 8.6 se presenta la contribución de los diferentes alimentos a la ingesta de PCB DL y de PCB NDL. Como se puede comprobar, el grupo del pescado y el marisco aporta el 67,0% y el 86,1% del total de la ingesta, respectivamente.

Figura 8.5. Contribución de los diferentes alimentos a la ingesta diaria de PCB DL

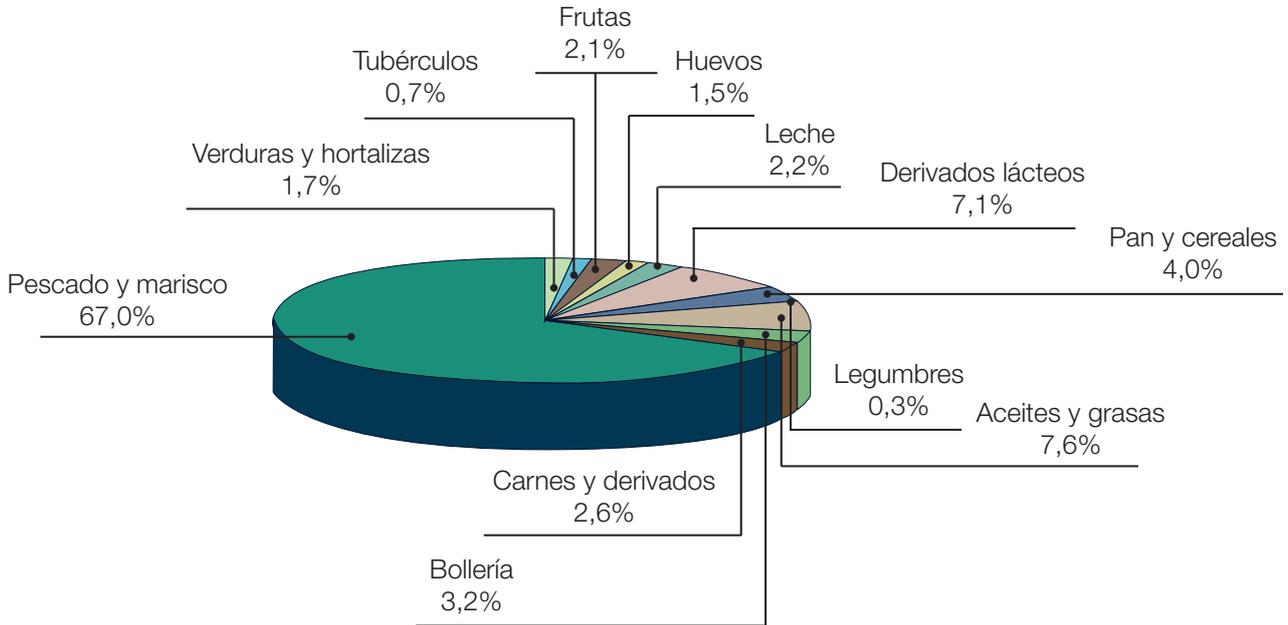
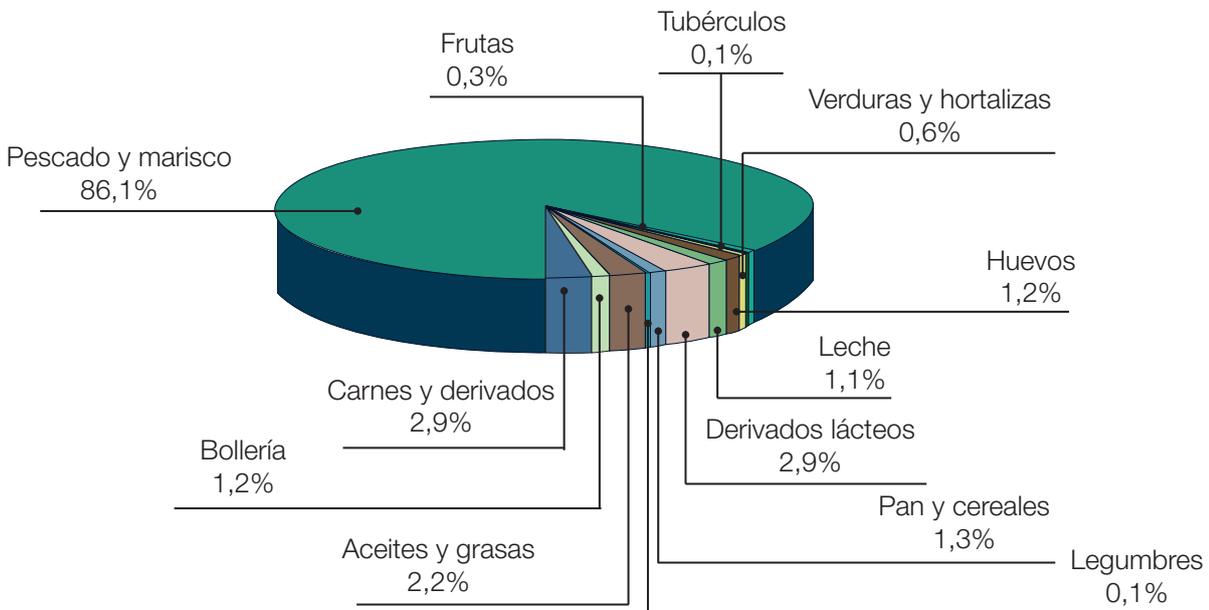


Figura 8.6. Contribución de los diferentes alimentos a la ingesta diaria de PCB NDL



8.2.3. Ingesta diaria estimada por grupos de población

La tabla 8.12 muestra la ingesta diaria estimada de PCB para los diferentes grupos de población, según la edad y el sexo. No se aprecian grandes diferencias entre los grupos de población estudiados.

Tabla 8.12. Ingesta diaria estimada de PCB en los diferentes grupos de población

Grupos de población	Ingesta de PCB DL pg OMS-TEQ/día	Ingesta de PCB NDL ng/día	Ingesta de PCB total ng/día
Hombres	32,43	369,4	440,1
Mujeres	30,66	355,5	282,5
Niños y niñas	37,48	386,1	455,8
Chicos adolescentes	23,76	236,0	237,3
Chicas adolescentes	23,18	244,0	219,9
Hombres mayores de 65 años	34,24	404,9	361,8
Mujeres mayores de 65 años	35,91	445,3	173,9

8.2.4. Evaluación del riesgo

8.2.4.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 8.13 se presenta la ingesta diaria estimada de PCB en los diferentes grupos de población, expresada en función del peso corporal. Para un hombre adulto de 70 kg de peso, la ingesta de PCB DL se estima en 0,46 pg OMS TEQ/kg/día. Este valor es inferior al valor establecido por la OMS como ingesta diaria tolerable (IDT) para las dioxinas, los furanos y los PCB DL (1-4 pg OMS TEQ/kg/día).

En lo referente a la ingesta de PCB NDL, para un hombre adulto se considera una ingesta de 5,28 ng/kg/día. Este valor es dos veces inferior a la ingesta diaria de referencia utilizada en el estudio de dieta de Francia (PCB indicadores) y es inferior a la ingesta estimada para la población europea de 10-45 ng/kg/día (EFSA, 2005).

En cuanto a la ingesta de PCB totales, se estima que esta es de 6,29 ng/kg/día en el grupo de hombres adultos, tres veces inferior a la IDT establecida por la OMS.

Tabla 8.13. Ingesta diaria de PCB relativa al peso corporal

Grupos de población	Ingesta de PCB DL pg OMS-TEQ/kg/día	Ingesta de PCB NDL ng/kg/día	Ingesta de PCB total ng/kg/día
Hombres	0,46	5,28	6,29
Mujeres	0,56	6,46	5,14
Niños y niñas	1,56	16,09	18,99
Chicos adolescentes	0,42	4,21	4,24
Chicas adolescentes	0,44	4,62	4,15
Hombres mayores de 65 años	0,53	6,23	5,57
Mujeres mayores de 65 años	0,60	7,42	2,90

En cuanto a los PCB DL y los PCB totales, los datos de nuestro estudio indican que en ningún caso la ingesta estimada supera los valores de referencia establecidos por la OMS.

En la población infantil, la ingesta de PCB DL se sitúa en el límite bajo del intervalo establecido por la OMS (1-4 pg OMS TEQ/kg/día) y, con respecto a los PCB totales, es ligeramente inferior al valor establecido por la OMS (20 ng/kg/día). En cuanto a la ingesta de PCB NDL en el grupo de niños y niñas, estimada en 16,09 ng/kg/día, esta es más baja que la estimada para la población infantil europea, que se sitúa entre 27 y 50 ng/kg/día (EFSA, 2005).

8.2.4.2. Evaluación probabilística de la exposición

En la tabla 8.14 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición al PCB DL asociada a la dieta.

Tabla 8.14. Ingesta relativa de PCB DL por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertezas

Grupos de población	Variabilidad						Incerteza c*Q					
	media	DE	P50	P75	P90	P95	media	DE	P50	P75	P90	P95
Hombres	0,43	0,17	0,41	0,52	0,66	0,74	0,45	0,19	0,42	0,55	0,69	0,80
Mujeres	0,54	0,22	0,50	0,64	0,81	0,92	0,56	0,25	0,51	0,67	0,85	0,98
Chicos adolescentes	0,46	0,16	0,43	0,55	0,68	0,78	0,47	0,18	0,44	0,56	0,72	0,82
Chicas adolescentes	0,47	0,17	0,45	0,55	0,66	0,76	0,49	0,20	0,45	0,57	0,71	0,84
Hombres mayores de 65 años	0,49	0,21	0,46	0,60	0,76	0,88	0,51	0,21	0,46	0,61	0,79	0,92
Mujeres mayores de 65 años	0,60	0,32	0,53	0,78	1,02	1,17	0,61	0,33	0,53	0,79	1,05	1,23
TOTAL	0,50	0,20	0,46	0,59	0,75	0,86	0,51	0,24	0,47	0,61	0,78	0,91

En pg OMS-TEQ/kg/día

Cuando solo se considera la variabilidad, la mayoría de la población presenta una ingesta inferior al intervalo máximo recomendado por la OMS para todos los productos DL (1-4 pg OMS TEQ/kg/día). Solamente un 10% de las mujeres mayores de 65 años están en la parte baja de este intervalo. En todos los casos, la ingesta derivada de la consideración de la variabilidad es inferior a los 14 pg OMS TEQ/kg/semana y a los 70 pg OMS TEQ/kg/mes recomendados por el JECFA.

Cuando se considera el peor escenario razonable, que se crea al tener en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de consumo y de concentración, tampoco se observa que la exposición calculada supere el nivel de seguridad toxicológico de 1-4 pg OMS TEQ/kg/día establecido por la OMS, y únicamente el 10% de las mujeres mayores de 65 años se mantiene en la banda baja del intervalo. En todos los casos, la ingesta derivada de la consideración de la variabilidad es inferior a los 14 pg OMS TEQ/kg/semana y a los 70 pg OMS TEQ/kg/mes recomendados por el JECFA.

El percentil 95 (alto) de la población presenta una ingesta entre 0,80 y 1,23 pg OMS TEQ/kg/día, lo que corresponde a una ingesta semanal entre 5,60 y 8,61 pg OMS TEQ/kg y a una ingesta mensual entre 24,0 y 36,9 pg OMS TEQ/kg, según el grupo de población considerado.

8.2.5. Evolución desde el año 2000 al 2008

8.2.5.1. Concentración

Las figuras 8.7 y 8.8 muestran la comparación de las medias de concentración de los PCB en alimentos (ng/kg de peso fresco) entre los tres estudios.

En la figura 8.7 se presentan los cambios en los alimentos estudiados, a excepción del pescado y el marisco. En la figura 8.8 se muestra por separado la variación observada en el grupo del pescado y el marisco, ya que este grupo presenta unas concentraciones medias de orden de magnitud muy superior. Se puede observar un descenso en la mayoría de valores obtenidos, a excepción del grupo de los aceites y grasas.

Figura 8.7. Comparación de las concentraciones de PCB (años 2000, 2005 y 2008)

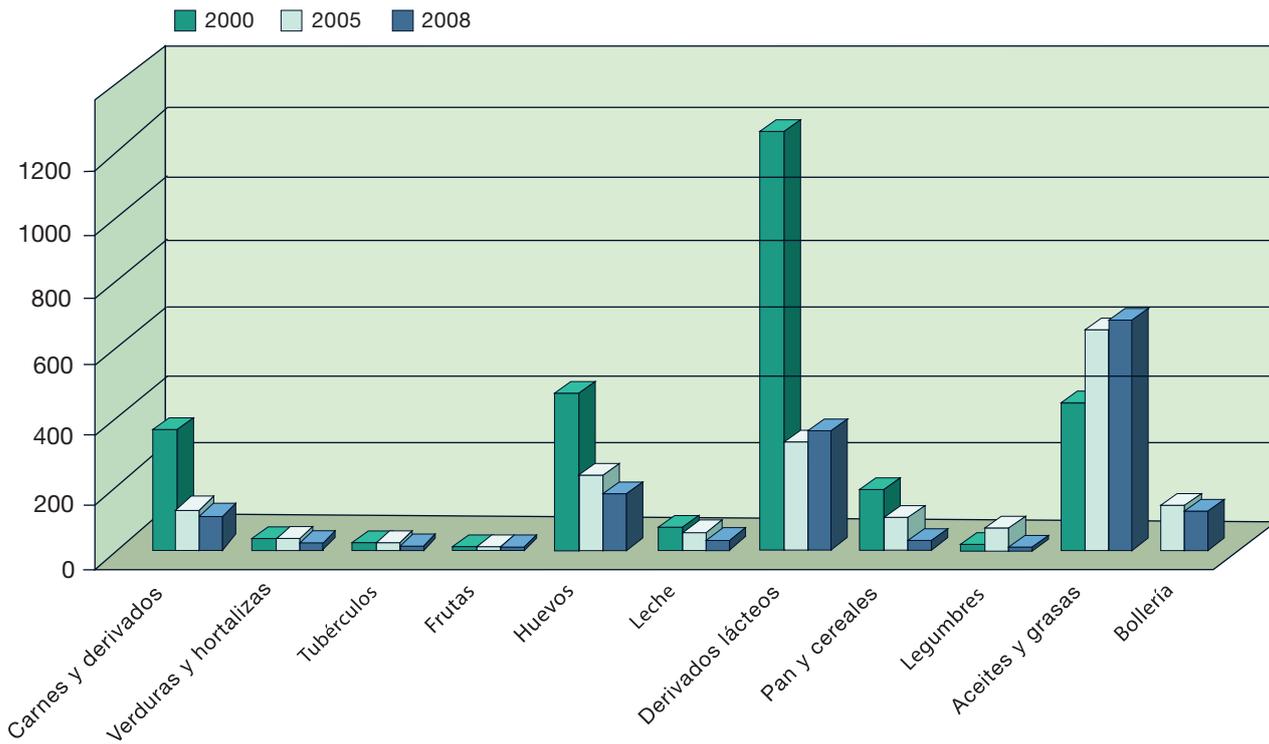
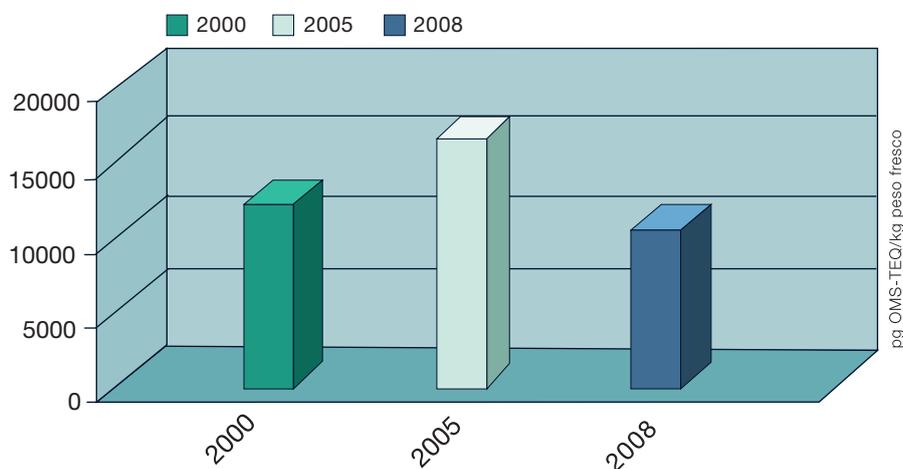


Figura 8.8. Comparación de las concentraciones de PCB en pescado y marisco (años 2000, 2005 y 2008)



8.2.5.2. Ingesta

La tabla 8.15 muestra la evolución de la ingesta de PCB NDL y DL entre los tres estudios de dieta total, tomando como referencia el hombre adulto. Como se puede observar, el descenso es muy notable y generalizado para los PCB NDL (48%) y los PCB DL (38%).

Tabla 8.15. Evolución de la ingesta de PCB NDL y DL (años 2000, 2005 y 2008)

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de PCB NDL ng/día			Ingesta de PCB DL pg OMS-TEQ/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	63,34	17,34	10,66	8,85	2,24	0,84
Pescado y marisco	92	67,53	987,6	956,1	318,0	82,87	38,77	21,72
Verduras y hortalizas	226	159,7	4,50	3,11	2,09	1,07	0,70	0,55
Tubérculos	74	73,06	1,13	0,79	0,44	0,83	0,45	0,24
Frutas	239	193,6	1,16	1,37	1,23	2,10	0,79	0,68
Huevos	34	31,29	6,82	6,27	4,55	0,84	0,55	0,48
Leche	217	128,4	11,78	4,72	4,03	1,78	1,72	0,72
Derivados lácticos	106	75,62	117,3	20,28	10,56	29,38	1,24	2,30
Pan y cereales	206	224,3	35,54	17,22	4,93	11,36	2,27	1,30
Legumbres	24	30,36	0,29	1,71	0,20	0,37	0,22	0,10
Aceites y grasas	41	27,16	16,43	13,33	8,20	10,67	2,48	2,46
Bollería	-	45,45	-	4,94	4,51	-	0,98	1,05
Total de alimentos considerados	1444	1228	1.246	707,2	369,4	150,12	52,40	32,43

8.2.6. Otros estudios

En las tablas 8.16 y 8.17 se presentan los datos de algunos estudios similares de todo el mundo. A pesar de la dificultad de las comparaciones, debido a las diversas metodologías y diseños de estudio utilizados, estos datos nos permiten situar a Cataluña respecto a los otros países.

Tabla 8.16. Ingesta diaria de PCB DL y comparación con otros estudios

País	pg TEQ/día	pg TEQ/kg/día	Autores
Cataluña	32,4	0,46	Este estudio
Turquía		0,59	Kilic et al., 2011
Suecia	21,7-41,4		Törnkvist et al., 2011
China		9,78	Xing et al., 2011
Noruega		1,25	Kvalem et al., 2009
China	3,81-21,93		Li et al., 2007
Cataluña	52,4	0,75	Estudio 2005
Egipto		2,68	Loutfy et al., 2006
Italia		1,3	Fattore et al., 2006
Japón	55,9	1,12	Sasamoto et al., 2006
España (Huelva)	184,1	2,63	Bordanjandi et al., 2004
Australia		0,18	Food Standars Australia-New Zealand, 2004
Países Bajos		0,5	Baars et al., 2004
Finlandia	56	0,74	Kiviranta et al., 2004
Reino Unido		0,5	Datos gubernamentales
Bélgica	67,6	1,04	Focant et al., 2002
Cataluña	150,12	2,15	Estudio 2000

Tabla 8.17. Ingesta diaria de PCB NDL y comparación con otros estudios

País	ng/kg/día	Observaciones	Autores
Francia	1,83-2,71	Adulto, 6 PCB	ANSES, 2011
Cataluña	5,3	Adulto, 6 PCB	Este estudio
Francia	12,9	3-14 años, 6 PCB	Arnich et al., 2009
	7,7	Adulto, 6 PCB	
Alemania	11,2	Adulto, 6 PCB	Fromme et al., 2009
Italia	24,6	0,5-6 años, 6 PCB	Fattore et al., 2008
	16,1	7-12 años, 6 PCB	
	10,9	Adulto, 6 PCB	
Cataluña	18,60	Adulto, 6 PCB	Estudio 2005
Países Bajos	21,9	2 años, 7 PCB	Bakker et al., 2003
	12,5	10 años, 7 PCB	
	8,6	40 años, 7 PCB	
Alemania	30,5	1,5-3 años, 3 PCB	Petzold et al., 1999
	16,5	20-35 años, 3 PCB	Schäfer et al., 2000
Italia	39,0	6 PCB	Zuccato et al., 1999
	16,1	7-12 años, 6 PCB	Fattore et al., 2005
	10,9	13-94 años, 6 PCB	
Cataluña	17,80	Adulto, 6 PCB	Estudio 2000

8.3. EVALUACIÓN CONJUNTA DE LOS PCDD/F Y LOS PCB SIMILARES A LAS DIOXINAS (PCB DL)

Para evaluar los riesgos se debe valorar conjuntamente la exposición a dioxinas, furanos y PCB con efecto dioxina, ya que tanto la OMS como la EFSA establecen valores de seguridad que engloban los dos tipos de contaminantes.

8.3.1. Concentraciones conjuntas

En la tabla 8.18 se presentan las concentraciones equivalentes (OMS TEQ) de PCDD/F, PCB DL y la suma de ambas para los grupos de alimentos analizados. Para los cálculos se han utilizado los valores de TEF publicados por la OMS en el 2005 (véanse los apartados anteriores).

Taula 8.18. Concentraciones de PCDD/F y PCB DL

	PCDD/F	PCB DL	PCDD/F + PCB DL
Carne y derivados	0,011	0,009	0,020
Pescado y marisco	0,120	0,600	0,720
Verduras y hortalizas	0,002	0,003	0,006
Tubérculos	0,002	0,003	0,005
Frutas	0,003	0,004	0,007
Huevos	0,032	0,015	0,047
Leche	0,005	0,002	0,007
Derivados lácticos	0,056	0,060	0,116
Pan y cereales	0,007	0,006	0,013
Legumbres	0,003	0,003	0,006
Aceites y grasas	0,086	0,133	0,219
Bollería	0,023	0,023	0,046

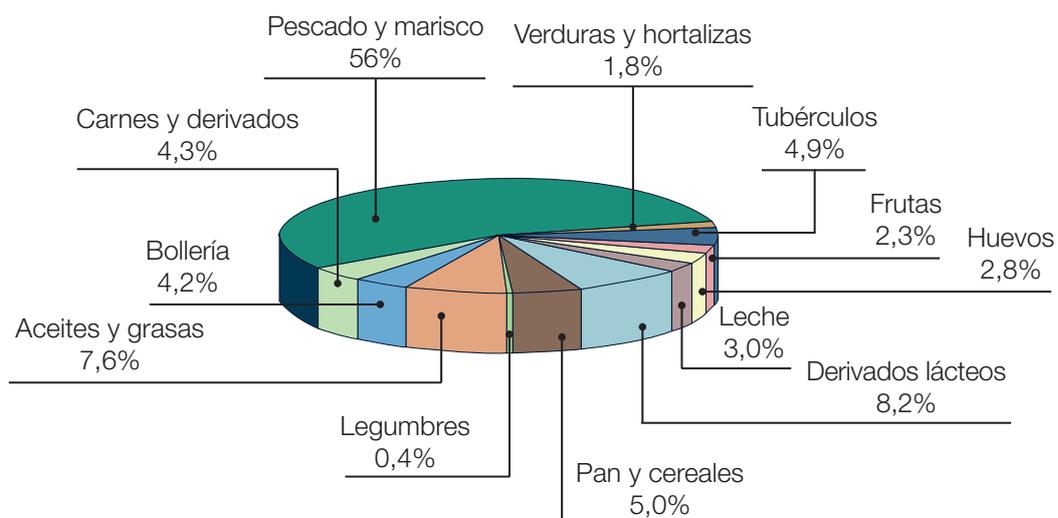
8.3.2 Contribución de los alimentos a la ingesta

En la tabla 8.19 se presentan, ordenadas por grupos de alimentos, las ingestas diarias estimadas de PCDD/F y PCB DL y la suma de ambos conceptos para un hombre adulto. La ingesta diaria estimada para un hombre adulto es de 53,23 pg OMS TEQ. La contribución de los PCB DL a esta ingesta es del 61%.

Tabla 8.19. Ingesta diaria de PCDD/F + PCB DL (hombre adulto, por grupos de alimentos)

	Consumo de alimento g/día	Ingesta de PCDD/F pg OMS-TEQ/día	Ingesta de PCB DL pg OMS-TEQ/día	Ingesta conjunta pg OMS-TEQ/día
Carne y derivados	171,9	1,45	0,84	2,29
Pescado y marisco	67,5	7,86	21,72	29,58
Verduras y hortalizas	159,7	0,39	0,55	0,94
Tubérculos	73,06	2,34	0,24	2,59
Frutas	193,6	0,54	0,68	1,22
Huevos	31,29	1,00	0,48	1,48
Leche	128,4	0,87	0,72	1,59
Derivados lácticos	75,62	2,09	2,30	4,38
Pan y cereales	224,3	1,39	1,30	2,68
Legumbres	30,36	0,09	0,10	0,19
Aceites y grasas	27,16	1,60	2,46	4,06
Bollería	45,45	1,17	1,05	2,22
Total de alimentos considerados	1228	20,79	32,44	53,23

En la figura 8.9 se puede observar la contribución de los diferentes tipos de alimentos a la ingesta conjunta de PCDD/F + PCB DL en el hombre adulto. Por tipo de alimento, la aportación más considerable es la del grupo del pescado y el marisco (29,58 pg OMS TEQ), que representa el 56% del total, seguido a mucha distancia por el grupo de los derivados lácteos (4,38 pg OMS TEQ) y por los aceites y grasas (4,06 pg OMS TEQ).

Figura 8.9. Contribución del tipo de alimento a la ingesta de PCDD/F + PCB DL

8.3.3. Ingesta diaria estimada por grupos de población

En la tabla 20.8 se muestra la ingesta diaria conjunta estimada para los diferentes grupos de población, según la edad y el sexo. El grupo con una ingesta más alta es el de los niños y niñas, seguido de los hombres adultos.

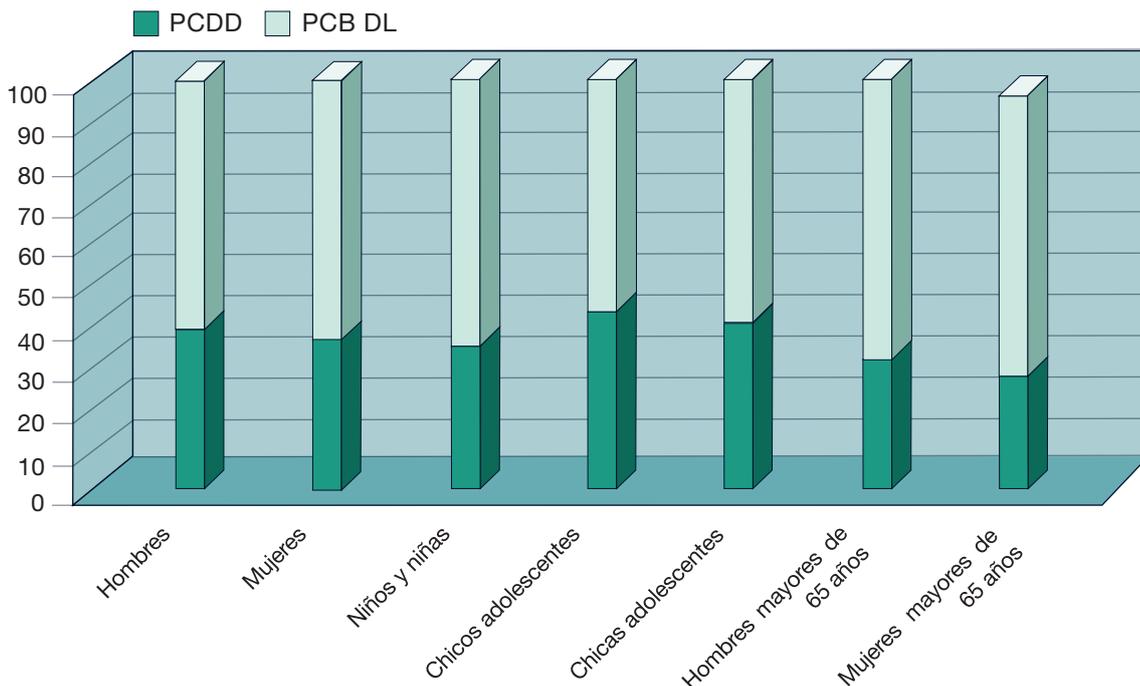
Tabla 8.20. Ingesta diaria estimada en los diferentes grupos de población

Grupos de población	Ingesta de PCDD/F	Ingesta de PCB DL	Ingesta conjunta
Hombres	20,79	32,43	53,22
Mujeres	17,66	30,66	48,32
Niños y niñas	20,04	37,48	57,52
Chicos adolescentes	18,24	23,76	42,00
Chicas adolescentes	15,97	23,18	39,15
Hombres mayores de 65 años	16,18	34,24	50,42
Mujeres mayores de 65 años	13,91	35,91	49,82

En pg OMS-TEQ/día

En la figura 8.10 se presenta el porcentaje de participación correspondiente a los PCDD/F y los PCB DL en la ingesta diaria. Se puede observar la gran proporción que representan los PCB DL en la ingesta total, con un 64% de media. La contribución de los PCDD/F es bastante regular en todos los grupos de edad y se sitúa entre el 28% y el 43%.

Figura 8.10. Proporción en porcentaje de PCDD/F y PCB DL en la ingesta diaria



8.3.4. Evaluación del riesgo

8.3.4.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 8.21 se puede observar la ingesta diaria conjunta de los dos grupos de contaminantes, para los diferentes grupos de población y en relación con el peso corporal.

Tabla 8.21. Ingesta diaria de PCDD/F + PCB DL relativa al peso corporal

Grupos de población	Ingesta de PCDD/F	Ingesta de PCB DL	Ingesta conjunta
Hombres	0,30	0,46	0,76
Mujeres	0,32	0,56	0,88
Niños y niñas	0,84	1,56	2,40
Chicos adolescentes	0,33	0,42	0,75
Chicas adolescentes	0,30	0,44	0,74
Hombres mayores de 65 años	0,28	0,53	0,81
Mujeres mayores de 65 años	0,23	0,60	0,83

En pg OMS-TEQ/kg/día

Se puede observar como en todos los casos, a pesar de que los OMS TEQ aumentan considerablemente cuando se tienen en cuenta los PCB DL, la ingesta es inferior o se sitúa en el intervalo diario tolerable establecido por la OMS (1-4 pg OMS TEQ/kg/día) en todos los grupos de población.

En general, la ingesta semanal también está bastante por debajo de la ingesta semanal tolerable provisional (ISTP), cifrada en 14 pg OMS TEQ/kg/semana por la EFSA en el 2001, ya que la mayoría de grupos presentan una ingesta semanal entre 5,18 y 6,16 pg OMS TEQ/kg/semana. Solamente para los niños y niñas se obtiene una ingesta superior, de 16,80 pg OMS TEQ/kg/semana. Se ha de tener en cuenta que el período de exposición es corto y el exceso de ingesta es muy pequeño.

Asimismo, la mayoría de grupos presentan una ingesta mensual entre 22 y 26 pg OMS TEQ/kg/mes, inferior a la ingesta mensual tolerable provisional (IMTP) de 70 pg OMS TEQ/kg/mes recomendada por el JECFA en el 2001. En los niños y niñas, la ingesta es de 72 pg OMS TEQ/kg/mes.

8.3.4.2. Evaluación probabilística de la exposición

En la taula 8.22 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición conjunta a PCDD/F y PCB DL asociada a la dieta.

Tabla 8.22. Ingesta relativa de PCDD/F y PCB DL por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertezas

Grupos de población	Variabilidad						Incerteza c*Q					
	mediana	DE	P50	P75	P90	P95	mediana	DE	P50	P75	P90	P95
Hombres	0,66	0,22	0,63	0,78	0,95	1,02	0,68	0,24	0,64	0,80	1,00	1,12
Mujeres	0,82	0,29	0,77	0,95	1,17	1,31	0,83	0,32	0,78	0,98	1,20	1,38
Chicos adolescentes	0,76	0,23	0,73	0,88	1,07	1,19	0,78	0,25	0,74	0,91	1,10	1,25
Chicas adolescentes	0,76	0,23	0,73	0,87	1,04	1,17	0,78	0,27	0,74	0,90	1,10	1,27
Hombres mayores de 65 años	0,70	0,26	0,66	0,83	1,02	1,17	0,71	0,28	0,67	0,85	1,06	1,22
Mujeres mayores de 65 años	0,84	0,38	0,76	1,06	1,34	1,54	0,84	0,39	0,76	1,06	1,37	1,59
TOTAL	0,75	0,26	0,71	0,88	1,08	1,21	0,76	0,29	0,72	0,90	1,12	1,28

En pg OMS-TEQ/kg/día

Se puede observar una coincidencia considerable entre los valores de las medias del estudio probabilístico y los cálculos deterministas.

Cuando solo se considera la variabilidad, y también cuando se considera el peor escenario razonable que se crea al tener en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de consumo y de concentración, se observa que toda la población presenta una ingesta inferior a los 14 pg OMS TEQ/kg/semana recomendados por la EFSA y los 70 pg OMS TEQ/kg/mes recomendados por el JECFA, mientras que el percentil 90 de la población se sitúa en la parte baja del intervalo recomendado por la OMS (1-4 pg OMS TEQ/kg/día).

8.3.5. Evolución desde el año 2000 al 2008

8.3.5.1. Concentración

Para comparar el estudio actual con los anteriores se ha tenido en cuenta solo la concentración de los congéneres de los PCB analizados en los tres estudios (28, 52, 77, 101, 105, 118, 126, 138, 153, 169 y 180). Las figuras 8.11a, b y c muestran la comparación de las medias de concentración de los PCDD/F y los PCB en los alimentos obtenidas en los tres estudios (los diferentes tipos de alimentos se muestran agrupados según la magnitud de las concentraciones correspondientes).

Figura 8.11a. Evolución de la concentración de PCDD/F + PCB (años 2000, 2005 y 2008)

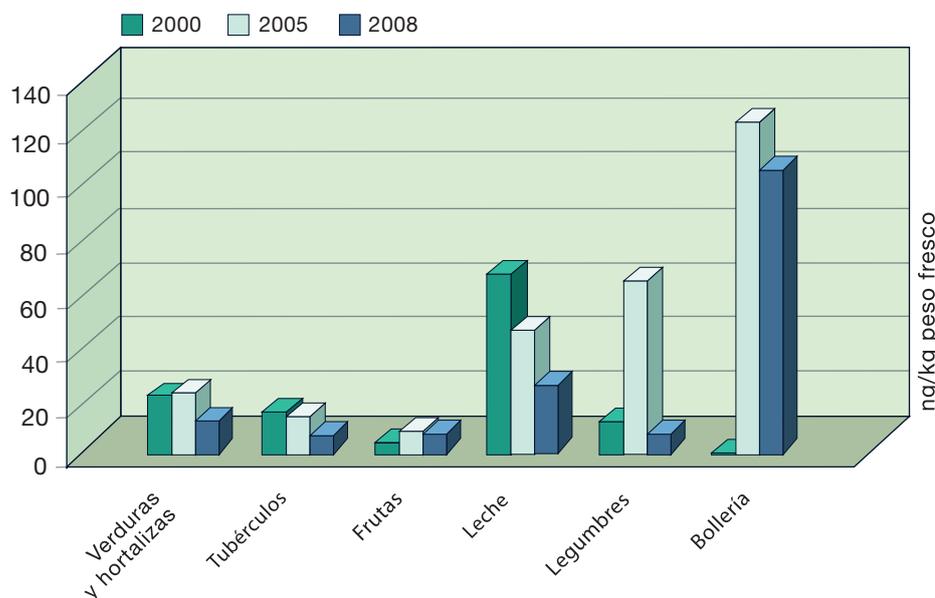


Figura 8.11b. Evolución de la concentración de PCDD/F + PCB (años 2000, 2005 y 2008)

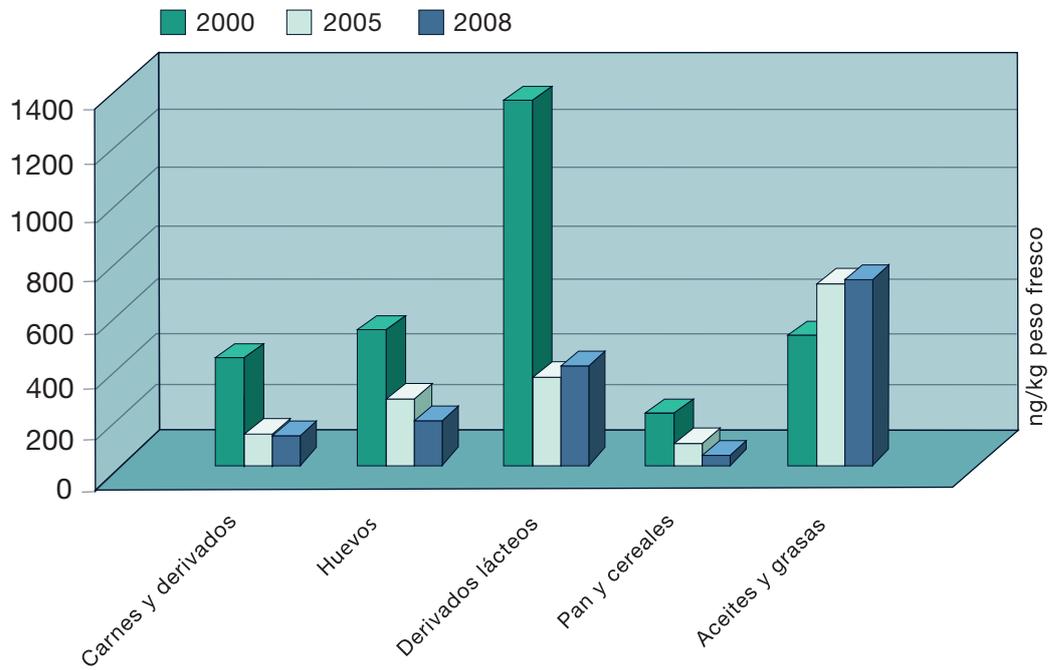
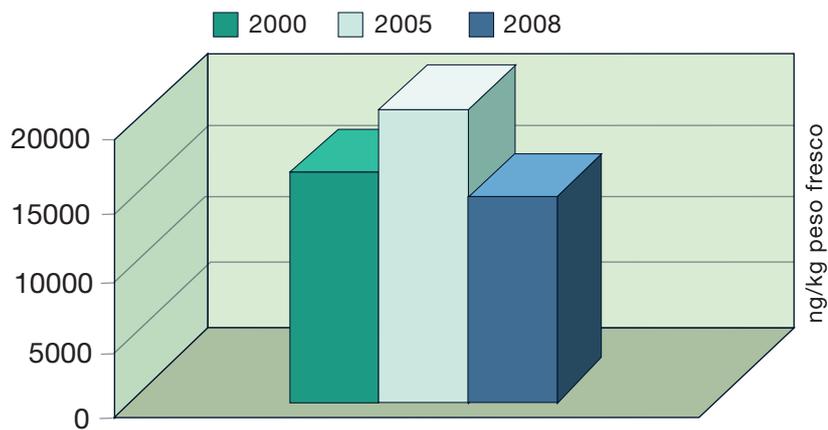


Figura 8.11c. Evolución de la concentración de PCDD/F + PCB en pescado y marisco (2000, 2005 y 2008)



En general, cabe destacar un descenso de la concentración en la mayoría de grupos de alimentos, a excepción del grupo de los lácteos y el de los aceites y grasas, en los que la concentración aumenta ligeramente respecto al 2005. En cuanto al grupo del pescado y el marisco, el estudio del 2005 indica un aumento de la concentración en relación con el estudio del año 2000, probablemente porque se incrementó el número de especies analizadas de 3 a 14. En cambio, en el estudio del 2008, con las mismas 14 especies del estudio del 2005 y, por tanto, comparables, se observa una disminución de la concentración de PCDD/F y PCB.

8.3.5.2. Ingesta

La tabla 8.23 muestra la evolución de la ingesta conjunta entre los tres estudios de dieta total, tomando como referente la del hombre adulto. Se observa una disminución importante: de 245,5 pg OMS TEQ/día en el año 2000 a 78,07 pg OMS TEQ/día en el año 2005 y a 53,23 pg OMS TEQ/día en el año 2008. Entre los dos últimos estudios, la disminución de la ingesta conjunta ha sido del 41%. El descenso de las aportaciones es marcado y general, excepto incrementos moderados en algunos grupos de alimentos.

Tabla 8.23. Evolución de la ingesta de PCDD/F + PCB DL (años 2000, 2005 y 2008)

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de PCDD/F + PCB DL pg OMS-TEQ/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	20,94	4,86	2,29
Pescado y marisco	92	67,53	111,60	45,30	29,58
Verduras y hortalizas	226	159,7	2,74	1,98	0,94
Tubérculos	74	73,06	1,73	1,22	2,59
Frutas	239	193,6	4,30	1,44	1,22
Huevos	34	31,29	3,21	0,99	1,48
Leche	217	128,4	3,88	3,19	1,59
Derivados lácticos	106	75,62	52,70	3,05	4,38
Pan y cereales	206	224,3	25,12	8,60	2,68
Legumbres	24	30,36	0,70	0,65	0,19
Aceites y grasas	41	27,16	18,60	4,98	4,06
Bollería	-	45,45	-	1,82	2,22
Total de alimentos considerados	1444	1228	245,52	78,07	53,23

8.3.6 Otros estudios

En la tabla 8.24 se presentan los datos de algunos estudios similares de todo el mundo. A pesar de la dificultad de las comparaciones, debido a las diversas metodologías y diseños de estudio utilizados, estos datos nos permiten situar a Cataluña respecto a los otros países.

Tabla 8.24. Ingesta diaria conjunta de PCDD/F + PCB DL y comparación con otros estudios

País	pg TEQ/día	pg TEQ/kg/día	Autores
Francia		0,47-057	ANSES, 2011
Cataluña	53,23	0,76	Este estudio
Japón	87,28-104,24	1,45-2,08	Nakatani et al., 2011
Suecia		0,6	Törnkvist et al., 2011
Bélgica		0,72	Windal et al., 2010
China	81,8	9,54	Zhang et al., 2008
Países Bajos		0,8-0,9	De Mul et al., 2008
Bélgica		1,74	Bilau et al., 2008
Japón	43,43		Arisawa et al., 2008
Francia	30,93-65,73	0,53-1,31	Tard et al., 2007
China	9,06-57,10		Li et al., 2007
Japón		1,49	Mato et al., 2007
Egipto		6,68	Loutfy et al., 2006
Italia		2,28	Fattore et al., 2006
Japón	77,49	1,55	Sasamoto et al., 2006
Cataluña	78,07	1,12	Estudio 2005
España (Huelva)	264,6	3,78	Bordanjandi et al., 2004
Australia		0,52	
Países Bajos		1,1	Baars et al., 2004
Finlandia	114	1,5	
Reino Unido		0,9	Datos gubernamentales
Bélgica	132,9	2,04	
Cataluña	245,5	3,51	Estudio 2000

9 Hexaclorobenceno

El hexaclorobenceno (HCB) se introdujo como plaguicida agrícola en 1945, y en 1981 se prohibió para uso agrícola en la Comunidad Europea, debido a la persistencia alta en el medio ambiente y los seres vivos. Sin embargo, todavía se utiliza en cierta medida como producto químico industrial y se libera al medio ambiente durante la incineración de residuos. Además, en cierta medida, es un subproducto de la fabricación de productos químicos industriales y aparece en las formulaciones de varios plaguicidas. El HCB es muy volátil, altamente lipofílico y es ubicuo en el ambiente. Puede ser transportado a largas distancias y se bioacumula en los tejidos adiposos. El HCB está incluido en el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP).

El hexaclorobenceno se absorbe fácilmente en los seres humanos y animales. Presenta una toxicidad aguda baja y el hígado es el órgano diana. En dosis subagudas, el HCB interfiere en la acción de diferentes enzimas hepáticas, especialmente las implicadas en la síntesis del grupo hemo, y causa porfiria, lesiones cutáneas, hiperexcitabilidad, inflamación y cirrosis. El HCB provoca efectos adversos en la reproducción y los tejidos reproductivos, interfiere en la síntesis de hormonas esteroides ováricas y causa problemas renales y en las glándulas tiroideas y paratiroides.

La OMS ha establecido una ingesta diaria admisible de 0,16 mg/kg de peso corporal y día, sobre la base de los efectos cancerígenos, a partir de la cual ha establecido un contenido máximo de 1 mg/l en el agua de consumo humano (IPCS, 1997).¹

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos ha establecido, teniendo en cuenta los efectos hepáticos adversos, una dosis oral de referencia de 0,08 mg/kg y día (US EPA, 1991).²

La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer clasifica el HCB como posible carcinógeno humano (grupo 2B), basándose en los efectos carcinógenos observados en animales de experimentación (IARC, 2001).³

9.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ALIMENTOS

Las concentraciones detectadas en los diferentes grupos de alimentos analizados se presentan en la tabla 9.1. Las concentraciones más altas se han encontrado en el grupo de los aceites y grasas, como la mantequilla y el aceite de oliva (860 y 195 ng/kg de peso fresco, respectivamente), y en el grupo de los derivados lácteos, como el queso tipo 2 (manchego y similares) y el queso tipo 3 (porciones, brie y similares), con 435 y 380 ng/kg, respectivamente.

Las concentraciones más bajas se detectan en las legumbres (1,67 ng/kg), las frutas (1,87 ng/kg) y las verduras y hortalizas (4,87 ng/kg de peso fresco).

¹ Hexachlorobenzene in drinking-water. Background for development of WHO guidelines for drinking water quality. OMS, 2004.

² Hexachlorobenzene. Integrated Risk information System. US EPA, 1991.

³ Hexachlorobenzene. IARC, vol. 79, 2001.

Tabla 9.1. Concentración de HCB en los alimentos

	Concentración de HCB
Carne y derivados	83,43
Pescado y marisco	170,27
Verduras y hortalizas	4,87
Tubérculos	8,90
Frutas	1,87
Huevos	38,00
Leche	11,65
Derivados lácticos	224,70
Pan y cereales	10,53
Legumbres	1,67
Aceites y grasas	297,31
Bollería	47,83

En ng/kg de peso fresco

9.2. CONTRIBUCIÓN DE LOS ALIMENTOS A LA INGESTA

La ingesta diaria estimada de hexaclorobenceno para un hombre adulto se cifra en 37,70 ng/día. El aceite de oliva, el queso tipo 2 (manchego y similares) y el bistec de ternera son los alimentos que más contribuyen a la ingesta de hexaclorobenceno, con 4,70 ng/día, 3,07 ng/día y 2,75 ng/día, respectivamente.

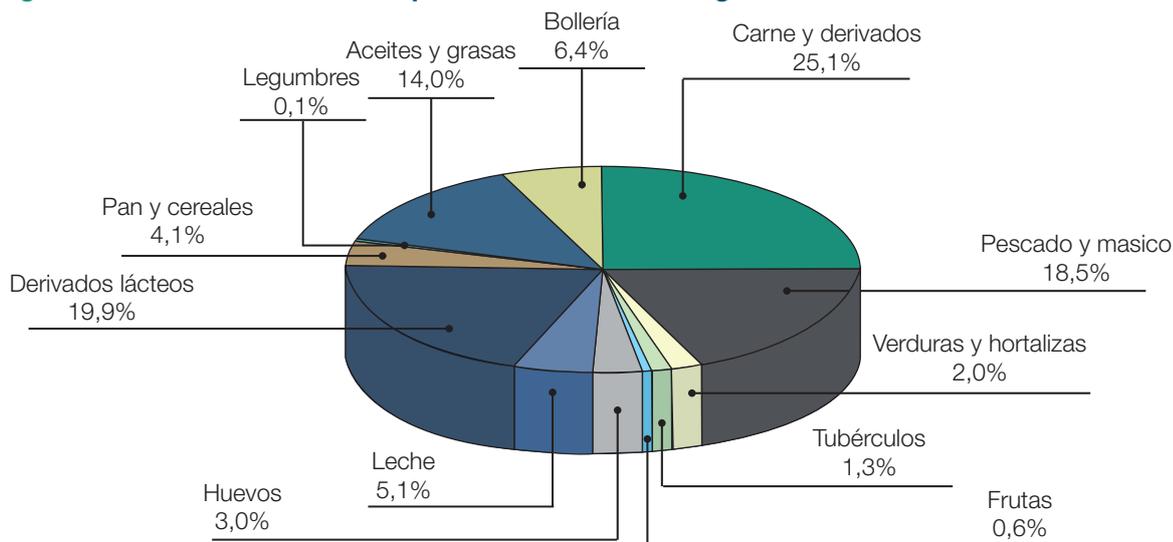
En la tabla 9.2 se muestra el resumen de la ingesta diaria de hexaclorobenceno para un hombre adulto y por grupos de alimentos. Los que más contribuyen a la ingesta son la carne y derivados, seguidos por el grupo de derivados lácteos y aceites y grasas.

Tabla 9.2. Ingesta diaria de HCB en un hombre adulto

	Consumo de alimento g/día	Ingesta de HCB ng/día
Carne y derivados	171,9	9,97
Pescado y marisco	67,53	5,76
Verduras y hortalizas	159,7	0,78
Tubérculos	73,06	0,54
Frutas	193,6	0,23
Huevos	31,29	1,19
Leche	128,4	2,03
Derivados lácticos	75,62	7,93
Pan y cereales	224,3	1,62
Legumbres	30,36	0,05
Aceites y grasas	27,16	5,57
Bollería	45,45	2,53
Total de alimentos considerados	1228	39,13

En la figura 9.1 se presenta el porcentaje de contribución de los diferentes tipos de alimentos a la ingesta diaria de hexaclorobenceno. Se observa como la contribución de la carne y derivados es del 25,1%, la de los derivados lácteos del 19,9%, la de aceites y grasas del 14,0% y la del pescado y marisco del 18,5%. Estos cuatro grupos representan el 77,5% de la ingesta.

Figura 9.1. Contribución del tipo de alimento a la ingesta diaria de HCB



9.3. INGESTA DIARIA ESTIMADA POR GRUPOS DE POBLACIÓN

La tabla 9.3. muestra la ingesta estimada de hexaclorobenceno para los diferentes grupos de población, según edad y sexo.

El grupo de población con una ingesta estimada de hexaclorobenceno más alta, derivada del consumo de alimentos, es el de los niños y niñas (61,13 ng/día), seguido por el de las chicas adolescentes (39,37 ng/día), mientras que el grupo con una ingesta diaria más baja es el de las mujeres de más de 65 años (30,46 ng/día).

Tabla 9.3. Ingesta diaria estimada de HCB en los diferentes grupos de población. Valor correspondiente al total de alimentos considerados

Grupos de población	Ingesta de HCB
Hombres	39,78
Mujeres	34,79
Niños y niñas	61,13
Chicos adolescentes	39,95
Chicas adolescentes	33,30
Hombres mayores de 65 años	32,41
Mujeres mayores de 65 años	29,70

En ng/día

9.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO

9.4.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos

En la tabla 9.4 se muestra la ingesta diaria estimada de hexaclorobenceno por consumo de alimentos en los diferentes grupos de población, expresada en función del peso corporal.

Tabla 9.4. Ingesta de HCB relativa al peso corporal

Grupos de población	Ingesta de HCB
Hombres	0,57
Mujeres	0,63
Niños y niñas	2,55
Chicos adolescentes	0,71
Chicas adolescentes	0,62
Hombres mayores de 65 años	0,50
Mujeres mayores de 65 años	0,49

En ng/kg/día

Para evaluar la ingesta de hexaclorobenceno aportada por los alimentos se ha tenido en cuenta el método del margen de exposición, y se ha comparado con la dosis oral de referencia establecida por la EPA (0,08 mg/kg/día) y la ingesta diaria admisible establecida por la OMS (0,16 mg/kg/día). Como se puede ver en la tabla 9.5, la ingesta para un hombre adulto es doscientos ochenta veces más baja, si se considera el valor de referencia de la OMS, y ciento cuarenta y cinco mil veces inferior si se considera el valor de la EPA.

Tabla 9.5. Margen de exposición (MOE) según los valores de referencia de la OMS y la EPA

Grupos de población	MOE _{OMS}	MOE _{EPA}
Hombres	280,7	$1,45 \cdot 10^5$
Mujeres	254	$1,26 \cdot 10^5$
Niños y niñas	62,75	$0,31 \cdot 10^4$
Chicos adolescentes	225	$1,12 \cdot 10^5$
Chicas adolescentes	258	$1,29 \cdot 10^5$
Hombres mayores de 65 años	320	$1,60 \cdot 10^5$
Mujeres mayores de 65 años	326,5	$1,26 \cdot 10^5$

En ng/kg/día

Se observa un amplio margen de exposición en todos los grupos de población, tanto si se considera el valor de referencia de la OMS como el de la EPA.

9.4.2. Evaluación probabilística de la exposición

En la tabla 9.6 se presentan los resultados de la evaluación probabilística de la exposición al hexaclorobenceno asociada a la dieta.

Tabla 9.6. Ingesta relativa de HCB por grupos de población. Distribución de los valores de exposición e influencia de algunas incertezas

Grupos de población	Variabilidad						Incerteza c*Q					
	mediana	DE	P50	P75	P90	P95	mediana	DE	P50	P75	P90	P95
Hombres	0,59	0,17	0,57	0,68	0,81	0,90	0,60	0,20	0,57	0,71	0,85	0,96
Mujeres	0,71	0,24	0,67	0,82	1,00	1,13	0,72	0,27	0,68	0,84	1,03	1,18
Chicos adolescentes	0,80	0,23	0,77	0,92	1,08	1,18	0,82	0,26	0,78	0,95	1,13	1,27
Chicas adolescentes	0,76	0,24	0,72	0,89	1,07	1,21	0,77	0,27	0,73	0,91	1,12	1,27
Hombres mayores de 65 años	0,51	0,16	0,49	0,61	0,73	0,81	0,52	0,19	0,49	0,62	0,76	0,86
Mujeres mayores de 65 años	0,56	0,19	0,53	0,66	0,80	0,90	0,56	0,21	0,53	0,67	0,83	0,95
TOTAL	0,65	0,21	0,62	0,76	0,92	1,03	0,66	0,24	0,63	0,78	0,96	1,09

En ng/kg/día

En ningún caso, ni cuando se considera la variabilidad ni en el peor escenario razonable que se crea al tener en cuenta las incertidumbres asociadas a los datos de consumo y de concentración, se observa que la exposición calculada supere la dosis oral de referencia establecida por la EPA (0,08 mg/kg/día) y la ingesta diaria establecida por la OMS (0,16 mg/kg/día). El percentil 95 (alto) de la población ingiere entre 0,86 y 1,27 ng/kg/día, según el grupo de población considerado.

9.5. EVOLUCIÓN DESDE EL AÑO 2000 AL 2008

9.5.1. Concentración

Las figuras 9.2a y 9.2b muestran la comparación de las concentraciones medias de hexaclorobenceno entre los tres estudios realizados. Se detecta una disminución de la concentración en la mayoría de grupos, bastante destacable en el grupo de las legumbres (89%) y en el de los huevos (78%). El único aumento de la concentración se da en el grupo de los tubérculos, en el cual la concentración aumenta un 16% respecto al estudio del 2005.

Figura 9.2a. Concentración media de HCB en alimentos. Comparación 2000-2005-2008

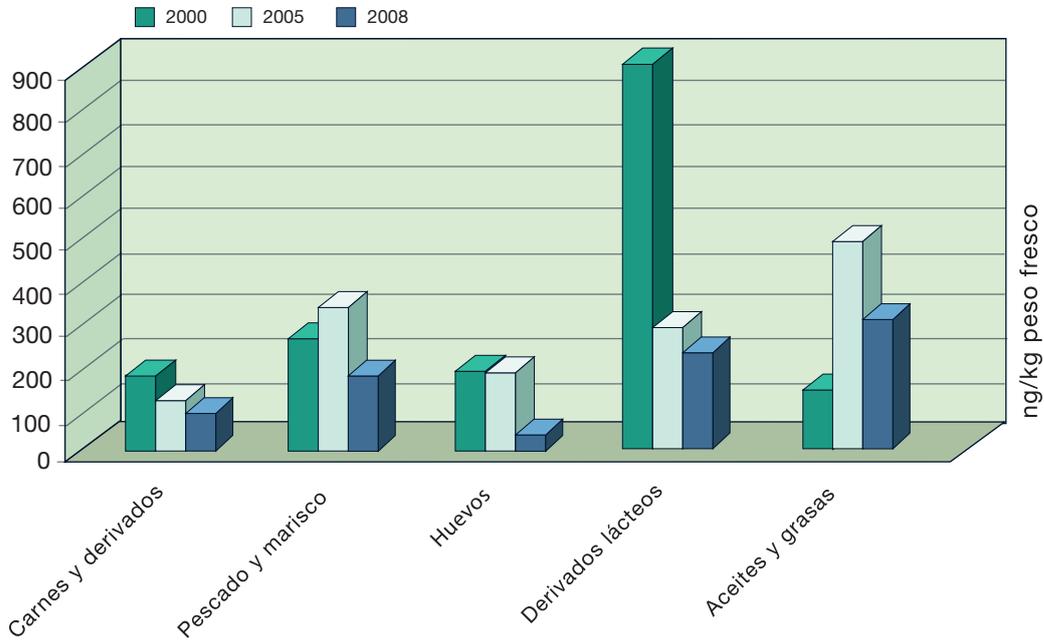
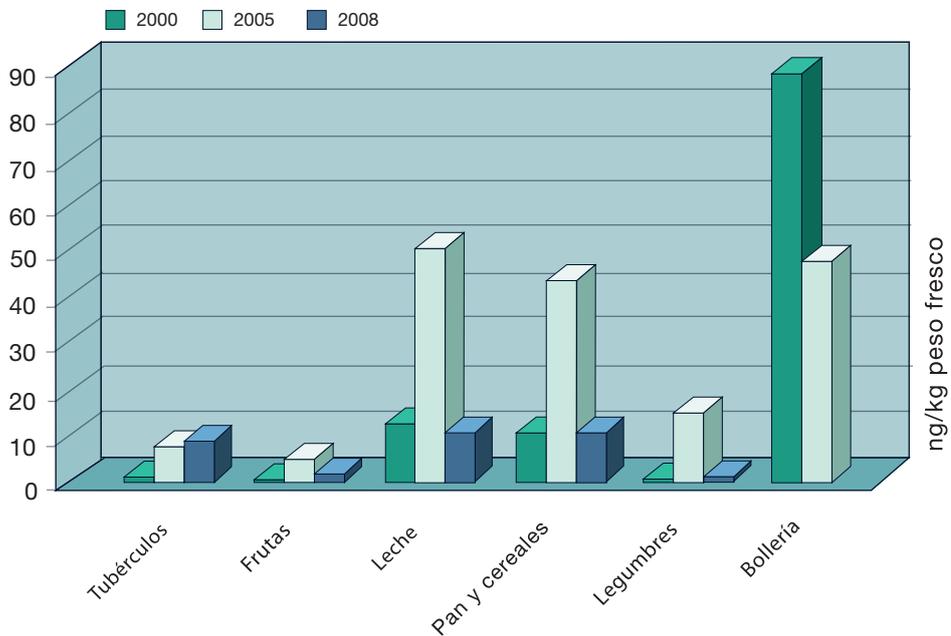


Figura 9.2b. Concentración media de HCB en alimentos. Comparación 2000-2005-2008



9.5.2. Ingesta

La tabla 9.6 muestra la evolución de la ingesta de hexaclorobenceno entre los tres estudios de dieta total, tomando como referencia el hombre adulto. Como se puede observar, el descenso es muy notable y general (44%). La ingesta total de hexaclorobenceno estimada para una persona estándar es de 39,78 ng/día, un valor bastante más bajo que en los estudios anteriores, en los que se estimaron ingestas de 166,2 y 71,62 ng/día, los años 2000 y 2005, respectivamente. Cabe destacar el descenso importante de la ingesta en el caso de las legumbres (88%) y el pan y cereales (84%).

Tabla 9.6. Evolución de la ingesta de HCB desde el año 2000 al 2008

	Consumo de alimento g/día		Ingesta de HCB ng/día		
	2000	Encat 2003	2000	2005	2008
Carne y derivados	185	171,9	31,98	12,83	9,97
Pescado y marisco	92	67,53	23,59	14,70	7,35
Verduras y hortalizas	226	159,7	1,31	0,94	0,78
Tubérculos	74	73,06	0,10	0,56	0,54
Frutas	239	193,6	0,17	1,05	0,23
Huevos	34	31,29	6,26	5,47	1,19
Leche	217	128,4	2,80	7,57	2,03
Derivados lácticos	106	75,62	92,15	8,74	7,93
Pan y cereales	206	224,3	2,19	10,17	1,62
Legumbres	24	30,36	0,01	0,42	0,05
Aceites y grasas	41	27,16	5,61	4,50	5,57
Bollería	-	45,45	-	4,68	2,53
Total de alimentos considerados	1444	1228	166,2	71,62	39,78

9.6. OTROS ESTUDIOS

En la tabla 9.7 se presentan los datos de algunos estudios similares de todo el mundo. A pesar de la dificultad de las comparaciones, debido a las diversas metodologías y diseños de estudio utilizados, estos datos nos permiten situar Cataluña respecto a los otros países.

Tabla 9.7. Ingesta diaria de HCB y comparación con otros estudios

País	ng/día	Autores
Cataluña	40	Este estudio
Suecia	77	Törnkvist et al., 2011
Rusia	259	Polder et al., 2010
EE. UU.	405	Johnson-Restrepo et al., 2007
Japón	114	Darnerud et al., 2006
China	11,4	Yang et al., 2006
Cataluña	72	Estudio 2005
China	560	Nakata et al., 2002
Cataluña	166	Estudio 2000
País Basc	203	Urieta et al., 1996
Países Bajos	98-217	Brussaard et al., 1996
Suecia	350	Vaz et al., 1995
Australia	280	Kannan et al., 1994
India	126	Kannan et al., 1992
Inglaterra	210	Burton et al., 1987
Países Bajos	1001	Greve et al., 1986
Finlandia	1694	Moilanen et al., 1986