



# 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

© Generalitat de Catalunya. Departamento de Salud

Edita: Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria

Diseño y maquetación: Motive

## Abreviaturas

### Elementos y compuestos

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

### Organismos internacionales

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

### Otras abreviaturas

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

# Índice

<b>1. Introducción</b>	6
<b>2. Objetivos</b>	7
<b>3. Material y métodos</b>	8
3.1. TIPO DE ESTUDIO	8
3.2. SELECCIÓN DE LOS CONTAMINANTES	8
3.3. SELECCIÓN DE ALIMENTOS	8
3.4. TOMA DE MUESTRA Y PREPARACIÓN	10
3.5. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS	11
3.5.1. Metales	11
3.5.2. Contaminantes orgánicos	11
3.6. GRUPOS DE POBLACIÓN ESTUDIADOS	13
3.7. DATOS SOBRE CONSUMO DIARIO DE ALIMENTO	14
3.8. ESTIMACIÓN DE LA INGESTA DIARIA DE UN CONTAMINANTE	16
3.9. ESTIMACIÓN DE RESULTADOS INFERIORES AL LÍMITE DE DETECCIÓN	16
3.10. EVALUACIÓN DEL RIESGO	16
3.10.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos	16
3.10.2. Evaluación probabilística de la exposición	17
3.11. EVOLUCIÓN 2000-2005-2008	21
<b>4. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)</b>	22
4.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LOS ALIMENTOS	22
4.2. CONTRIBUCIÓN DE LOS ALIMENTOS A LA INGESTA	24
4.3. INGESTA DIARIA ESTIMADA POR GRUPOS DE POBLACIÓN	26
4.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO	27
4.4.1. Comparación con los niveles de seguridad establecidos	27
4.4.2. Evaluación probabilística de la exposición	29
4.5. EVOLUCIÓN 2000-2005-2008	30
4.5.1. Concentración	30
4.5.2. Ingesta	32
4.6. OTROS ESTUDIOS	33

# 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 HNO<sub>3</sub> (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: <sup>13</sup>C<sup>12</sup>-PCB, <sup>13</sup>C<sup>6</sup>-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  $\mu\text{L}$ , 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 alícuotaron con 4 ml de solución tampón de acetato, 8 ml de MeOH (lavado y 2 ml al 2% de  $\text{NH}_4$  en MeOH para recoger fracciones del blanco. La fracción blanco se alícuotó en tubos de 15 ml de PP con 25 mg de EnviCarb y 50  $\mu\text{l}$  de ácido acético glacial. Después se mezclaron, la fracción blanco se filtró (con filtro de nilón de 2  $\mu\text{m}$ ) y se evaporó con nitrógeno.

El volumen final se fijó en 500  $\mu\text{l}$  incluyendo  $^{13}\text{C}_5$ - etiquetado como PFNA añadido como estándar, y 300  $\mu\text{l}$  de 2 mM de acetato de sodio con agua. Un total de 15  $\mu\text{l}$  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  $\text{C}_{18}$  (150 x 2.1 mm, 5 $\mu\text{m}$ ). 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.

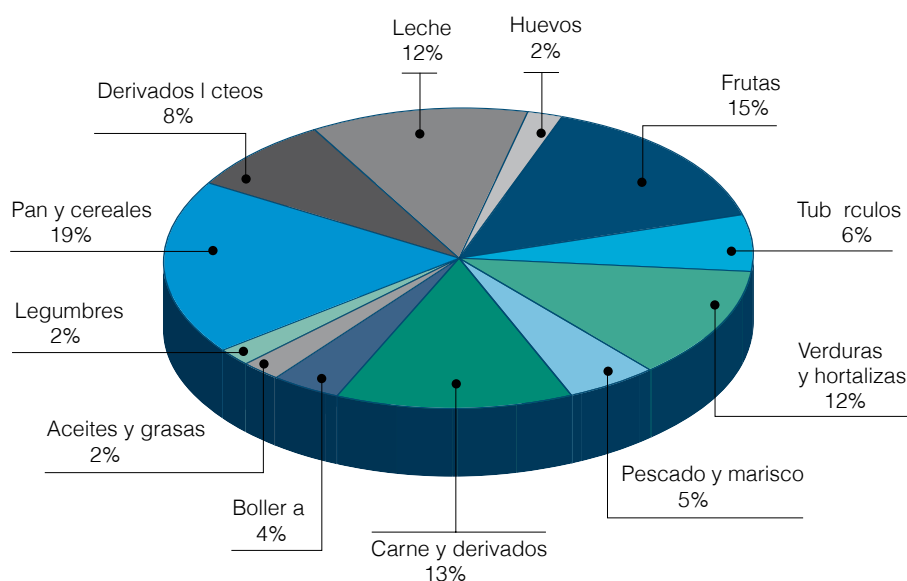
**Tabla 3a. Consumo de alimentos en población infantil entre 6 y 9 años (EnKid)**

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 =  $\Sigma$  (concentración del contaminante  $\times$  cantidad de alimento ingerido)

O bien, expresado por unidad de peso corporal:

Ingesta diaria =  $\Sigma$  (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 $\mu$ 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.

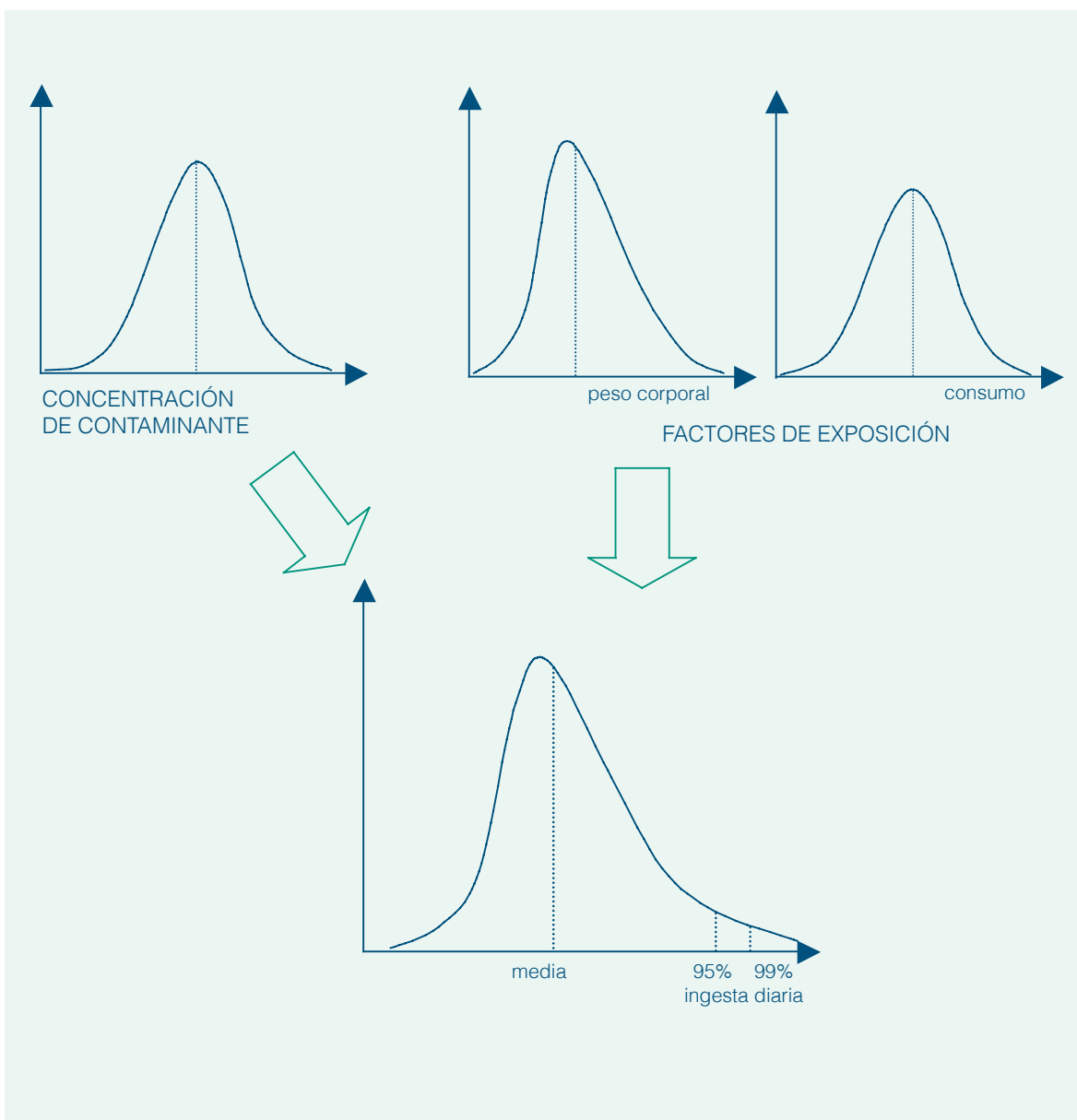
Los valores de  $C_{fg}$  se han calculado a partir de las concentraciones individuales de los alimentos que forman el grupo de alimentos y la "composición" de cada grupo de alimentos:

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

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
<b>Objetivos de la evaluación de la exposición</b>	Ambigüedad, imprecisión	NC		
<b>Escenario de exposición</b>	Ambigüedad, imprecisión	NC		
	Extrapolación	Cambios de hábitos alimentarios	+/-	--
	Factores excluidos	Alimentos no considerados Efectos del cocinado Variabilidad geográfica	+/- ++/-- +/-	+/- - --
<b>Modelo de exposición</b>	Ambigüedad, imprecisión	NC		
	Estructura del modelo	Aproximaciones 1 a 5	+/-	+/-
	Extrapolación	NC		
	Factores excluidos	Biodisponibilidad	++	-
<b>Inputs del modelo</b>				
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	+++/--	---
<b>Cumplimiento de la evaluación de la exposición</b>	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
<b>TOTAL</b>	<b>1,34</b>	<b>0,25</b>	<b>1,22</b>	<b>1,52</b>	<b>1,95</b>	<b>2,02</b>	<b>1,50</b>	<b>0,35</b>	<b>1,45</b>	<b>2,01</b>	<b>2,22</b>	<b>2,56</b>

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**

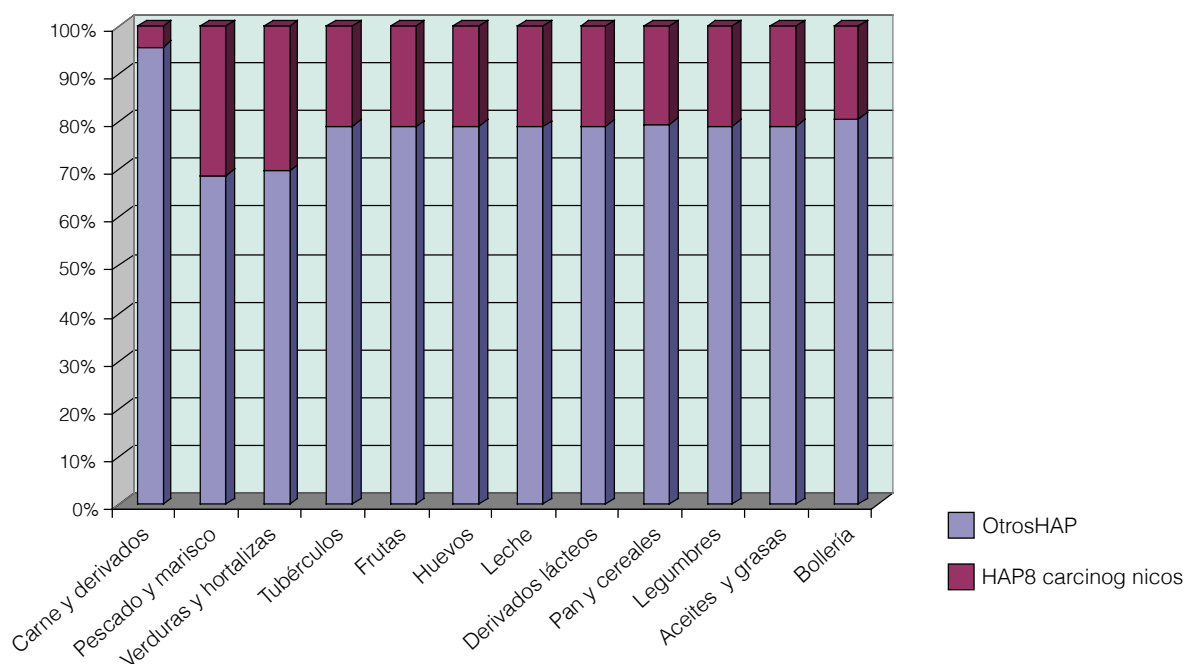
	Carnes y derivados	Pescado y marisco	Verduras y hortalizas	Tubérculos	Fruta	Huevos	Leche	Derivados lácteos	Pan y cereales	Legumbres	Aceites y grasas	Bollería
Naftaleno	2,48	0,44	0,27	0,24	0,27	1,20	0,16	2,49	0,41	0,50	6,25	0,41
Acenaftileno	2,10	0,11	0,05	0,05	0,05	0,24	0,03	0,50	0,08	0,10	1,23	0,08
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
<b>HAP total</b>	<b>38,99</b>	<b>2,64</b>	<b>1,22</b>	<b>0,73</b>	<b>0,81</b>	<b>3,62</b>	<b>0,47</b>	<b>7,57</b>	<b>1,27</b>	<b>1,50</b>	<b>18,75</b>	<b>1,43</b>
<b>Suma HAP8</b>	<b>1,71</b>	<b>0,82</b>	<b>0,37</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	<b>0,76</b>	<b>0,10</b>	<b>1,58</b>	<b>0,26</b>	<b>0,31</b>	<b>3,92</b>	<b>0,28</b>

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.

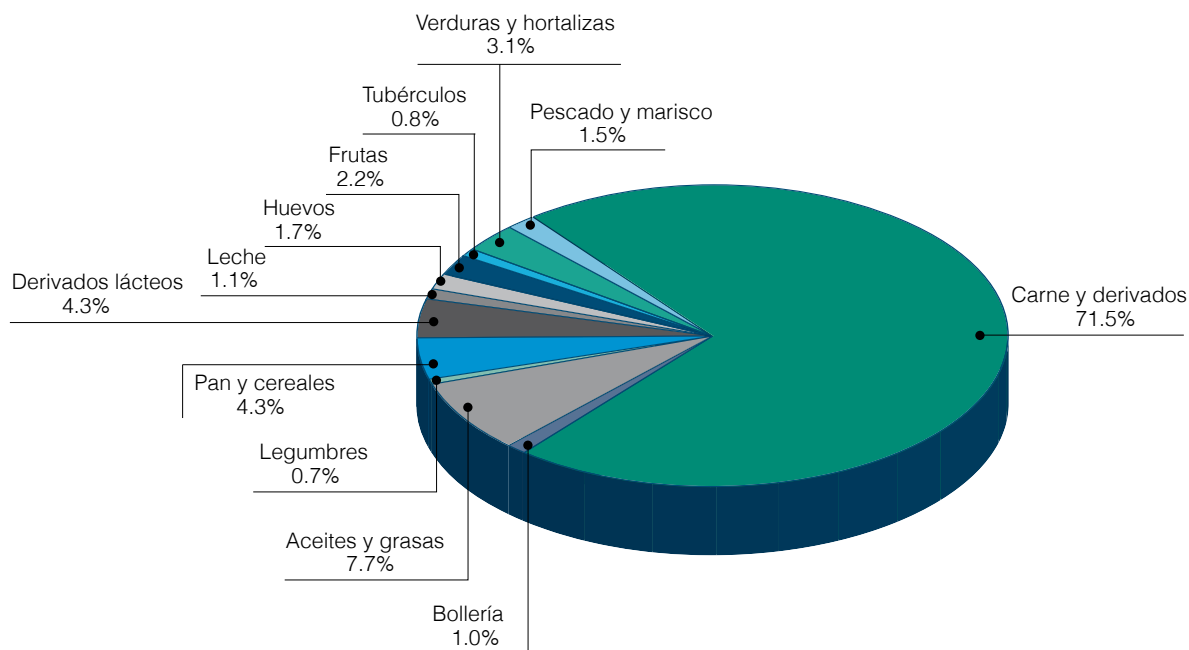
**Tabla 2. Ingesta diaria estimada de HAP. Resumen por grupos de alimentos**

	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
<b>Total alimentos estudio</b>	<b>1102</b>	<b>5.850</b>	<b>570,1</b>	<b>66,18</b>
<b>Total alim. considerados</b>	<b>1284</b>	<b>6.640</b>	<b>644,5</b>	<b>74,92</b>

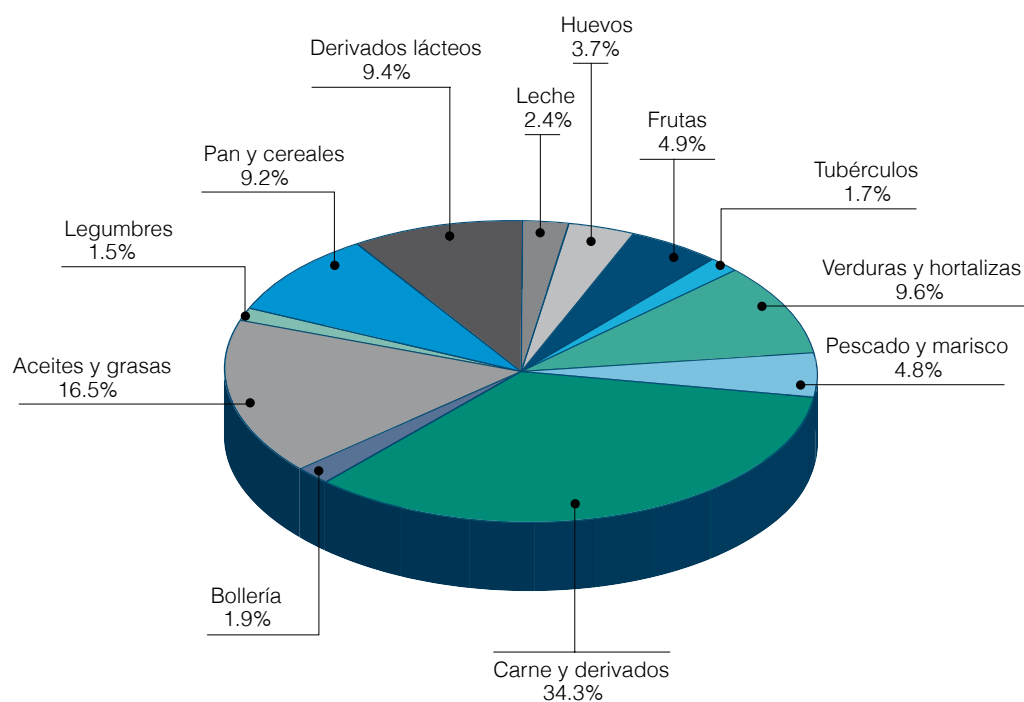
En las figuras 2, 3 y 4 se representan los porcentajes de contribución de los diferentes alimentos a la ingesta diaria estimada de HAP totales, d'HAP8 y de B(a)p.

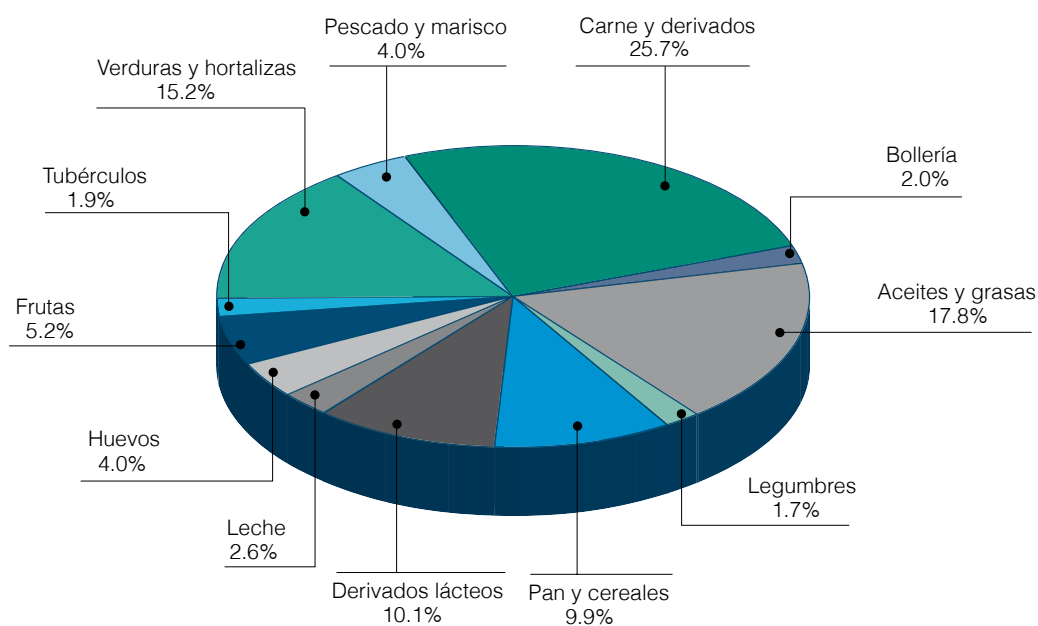
Se puede comprobar que, tanto en HAP totales, como en HAP8 o B(a)p, la carne y derivados es el grupo que más aporta.

**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 BMDL<sub>10</sub> 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 BMDL<sub>10</sub> 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 BMDL<sub>10</sub> 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 BMDL<sub>10</sub>. El valor de BMDL<sub>10</sub> 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
<b>TOTAL</b>	<b>84,8</b>	<b>74,5</b>	<b>61,8</b>	<b>104,1</b>	<b>169,8</b>	<b>220,9</b>	<b>87,7</b>	<b>78,9</b>	<b>64,4</b>	<b>107,3</b>	<b>172,5</b>	<b>230,6</b>

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
<b>TOTAL</b>	<b>9,50</b>	<b>3,55</b>	<b>8,77</b>	<b>10,96</b>	<b>13,70</b>	<b>15,89</b>	<b>9,56</b>	<b>3,93</b>	<b>8,79</b>	<b>11,15</b>	<b>14,10</b>	<b>16,55</b>

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

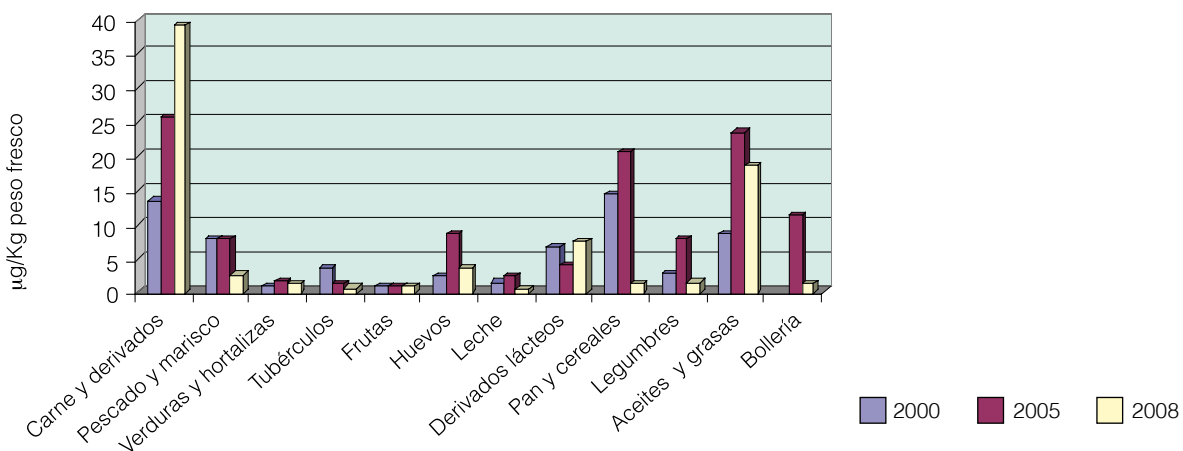
En las figuras 5, 6 y 7 se muestran las comparaciones de las concentraciones medias de HAP totales, HAP8 y B(a)p halladas en los tres estudios de dieta total en Cataluña.

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.

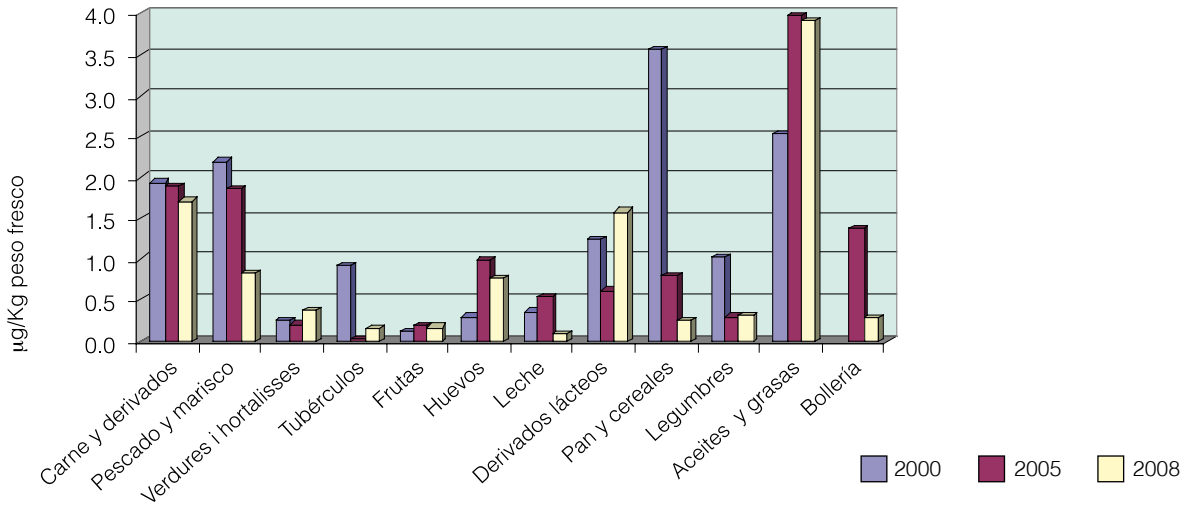
Respecto a los HAP8 se observa una tendencia a la disminución de las concentraciones en carne y derivados, pescado i mariscos, leche, pan y cereales y bollería. En cambio, se detectan subidas en los valores de verduras, derivados lácteos y aceites y grasas.

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.

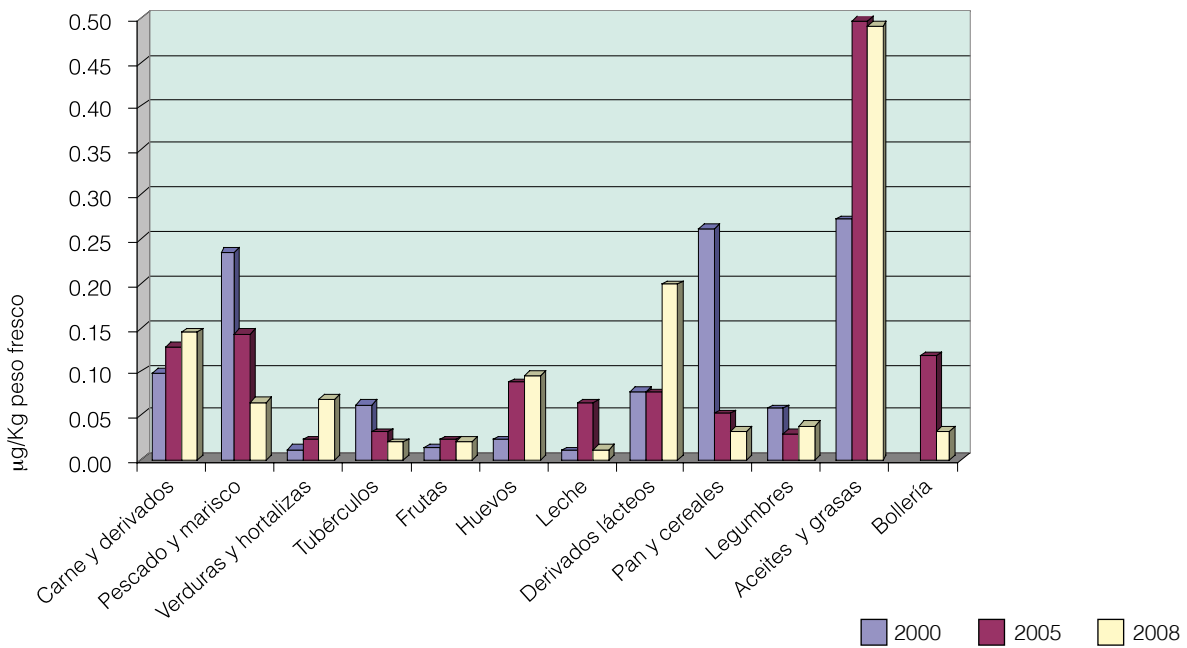
**Figura 5. Comparación de las concentraciones medias de HAP total 2000-2005-2008**



**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
<b>Total alimentos considerado</b>	<b>1444</b>	<b>1228</b>	<b>8,42</b>	<b>12,04</b>	<b>6,64</b>	<b>1799</b>	<b>939,2</b>	<b>644,5</b>	<b>128,6</b>	<b>89,29</b>	<b>74,9</b>

#### 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

