

2015

Elements traça en els aliments. Estudi de dieta total a Catalunya



Generalitat de Catalunya
Departament de Salut



Aquesta publicació s'ha elaborat a partir de l'estudi dirigit pels professors Josep L. Domingo Roig, de la Universitat Rovira i Virgili, i Joan M. Llobet Mallafré, de la Universitat de Barcelona, fruit del conveni de col·laboració entre el Departament de Salut i la Universitat Rovira i Virgili per a la investigació de la ingesta dietètica de contaminants químics en la població de Catalunya.

Direcció:

Carme Chacón Villanueva

Agència Catalana de Seguretat Alimentària

Autors:

Victòria Castells Garralda, Emilio Vicente Tascón

Agència Catalana de Seguretat Alimentària

Jesús Gómez Catalán, Joan M. Llobet Mallafré

Grup de Recerca en Toxicologia i Centre de Recerca en Toxicologia (GRET-CERETOX, INSA-UB)

Universitat de Barcelona. Parc Científic de Barcelona

Gemma Perelló Berenguer, Martí Nadal Lomas

Laboratori de Toxicologia i Salut Mediambiental, TECNITOX

Universitat Rovira i Virgili (Tarragona)

Col·laboradors:

Isabel Timoner Alonso, Anna Palou Soler, Alfons Vázquez Obiols, José Vicente Fernández García, Paqui Morales Romero

Agència Catalana de Seguretat Alimentària

Disseny: Alexander Reichardt, Uli Hake

© 2015, Generalitat de Catalunya. Departament de Salut



Els continguts d'aquesta obra estan subjectes a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObresDerivades 3.0 de Creative Commons. La llicència es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>.

Edita:

Agència de Salut Pública de Catalunya

1a edició:

Barcelona, octubre de 2015

URL:

Abreviacions

Elements i compostos

Cu	Coure
Mo	Molibdè
Se	Seleni
Zn	Zinc

Organismes internacionals

ATSDR	Agència per a Substàncies Tòxiques i el Registre de Malalties (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
EFSA	Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (European Food Safety Authority)
EPA	Agència de Protecció Mediambiental dels Estats Units (United States Environmental Protection Agency)
IARC	Agència Internacional de Recerca sobre el Càncer (International Agency for Research on Cancer)
JECFA	Comitè Mixt FAO-OMS d'Experts en Additius Alimentaris (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)
OMS	Organització Mundial de la Salut
SCF	Comitè Científic de l'Alimentació Humana (Scientific Committee on Food)

Altres abreviacions

BMDL	Benchmark dose
LOAEL	Nivell inferior sense observació d'efectes adversos
LOD	Límit de detecció tècnica analítica
IDA	Ingesta diària admissible
IDMPT	Ingesta diària màxima provisional tolerable
IDT	Ingesta diària tolerable
IMPT	Ingesta mensual provisional tolerable
ISPT	Ingesta setmanal provisional tolerable
MOE	Marge d'exposició
ND	No detectat
RfD	Dosi de referència
UL	Ingesta màxima

Índex

1	Introducció.....	5
2	Objectius	6
3	Material i mètodes.....	7
4	Coure.....	15
5	Seleni	23
6	Zinc.....	32
7	Molibdè.....	42

1 Introducció

El coneixement de la contaminació eventual i de la composició en nutrients dels aliments és la principal eina de la seguretat alimentària. Aquest coneixement s'assoleix per mitjà dels estudis de dieta total, els quals permeten determinar els nivells d'exposició dels consumidors als contaminants presents en la seva dieta. També permeten avaluar si la ingesta de determinats minerals necessaris per al bon funcionament del cos és adequada i identifiquen els aliments que aporten més minerals i que contribueixen més a l'esmentada exposició.

Un estudi de dieta total consisteix a saber quins aliments es mengen i en quina quantitat per cada grup de població. Després es tria una sèrie d'aliments, que són molt consumits, es compren en diferents establiments alimentaris minoristes i s'analitzen per conèixer el contingut de substàncies contaminants o nutrients. Com que l'estudi tracta d'elements traça, convé incloure també l'aigua de consum, ja que conté elements traça de manera natural i, per tant, podria influir en el resultat. Finalment, es relacionen el contingut de la substància analitzada amb el consum de l'aliment i el grup de població per estimar una ingesta, la qual es compara amb un valor de seguretat per determinar si hi ha risc o no per a la salut.

Aquest estudi s'ha fet amb els aliments seleccionats en l'estudi de dieta total de 2008 i té l'objectiu d'avaluar el risc per a la salut de la ingesta de tretze elements químics: alumini (Al), antimoni (Sb), bari (Ba), bismut (Bi), coure (Cu), crom (Cr+3), estronci (Sr), germani (Ge), manganès (Mn), níquel (Ni), molibdè (Mo), seleni (Se) i zinc (Zn). Cinc d'aquests tretze es consideren micronutrients (coure, manganès, molibdè, seleni i zinc). En el cas del crom (III), no és clar quin paper té com a micronutrient, i n'hi ha sis que són exclusivament contaminants (alumini, antimoni, bari, bismut, germani i níquel).

2 Objectius

L'objectiu general d'aquest estudi ha estat estimar la ingesta dietètica d'elements traça d'alumini (Al), antimoni (Sb), bari (Ba), bismut (Bi), coure (Cu), crom (Cr+3), estronci (Sr), germani (Ge), manganès (Mn), níquel (Ni), molibdè (Mo), seleni (Se) i zinc (Zn) de la població de Catalunya i avaluar-ne els riscos per a la salut.

Els objectius específics són els següents:

- Determinar la concentració d'alumini (Al), antimoni (Sb), bari (Ba), bismut (Bi), coure (Cu), crom (Cr), estronci (Sr), germani (Ge), manganès (Mn), níquel (Ni), molibdè (Mo), seleni (Se) i zinc (Zn) en els aliments més consumits a Catalunya.
- Estimar el nivell d'exposició de la població catalana als metalls estudiats a través de la dieta.
- Comparar els nivells d'exposició de la població de Catalunya amb els obtinguts en altres estudis de diversos països.
- Avaluar el risc per a la salut que aquesta exposició representa.

3 Material i mètodes

3.1 Tipus d'estudi

Aquest estudi parteix del disseny de les edicions precedents i, per tant, també segueix les directrius marcades per l'Organització Mundial de la Salut (OMS).

Per executar-lo, s'utilitza una tècnica mixta que, basant-se en les característiques dels aliments individuals, incorpora aspectes dels estudis sobre el cistell d'anar a comprar i analitza mostres compostes formades per mescles homogènies i a parts iguals de diferents mostres individuals d'un mateix aliment.

3.2 Selecció dels contaminants

Els elements seleccionats per ser avaluats són els següents: alumini (Al), antimoni (Sb), bari (Ba), bismut (Bi), coure (Cu), crom (Cr), estronci (Sr), germani (Ge), manganès (Mn), níquel (Ni), molibdè (Mo), seleni (Se) i zinc (Zn).

3.3 Selecció d'aliments

S'han seleccionat els mateixos aliments analitzats en l'estudi de dieta total de 2008. Aquests aliments havien estat escollits tenint en compte les dades de consum de la població que s'havien obtingut en l'Enquesta sobre l'estat nutricional de la població catalana i avaluació dels hàbits alimentaris 2002-2003 (ENCAT 2002-2003). Els aliments analitzats es detallen a la taula 1.

Taula 1. Selecció d'aliments estudiats

Grup	Aliments	Grup	Aliments
1. Carn i derivats	vedella: bistec, hamburguesa porc: llom, llonganissa pollastre: pit xai: cuixa/costella pernil dolç salsitxa de Frankfurt xoriço pernil salat	7. Llet	llet sencera llet semidesnatada
2. Peix	sardina moll tonyina llenguado seitó sípia verat calamar emperador cloïssa salmó musclo lluç gamba conserva de sardina conserva de tonyina	8. Derivats làctics	iogurt natural formatge de tipus I, fresc formatge de tipus II, semicurat formatge de tipus III, curat
3. Vegetals	enciam tomàquet mongeta tendra coliflor ceba pebrot pastanaga albergínia	9. Pa i cereals	pa blanc pa de motlle arròs pasta alimentosa
4. Tubercles	patata	10. Llegums	llenties mongetes cigrans pèsols
5. Fruïtes	poma taronja pera plàtan mandarina maduixa préssec	11. Greixos	oli d'oliva oli de gira-sol margarina mantega
6. Ous	ous de gallina	12. Brioixeria	croissant galeta

3.4 Presa de mostres i preparació

La presa de mostres es va dur a terme en 12 localitats de Catalunya. El conjunt és representatiu del 72 % de la població catalana (aproximadament). Aquest percentatge correspon a la població que viu en localitats de més de 20.000 habitants i de caire clarament urbà (font de dades: IDESCAT, Institut d'Estadística de Catalunya).

Les poblacions agrupades per àmbits territorials són les següents: àmbit metropolità: Barcelona, l'Hospitalet de Llobregat, Vilanova i la Geltrú, Mataró, Sabadell i Terrassa; àmbit de les comarques gironines: Girona; àmbit del Camp de Tarragona: Tarragona i Reus; àmbit de les Terres de l'Ebre: Tortosa; àmbit de ponent: Lleida; àmbit de les comarques centrals: Manresa.

Al novembre i desembre de 2008, es van adquirir les mostres individuals de cada aliment. Es van distribuir a cada localitat de compra en un mínim de quatre establiments de dimensions diferents (mercat, botiga, supermercat petit, supermercat gran, gran superfície), per tal de diversificar al màxim l'origen de l'aliment adquirit, i de fer el mostreig tan representatiu com fos possible de tots els tipus de compradors. Les mostres que ho requerien es van transportar sempre refrigerades.

Les mostres compostes es van preparar seguint la mateixa metodologia que a l'estudi anterior (directrius de l'OMS):

- Es va formar una mostra composta amb 24 mostres individuals adquirides independentment.
- Es van netejar i separar les parts comestibles, crues, de les mostres individuals, amb les quals es prepara una mostra composta.
- Es va pesar a parts iguals cada mostra individual. Quan la mostra presentava parts molt diferenciades en textura, quantitat de greix, etc. (per exemple les diferents parts de les costelles de xai), es van incloure en la mostra composta de manera equilibrada totes les parts de cada peça individual.
- Es van triturar i homogeneïtzar les mostres amb robots de cuina, i es va tenir cura del tipus analític en la neteja entre mostres per evitar la contaminació encreuada. Es van barrejar i triturar porcions iguals en pes de les parts comestibles de carn i derivats, verdures, tubercles, fruites, ous (batuts), formatges, cereals, llegums, greixos (margarina, mantega i olis) i brioixeria, fins a obtenir una pasta o farina homogènia.
- Es van formar alíquotes en tubs de vidre de laboratori i es van conservar per congelació fins al moment de l'anàlisi.

Les mostres de iogurt, flam, formatges i llet, es van conservar en la forma original en una cambra freda. Es va preparar la mostra composta corresponent just abans de l'anàlisi.

Els olis es van conservar a temperatura ambient, resguardats de la llum, fins al moment de l'anàlisi, en què es van barrejar volums iguals de cada mostra unitària, es van repartir en les alíquotes corresponents i es va procedir tal com s'ha descrit.

En total es van processar 3.120 mostres individuals d'aliments.

3.5 Procediments analítics

La determinació de metalls es va dur a terme al Laboratori d'Espectroscòpia dels Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona. Els Serveis compleixen els estàndards de qualitat corresponents als components de la marca TECNIO, creada per ACCIÓ, i disposen de la certificació de qualitat ISO 9001:2008.

Aproximadament uns 0,5 g de mostra composta es van tractar amb 5 ml de HNO₃ (65 % Suprapur, E. Merck, Darmstadt, Alemanya) en bombes de tefló. Se'n va fer una predigestió a temperatura ambient durant 8 hores. Després,

les bombes es van escalfar a 80 °C durant 8 hores més. Un cop fredes, les solucions es van filtrar i enrasar a 25 ml amb aigua desionitzada. En aquestes dissolucions es va determinar els metalls utilitzant un aparell d'inducció de plasma acoblat amb detector de masses (ICP-MS, Perkin Elmer Elan 8000). Es va utilitzar rodi (Rh) com a estàndard intern, i la quantificació es va basar en l'isòtop més abundant.

3.6 Grups de població estudiats

Seguint les condicions marcades en els estudis anteriors, i d'acord amb les directrius de l'OMS (1985), en aquesta edició s'han estudiat els mateixos grups d'edat. Aquests grups reflecteixen, del conjunt de la població, aquells que es consideren com a individus estàndard.

En l'estudi actual, com en els tres darrers, es desglossen tots dos sexes en tots els grups d'edat perquè s'adeqüin a l'estructura de les dades de l'Enquesta sobre l'estat nutricional de la població catalana i avaluació dels hàbits alimentaris 2002-2003 (Serra-Majem *et al.*, 2003), en la qual s'observen diferències de consum d'aliments segons el sexe. A la taula 2 es presenten els grups de població estudiats i el pes corporal assumit per a cadascun.

Taula 2. Grups de població, intervals d'edat i pes

Grup	Edat (anys)	Pes corporal (kg)
Nens/nenes	De 4 a 9	24
Nois adolescents	De 10 a 19	56
Noies adolescents	De 10 a 19	53
Homes	De 20 a 65	70
Dones	De 20 a 65	55
Homes més grans de 65 anys	De 65 a 80	65
Dones més grans de 65 anys	De 65 a 80	60

3.7 Dades de consum diari d'aliments

En aquest estudi s'han utilitzat les dades de l'Enquesta sobre l'estat nutricional de la població catalana i avaluació dels hàbits alimentaris 2002-2003 (ENCAT 2002-2003).

Les dades relatives al consum (g/dia) dels diversos aliments i per als diferents grups d'edat considerats es presenten a les taules 3 i 4. A la figura 1 es presenta la distribució percentual corresponent als aliments consumits per un home adult.

Taula 3. Consum d'aliments en població infantil entre 6 i 9 anys (Enkid)

Grup d'aliments	g/dia	Grup d'aliments	g/dia
Carns	134,7	Derivats làctics	364,8
Verdures	34,33	Iogurt de soja	108,6
Tubercles	60,20	Cereals	155,9
Fruita	70,84	Llegums	22,29
Ous	196,6	Greixos	31,14
Llet	22,98	Brioixeria	48,25

Taula 4. Consum d'aliments considerats en diferents grups de població (ENCAT) (en g/dia)

ALIMENTS	Homes			Dones		
	10-19	20-65	65-80	10-19	20-65	65-80
Total carn i derivats	188,9	171,9	109,1	143,2	122,4	102,8
Total peix i marisc	45,0	67,5	73,3	45,4	65,0	55,6
Total verdures i hortalisses	91,0	159,7	176,2	99,6	182,4	162,5
Total tubercles	81,1	73,1	63,8	71,8	52,8	57,7
Total fruites	110,8	193,6	327,5	119,5	204,3	269,8
Total ous	25,8	31,3	23,5	22,7	23,2	20,2
Total llet	246,6	157,5	192,7	209,9	198,1	210,1
Total derivats làctics	110,0	101,3	71,8	99,8	97,8	77,2
Total iogurt de soja	0,0	1,4	0,0	0,0	0,5	0,0
Total pa i cereals	269,5	225,3	192,7	207,7	156,8	132,6
Total llegums	31,4	30,4	34,0	20,1	25,7	28,9
Total olis i greixos	24,0	27,2	26,6	21,3	24,6	23,7
Total brioixeria	81,7	45,5	22,6	61,0	41,2	26,0
Total considerat	1.306	1.285	1.314	1.122	1.195	1.167
Total analitzat	1.167	1.076	1.093	971	966	904

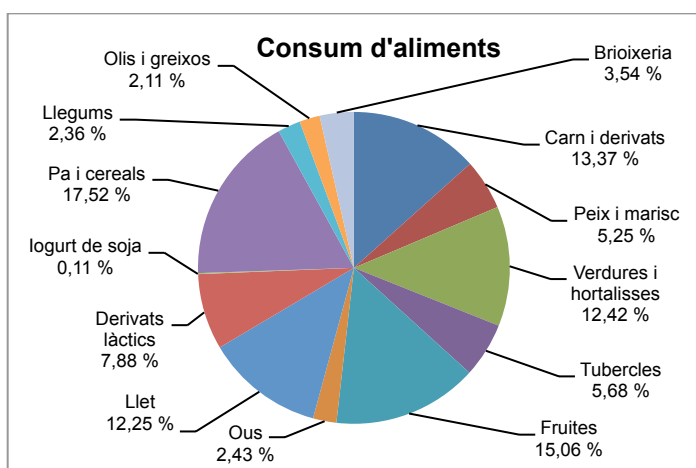


Figura 1. Distribució percentual de la ingesta diària d'aliments en un home adult

Cal destacar que, igual que en l'estudi anterior, en tots els grups d'edat i de manera no homogènia, hi ha un grup d'aliments presents a l'enquesta ENCAT que queden fora de l'estudi i que anomenem «Altres». Per exemple, en el grup de carn serien els següents: cansalada i costella de porc cruces, carn de porc a la graella, peus de porc a la planxa, ànec sencer rostit, colomí sense pell rostit, pit de gall dindi, gallina bullida, guatlla sencera i conill cru o estofat. Per valorar aquest tipus de dada, s'ha calculat el percentatge de representativitat de la nostra selecció prenent com a 100 % les dades totals per cada grup de l'enquesta ENCAT. Aquestes dades es mostren a la taula 5 i representen, pel que fa a determinats grups d'aliments, una millora substancial respecte a les de l'estudi anterior.

Taula 5. Representativitat de la selecció d'aliments analitzats, expressada en percentatge sobre el total del grup (ENCAT)

Aliments	Homes			Dones		
	10-19	20-65	65-80	10-19	20-65	65-80
Carn i derivats	93	87	87	91	88	83
Peix i marisc	85	78	76	88	78	70
Vegetals	90	81	79	86	80	70
Tubercles	100	100	100	100	100	100
Fruites	87	83	89	80	77	81
Ous	98	99	97	99	99	100
Llet	98	81	63	88	74	59
Derivats làctics	62	60	73	74	67	78
Cereals	98	98	98	97	96	97
Llegums	100	94	89	100	95	91
Olis i greixos	100	100	100	100	100	100
Brioixeria	49	31	23	41	33	28

3.8 Estimació de la ingesta diària

La ingesta d'un element a través del consum d'aliments es pot calcular si es multiplica la concentració de l'element en cada aliment individual per la quantitat diària ingerida d'aquest aliment, i se sumen tots els productes obtinguts.

Ingesta diària = Σ (concentració de l'element \times quantitat d'aliment ingerit)

O bé, expressat per unitat de pes corporal:

Ingesta diària = Σ (concentració de l'element \times quantitat d'aliment) / pes corporal

Encara que en l'estudi actual, tal com es pot observar a la taula anterior, s'ha millorat la representativitat dels aliments objecte d'anàlisi, no és possible analitzar-ne la totalitat. Per fer una estimació tan acurada com sigui possible, com en l'estudi anterior, s'ha calculat, per a cada contaminant, per a cada grup d'aliments i per a cada grup d'edat, la ingesta de contaminant corresponent com si el total considerat estigués format proporcionalment pels aliments analitzats.

A tall d'exemple, per la ingesta d'alumini d'un home adult a través del peix i el marisc:

Taula 6. Estimació del total d'alumini ingerit a través del peix i marisc

Aliment	Consum de peix (g/dia)	Ingesta d'alumini (μ g/dia)
Total d'espècies analitzades	52,94	249,9
Total de peix i marisc considerat	67,53	318,8

* ENCAT 2002-2003.

Cal tenir en compte aquestes aproximacions a la realitat a l'hora d'avaluar la ingesta diària i fer les comparacions amb els valors obtinguts en altres regions o països.

3.9 Estimació de resultats inferiors al límit de detecció

Pel que fa als resultats analítics dels metalls que estan per sota del límit de detecció de la tècnica analítica (LOD), seguint les recomanacions de l'OMS, es considera per al càlcul un valor igual a la meitat del LOD, de la mateixa manera que es va fer en estudis anteriors (ND = $\frac{1}{2}$ LOD).

3.10 Avaluació del risc

Per avaluar la seguretat de la ingesta de cada contaminant, s'estudiaran els valors obtinguts pel càlcul determinista, és a dir, sense tenir en compte la variabilitat de les magnituds considerades respecte als nivells de seguretat establerts o recomanats, en cas que n'hi hagi.

3.11 Evolució temporal

Es va fer un estudi temporal específic de l'exposició dietètica dels metalls estudiats, en què es va avaluar la tendència observada en els quatre períodes de temps. Cal tenir en compte que les dades de l'estudi de l'any 2000 són difícils de comparar amb les dels tres darrers per diverses raons, com ara la variació en les dades de consum alimentari emprades entre el primer i els estudis subsegüents o bé la incorporació d'aliments addicionals als grups en què calia millorar-ne la representativitat.

4 Coure

El coure (Cu) és un metall àmpliament distribuït a la natura i que forma part de la majoria d'organismes vius. Es troba en una àmplia varietat de sals minerals i compostos orgànics i, més escassament, com a coure metàl·lic. Té nombroses utilitats: des d'aplicacions industrials, químiques i farmacèutiques fins a l'elaboració de pigments, fungicides i insecticides, entre d'altres.

4.1 Aspectes nutricionals i metabolisme

4.1.1 Funcions

El coure és un element traça essencial per als éssers humans. Forma part de molts enzims, principalment oxidases, i proteïnes. El coure és necessari per al creixement del cos, per al bon manteniment del sistema immunitari i ossi, per al transport de ferro i per al metabolisme del colesterol i de la glucosa. També té una funció primordial, encara que no del tot coneguda, en l'angiogènesi, en la mielinització nerviosa i en l'acció de les endorfines.

4.1.2 Absorció i biodisponibilitat

El coure, com a Cu^{+2} , s'absorbeix (per difusió passiva i per transport actiu) principalment en el duodè, unit a proteïnes específiques. També s'absorbeix, en petites quantitats, a l'estómac. Sembla que els infants no poden absorbir aquest mineral amb la mateixa intensitat que els adults, per la qual cosa són freqüents els balanços negatius de coure en aquell grup de població.

El percentatge d'absorció de coure està fortament influenciat per la quantitat que se n'ingereix, de manera que l'absorció disminueix quan la ingesta d'aquest mineral és elevada, així com si la ingesta de ferro també ho és. Determinats aminoàcids i el citrat n'augmenten l'absorció, mentre que la fibra, els fitats, les ingestes elevades de zinc, calci, fòsfor i ferro i l'àcid ascòrbic en disminueixen l'absorció, així com el cadmi, el molibdè, la histidina i els aminoàcids sulfurats. La capacitat d'absorció màxima teòrica en dietes pobres de coure és de 63-67 %, mentre que en una dieta de tipus occidental l'absorció varia entre un 30 i un 40 %.

El coure gairebé no s'emmagatzema. En casos de dietes molt riques en coure, el mecanisme de regulació actua disminuint-ne l'absorció i augmentant-ne l'excreció.

4.1.3 Distribució i metabolisme

La distribució del coure té dues fases: la primera, fins al fetge, i la segona, cap a altres teixits. Després de ser absorbit en l'epiteli intestinal, el coure és transportat als hepatòcits, unit a l'albumina i a la transcuprina. Un cop en el fetge, s'incorpora a la ceruloplasmina, que el transportarà a altres teixits. La ceruloplasmina constitueix el principal sistema de transport del metall, de tal manera que el 92-94 % del coure plasmàtic en forma part.

El contingut corporal en l'adult oscil·la entre 50 i 150 mg. El fetge i la melsa són els òrgans que actuarien com a magatzem, malgrat que la capacitat de l'organisme d'emmagatzemar coure és més aviat escassa. El fetge en conté un 13 %, i el cervell, un 9 %, mentre que el contingut muscular s'aproxima al 40 %.

4.1.4 Excreció

El coure s'excreta bàsicament pel tracte intestinal, fonamentalment a través de la bilis. El coure que procedeix de la bilis s'absorbeix molt poc, i la circulació enterohepàtica és molt escassa. Només una petita proporció s'excreta per via urinària (menys d'un 3 %).

4.1.5 Ingestes recomanades

La ingesta diària recomanada de coure per a la població adulta a Europa és d'1 mg/dia, conformement al Reglament (UE) núm. 1169/2011. Als Estats Units, la recomanació per a adults és lleugerament més petita, 0,9 mg/dia; per a dones gestants, d'1 mg/dia; per a dones lactants, d'1,3 mg/dia; per a nens, de 0,44 mg/dia, i per a adolescents, de 0,8 mg/dia.

4.1.6 Fonts alimentàries

El coure es troba en una àmplia varietat d'aliments, especialment en vísceres, marisc, fruits secs i llegums. Els cereals integrals i la xocolata i derivats del cacau també són una bona font d'aquest mineral.

4.1.7 Deficiència

La deficiència de coure és molt rara i s'ha observat principalment en pacients sotmesos a llargs períodes d'alimentació parenteral, nens prematurs, nounats i nens desnodrits. També s'ha observat en persones amb síndrome de Menkes, una malaltia congènita. La simptomatologia clínica més freqüent inclou anèmia, neutropènia i anormalitats òssies. Amb menys freqüència es poden presentar hipopigmentació dels cabells, hipotonia, retard en el creixement, augment de la susceptibilitat a les infeccions, anormalitat en el metabolisme de la glucosa i del colesterol i canvis cardiovasculars.

4.2 Aspectes toxicològics i valors de referència

4.2.1 Vies d'exposició i toxicitat

La intoxicació aguda per via alimentària en éssers humans és molt infreqüent i es manifesta en el tracte gastrointestinal, generalment en forma d'irritació gàstrica, nàusees, dolor abdominal i diarrea. Aquesta irritació s'ha manifestat en individus que ingerien entre 2 i 32 mg diaris a través de l'aigua de consum. S'ha identificat un NOAEL de 4 mg de coure per litre d'aigua per als efectes de nàusees (SCF/EFSA,¹ 2006).

Pel que fa a la toxicitat crònica, els efectes es manifesten amb irritació gastrointestinal, diarrea i trastorns hepàtics. S'ha identificat un NOAEL de 10 mg/dia basat en l'absència d'efectes adversos sobre la funció hepàtica (SCF/EFSA, 2006).

4.2.2 Valors de referència

Nivells de seguretat toxicològica

El Comitè Mixt FAO-OMS d'Experts en Additius i Contaminants Alimentaris (JECFA) va establir una ingesta diària tolerable màxima provisional (IDTMP) de 500 µg per quilo de pes corporal i dia (OMS,² 1982).

El Grup d'Experts de Vitamines i Minerals de l'Agència Britànica de Seguretat Alimentària (FSA) estableix un nivell màxim de seguretat de 160 µg per quilo de pes corporal i dia, equivalent a una ingesta de 10 mg/dia per a un adult de 60 kg de pes corporal (FSA,³ 2003).

El Comitè Científic de l'Alimentació i l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària van establir una ingesta tolerable màxima (UL) de 5 mg/dia per a una persona adulta, basada en un NOAEL de 10 mg/dia i aplicant-hi un factor d'incertesa de 2 per tenir en compte la variabilitat en la sensibilitat al coure dintre d'una població normal (SCF/EFSA, 2006). Aquest valor no és aplicable a dones embarassades ni lactants. En el cas dels nens, els valors d'UL canvien segons els intervals d'edat, com es mostra a la taula següent.

¹ Scientific Committee on Food and Scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Tolerable Upper Intakes Levels For Vitamins and Minerals. European Food Safety Authority, 2006.

² Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Copper. 1982, TRS 683-JECFA 26/31.

³ Expert Group on Vitamins and Minerals. Safe Upper Levels for Vitamins and Minerals. Food Standard Agency, maig de 2003.

Taula 7. Valors d'UL de coure, segons SCF/EFSA en nens d'entre 1 i 17 anys

Edat (anys)	UL (mg coure/dia)
1-3	1
4-6	2
7-10	3
11-14	4
15-17	4

Potència carcinògena

Els estudis sobre la carcinogenicitat del coure en rates i ratolins indiquen que no és carcinogen. No obstant això, els estudis presenten limitacions i no permeten avaluar-ne completament el potencial carcinogen (WHO/IPCS, 1999).

L'Agència Internacional de Recerca sobre el Càncer ha classificat la 8-hidroxiquinolina cúprica (Cu II) en el grup 3: «No classificable quant a la seva carcinogènesi per als humans».

Límits màxims en els aliments

L'Agència de Protecció del Medi Ambient dels EUA ha establert un nivell d'acció per al coure en l'aigua potable d'1,3 mg/l, a partir del qual s'ha de tractar l'aigua.

El Reial decret 140/2003, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà, estableix un valor màxim de 2 mg/l.

4.3 Resultats

4.3.1 Resultat de les anàlisis dels aliments

Les concentracions detectades en els aliments analitzats es presenten a la taula 8. Per grups, els nivells més elevats els trobem als llegums, seguits del pa i els cereals: concretament, el cigró, amb 3,17 µg/g de pes fresc, i la pasta, amb 3,18 µg/g de pes fresc, són els que presenten valors més alts.

Taula 8. Concentració de coure en els aliments. Valors de mitjana (en µg/g de pes fresc)

Aliments	Coure
Carn i derivats	0,95
Peix i marisc	1,28
Verdures i hortalisses	0,94
Tubercles	1,47
Fruites	0,79
Ous	1,95
Llet	0,06
Derivats làctics	0,49
Pa i cereals	2,16
Llegums	2,20
Olis i greixos	0,12
Brioixeria	0,90

La concentració de coure en l'aigua de consum públic a la ciutat de Barcelona⁴ és inferior a 0,04 mg/l.

4.3.2 Contribució dels aliments a la ingesta de coure

La ingesta estimada de coure per a un home adult, a través del consum d'aliments, és de 1.351 µg/dia. Les aportacions més significatives provenen del pa i els cereals, amb 528,0 µg/dia, i de les verdures i hortalisses, amb 159,8 µg/dia.

A la figura 2 es pot observar la contribució percentual dels diferents grups d'aliments a la ingesta diària de coure. A la taula 9 es presenta un resum de les dades d'ingesta per grups d'aliments.

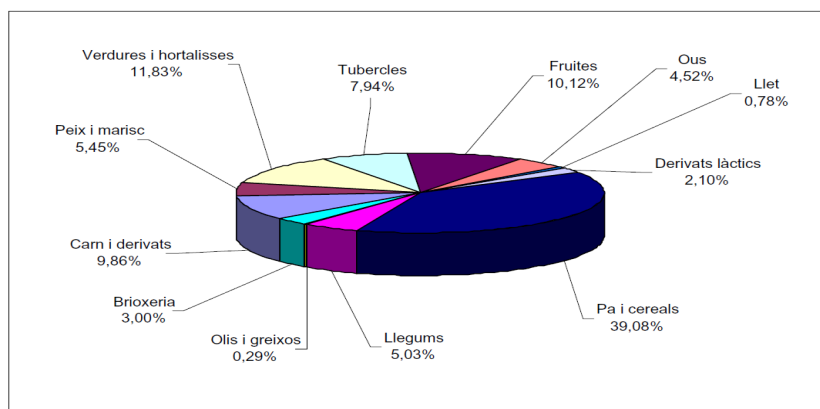


Figura 2. Contribució dels aliments a la ingesta diària de coure

⁴ Agència de Salut Pública de Barcelona. Programa de vigilància de l'aigua de consum humà, 2012.

Taula 9. Ingesta diària estimada de coure en homes adults. Resum per grups d'aliments

	Consum d'aliment (g/dia)	Ingesta de coure µg/dia
Carn i derivats	171,9	133,2
Peix i marisc	67,53	73,69
Verdures i hortalisses	159,7	159,8
Tubercles	73,06	107,2
Fruites	193,6	136,8
Ous	31,29	61,10
Llet	157,5	10,53
Derivats làctics	101,3	28,35
Pa i cereals	225,3	528,0
Llegums	30,36	67,96
Olis i greixos	27,16	3,98
Brioixeria	45,45	40,50
Total d'aliments	1.284	1.351
Aigua	2.000	80
Total d'aliments + aigua		1.431

La ingesta màxima estimada de coure a través de l'aigua de consum de Barcelona és de 80 µg/dia (0,08 mg/dia), considerant un consum de dos litres d'aigua al dia per a un home adult, d'acord amb la recomanació de l'OMS.

4.3.3 Ingesta diària estimada per grups de població

La taula 10 mostra la ingesta estimada de coure per als diferents grups de població, segons l'edat i el sexe. El grup de població amb una ingesta diària estimada de coure més alta és el format per nois adolescents, seguit del grup dels homes i el dels homes més grans de 65 anys.

Taula 10. Ingesta diària estimada de coure dels diferents grups de població

Grup de població	Ingesta de coure pels aliments (mg/dia)	Ingesta de coure per l'aigua* (mg/dia)	Ingesta total
Homes	1,35	0,08	1,43
Dones	1,13	0,08	1,21
Nens i nenes	1,04	0,04	1,08
Nois adolescents	1,40	0,04	1,44
Noies adolescents	1,16	0,04	1,16
Homes més grans de 65 anys	1,27	0,08	1,35
Dones més grans de 65 anys	1,04	0,08	1,12

* Consum de dos litres d'aigua per a una persona adulta i d'un litre per a nens i adolescents.

4.3.4 Avaluació del risc. Comparació amb els nivells de seguretat establerts

A la taula 11 es mostra la ingesta diària estimada de coure per consum d'aliments en els diferents grups de població expressada en funció del pes corporal i la ingesta diària.

Taula 11. Comparació de la ingesta diària estimada amb la ingesta màxima tolerable o UL i la quantitat diària recomanada per l'autoritat americana i el Reglament (UE) núm. 1169/2011

	Ingesta de coure (µg/kg i dia)	Ingesta total (mg/dia)	Ingesta màxima (EFSA) (mg/dia)	QDR EPA EUA / Reglament UE (mg/dia)
Homes (70 kg)	20,44	1,43	5	0,9/1
Dones	22	1,21	5	0,9/1
Nens i nenes	45	1,08	3	0,44
Nois adolescents	25,71	1,44	4	0,8
Noies adolescents	22,64	1,20	4	0,8
Homes més grans de 65 anys	20,76	1,35	5	0,9/1
Dones més grans de 65 anys	18,66	1,12	5	0,9/1

L'estimació de la ingesta diària per a tots els grups de població està per sota del valor de la ingesta tolerable màxima (*upper level*), així com de la ingesta diària màxima tolerable provisional del JECFA, 500 µg per quilo de pes corporal i dia, i de la ingesta màxima segura (*safe upper level*) de la FSA, 160 µg per quilo i dia.

La ingesta estimada per als diferents grups d'edat cobreix els requeriments d'ingesta establerts per l'EFSA i les recomanacions de les autoritats americanes i, per tant, no hi ha risc per a la salut a causa d'una deficiència.

En l'estimació s'ha tingut en compte la quantitat de coure que s'ingereix a través de l'aigua. Concretament, s'ha partit del contingut de l'aigua de la ciutat de Barcelona, el qual, en relació amb el contingut màxim fixat en el Reial decret 140/2003, és molt baix (2 %). En el cas que el contingut de coure present en l'aigua de consum fos el màxim fixat en el Reial decret 140/2003 (2 mg/l), la ingesta diària se situaria al voltant de la ingesta tolerable màxima establerta per l'EFSA.

4.3.5 Altres estudis

A la taula 12 es presenten les dades de diversos estudis similars d'arreu del món, els quals, tot i les diferents metodologies i dissenys d'estudi emprats, poden servir de referència.

Taula 12. Ingesta diària de coure. Comparació amb altres estudis

País	Cu ($\mu\text{g}/\text{dia}$)	Autors
Catalunya	1,43	Aquest estudi
França	1,63-2,23	ANSES, 2011
Itàlia	1,70	Bo i col·l., 2011
Xina	0,72-0,74	Zhang i col·l., 2011
Anglaterra	1,21	Rose i col·l., 2010
Líbia	1,10	Nasreddine i col·l., 2010
Itàlia	1,14	Turconi i col·l., 2009
Croàcia	0,9-1,03	Mandić i col·l., 2009
Corea	1,16	Choi i col·l., 2009
Espanya	2,10	Rubio i col·l., 2009
Polònia	0,98-1,19	Markiewicz i col·l., 2008
Itàlia	1,14	Turconi i col·l., 2008
Xina	2,73	Zheng i col·l., 2007
Japó	0,78	Aung i col·l., 2006
França	0,98	Leblanc i col·l., 2005
França	0,93	Noël i col·l., 2003
Índia	2,95-3,53	Roychowdhury i col·l., 2003
Altres països asiàtics	0,87-2,17	Iyengar i col·l., 2002

5 Seleni

El seleni (Se) és un metall, àmpliament distribuït en la naturalesa, que pot existir en quatre estats d'oxidació (Se^{-2} , Se^{+1} , Se^{+2} , i Se^{+6}). Té nombroses aplicacions a la indústria elèctrica i, també, un isòtop d'aquest metall es fa servir en certes proves mèdiques de diagnòstic.

5.1 Aspectes nutricionals

El seleni és un element traça essencial, però, com tots els elements traça, a concentracions elevades pot ser tòxic. Els aliments contenen un nombre variat de formes de seleni. En els aliments, el seleni està unit a proteïnes i passa a l'organisme en forma de selenur, de selenocisteïna i selenometionina. En el peix i en altres aliments hi ha compostos de seleni no caracteritzats i dels quals es desconeix la seva contribució a la dieta.

5.1.1 Funcions

Els humans i els animals requereixen seleni per al correcte funcionament d'un nombre elevat d'enzims que s'anomenen selenoproteïnes. Al contrari que els animals, les plantes sembla que no necessiten seleni per viure. No obstant això, quan el seleni és present en el sòl, les plantes l'incorporen de forma no específica en uns compostos que contenen sofre (selenotrisulfurs).

La quantitat de seleni al cos humà s'ha estimat entre 5 i 15 mg. La forma activa d'aquest metall és la selenocisteïna, que s'incorpora a les selenoproteïnes a través d'un mecanisme biològic específic. Les selenoproteïnes inclouen, entre d'altres:

- Glutatió peroxidases, amb funcions bàsiques de defensa contra l'estrès oxidatiu.
- Iodotironines deiodinases, que estan involucrades en el metabolisme de les hormones tiroïdals.
- Selenoproteïna P, implicada en funcions antioxidants i de transport.
- Tioredoxina reductasa, que ajuda a mantenir l'estatus redox intracel·lular.

5.1.2 Absorció i biodisponibilitat

La majoria de sals de seleni i compostos orgànics d'aquest metall, com per exemple la selenometionina (pròpia dels aliments d'origen vegetal) i la

selenocisteïna (pròpia dels aliments d'origen animal), s'absorbeixen fàcilment en el tracte intestinal.

Estudis cinètics indiquen que en el plasma es troben, almenys, quatre components diferents de seleni amb vides mitjanes que oscil·len entre 1 i 250 hores.

5.1.3 Distribució i metabolisme

El seleni es distribueix per tot l'organisme i, fins i tot, es pot detectar a la llet materna. També s'ha descrit que pot travessar la placenta. Les concentracions de seleni són lleugerament superiors en el fetge i en els ronyons que en altres òrgans.

5.1.4 Excreció

La via principal d'excreció del seleni és l'orina, però n'hi ha una petita part que s'elimina com a metabòlits volàtils per la respiració. També es pot eliminar via fecal, especialment després d'una administració continuada d'aquest mineral.

5.1.5 Ingestes recomanades

La ingesta diària recomanada de seleni per a la població adulta a Europa és de 55 µg/dia, conforme a la Directiva 90/496/CEE.

L'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària⁵ (EFSA) ha fixat una ingesta diària de referència de 70 µg/dia per a adults, de 85 µg/dia per a dones lactants, de 20 µg/dia per a nens de 4-6 anys, de 30 µg/dia per a nens de 7-10 anys, 50 µg/dia per a nois d'11-13 anys i de 65 µg/dia per a nois adolescents de 14-18 anys.

Als Estats Units⁶ la recomanació per a adults i adolescents és de 55 µg/dia; per a dones gestants, de 60 µg/dia; per a dones alletants, de 70 µg/dia, i per a nens entre 9-13 anys, de 40 µg/dia.

⁵ EFSA NDA Panel, 2014. Draft Scientific Opinion on Dietary Reference Values for selenium.

⁶ US Department of Agriculture. Dietary Reference Intake (DRIs): Recommended Dietary Allowances and Adequate Intakes, Elements. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies

5.1.6 Fonts alimentàries

Les principals fonts alimentàries de seleni són les vísceres, el marisc i les carns vermelles. En els aliments d'origen vegetal, n'hi ha gran variació, ja que les plantes no requereixen aquest mineral. Així, la incorporació de seleni dependrà del contingut en aquest mineral del sòl on hagin crescut. En general, els cereals integrals són relativament bona font de seleni, mentre que les fruites i els vegetals no ho són tant.

La ingesta mitjana de seleni en la població adulta nord-americana s'ha estimat entre 80 i 110 µg/dia, mentre que a Europa els valors oscil·len entre 28 i 110 µg/dia. En concret, a Espanya, la ingesta es calcula que és de l'ordre d'uns 79 µg/dia.

5.1.7 Deficiència

La deficiència de seleni pot causar la malaltia de Keshan (àrea de la Xina amb sòls pobres en seleni), caracteritzada per trastorns cardíacs. També causa un augment de la incidència de càncer, d'infeccions virals i de trastorns immunològics, musculars, reproductius i de l'estat anímic.

5.2 Aspectes toxicològics

5.2.1 Vies d'exposició i toxicitat

Les principals vies d'exposició dels éssers humans al seleni són la via aèria, l'alimentària i a través de la ingesta d'aigua. La major part de seleni que trobem a l'organisme humà prové de la dieta. L'exposició habitual es considera baixa.

Tot i que la toxicitat dels diferents compostos de seleni és molt variada, se sap que una ingesta elevada de seleni (aproximadament, 900 µg/dia) pot produir selenosi. La selenosi es caracteritza per caiguda dels cabells, fragilitat de les ungles i alè amb una olor d'all molt característica. A més a més, es produeix un augment del nombre de càries i també es donen problemes neurològics. Ingestes elevades de forma puntual poden produir efectes gastrointestinals. En casos extrems es pot perdre la sensació de control de braços i cames. Persones exposades a nivells elevats de seleni per inhalació, majoritàriament a l'entorn laboral, manifesten mareig, fatiga i irritació de mucoses.

5.2.2 Valors de referència

Nivells de seguretat toxicològica

El Comitè Científic de l'Alimentació (SCF) de la Comissió Europea i l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) han establert una ingesta màxima tolerable (UL, de l'anglès *Upper Level*) de 300 µg/dia (SCF/EFSA, 2006). Per als nens d'entre 1-17 anys els límits UL són els que es mostren a la taula 5.1.

Taula 5.1. Valors d'UL de seleni en nens entre 1-17 anys (SCF/EFSA, 2006).

Edat (anys)	UL (µg seleni /dia)
1-3	60
4-6	90
7-10	130
11-14	200
15-17	250

L'OMS, al 1996, va establir una ingesta màxima per a adults de 400 µg de seleni/dia (OMS, 1996a).

El Grup d'Experts de Vitamines i Minerals de l'Agència de Normes Alimentàries del Regne Unit (FSA) ha establert una ingesta màxima de 450 µg/dia (FSA, 2003).

Potència carcinògena

L'Agència Internacional de Recerca del Càncer (IARC) cataloga aquest metall com a no carcinogen. Segons l'Enquesta de població activa, el sulfur de seleni és probablement carcinogen en humans. Aquesta forma no està present en aliments.

Diversos autors suggereixen que nivells més elevats dels normals de seleni poden reduir el risc de desenvolupament de càncer.

Límits màxims en aliments

La Comissió del Codex Alimentarius no estableix cap límit màxim per a la ingesta de seleni.

El Reial decret 140/2003, pel qual s'estableixen els criteris sanitaris de la qualitat de l'aigua de consum humà, estableix un valor màxim de seleni de 10 µg/L.

5.3. Resultats

5.3.1. Resultats dels anàlisis d'aliments

Les concentracions detectades en els aliments es presenten a la taula 5.2. Per grups, els nivells més elevats els trobem al peix i al marisc, seguits dels ous; en concret, els que presenten valors més alts són la tonyina, amb 1,90 µg/g de pes fresc, i els ous, amb 0,26 µg/g.

Taula 5.2. Concentració de seleni en els aliments. Valors mitjana

Aliments	Coure
Carn i derivats	0,10
Peix i marisc	0,63
Verdures i hortalisses	0,079
Tubercles	0,079
Fruites	0,079
Ous	0,26
Llet	0,079
Derivats làctics	0,079
Pa i cereals	0,079
Llegums	0,079
Olis i greixos	0,079

La concentració de seleni en l'aigua de consum públic a la ciutat de Barcelona⁷ és inferior a 6 µg/L.

⁷ Agència de Salut Pública de Barcelona. Programa de vigilància de l'aigua de consum humà, 2012.

5.3.2. Contribució dels aliments a la ingesta

La ingesta estimada de seleni per a un home adult a través del consum d'aliments és de 139,9 µg/dia. Les aportacions més significatives provenen del peix i marisc, amb 35,56 µg/dia, i del pa i cereals, amb 17,80 µg/dia.

La ingesta estimada màxima a través de l'aigua de consum és de 12 µg/dia, considerant un consum de 2 litres d'aigua al dia per a un home adult, d'acord amb la recomanació de l'Organització Mundial de la Salut.

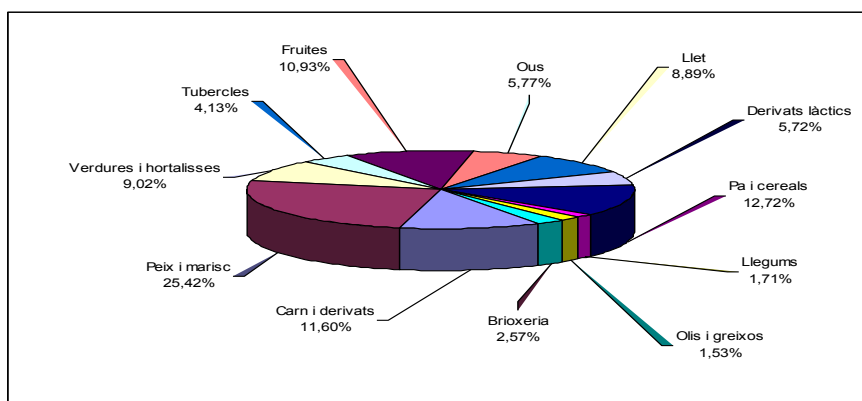
A la taula 5.3 es presenta un resum de les dades d'ingesta d'un home adult per grups d'aliments.

Taula 5.3. Ingesta diària estimada de seleni. Home adult. Resum per grups d'aliments

	Consum d'aliment (g/dia)	Ingesta de coure µg/dia
Carn i derivats	171,9	16,22
Peix i marisc	67,53	35,56
Verdures i hortalisses	159,7	12,61
Tubercles	73,06	5,77
Fruites	193,6	15,30
Ous	31,29	8,07
Llet	157,5	12,44
Derivats làctics	101,3	8,00
Pa i cereals	225,3	17,80
Llegums	30,36	2,40
Olis i greixos	27,16	2,15
Brioixeria	45,45	3,59
Total d'aliments	1.284	139,9
Aigua	2.000	12
Total d'aliments + aigua		151,9

A la figura 1 es pot observar la contribució percentual dels diferents grups d'aliments a la ingesta diària de seleni.

Figura 1. Contribució dels aliments a la ingesta diària de seleni



5.3.3. Ingesta diària estimada per grups de població

La taula 5.4 mostra la ingesta estimada de seleni per als diferents grups de població, segons edat i sexe. El grup de població amb una ingesta diària estimada de seleni més alta és el format pels homes, seguit dels homes més grans de 65 anys i dels nois adolescents.

Taula 5.4. Ingesta diària estimada de seleni dels diferents grups de població

	Ingesta pels aliments	Ingesta per l'aigua de consum	Ingesta total de seleni
Homes	139,9	12	151,9
Dones	129,2	12	141,9
Nens i nenes	124,7	6	130,7
Nois adolescents	130,1	12	142,1
Noies adolescents	115,0	12	137
Homes més grans de 65 anys	137,7	12	149,7
Dones més grans de 65 anys	118,4	12	130,4

5.3.4. Avaluació del risc. Comparació amb els nivells de seguretat establerts

La ingesta estimada per als diferents grups d'edat no supera els valors d'ingesta màxima tolerable fixats pel Comitè Científic de l'Alimentació i l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (taula 5.6). Tampoc els valors estimats superen les ingestes màximes segures de l'Agència de Normes Alimentàries del Regne Unit ni de l'Organització Mundial de la Salut. Per tant, no hi ha risc per a la salut a causa d'un excés.

Tots els grups de població fan ingestes diàries per damunt de la quantitat diària recomanada establerta per l'EFSA i les autoritats americanes i, per tant, no hi ha risc per a la salut a causa d'una deficiència (taula 5.6).

Taula 5.6 Comparació de la ingesta diària estimada amb la ingesta màxima tolerable o UL i la quantitat diària recomanada per les autoritats europea i americana

	Ingesta total de seleni	Upper Level (EFSA)	QDR EFSA/US DEPA
Homes	151,9	300	70/55
Dones	141,9	300	70/55
Nens i nenes	130,7	130	25/35
Nois adolescents	142,1	250	60/55
Noies adolescents	137	200	60/55
Homes més grans de 65 anys	149,7	300	70/55
Dones més grans de 65 anys	130,4	300	70/55
En µg/dia			

5.3.5. Altres estudis

En la taula 5.7 es presenten les dades d'alguns estudis similars d'arreu del món, on, tot i la dificultat per comparar per raó de les diverses metodologies i dissenys d'estudi emprats, podem situar-nos en l'entorn.

Taula 5.7. Ingesta diària de seleni. Comparativa amb altres estudis d'ingesta

País	Se (µg/dia)	Autors
Catalunya	151,9	Aquest estudi
França	61,4-68,9	ANSES,2011
Itàlia	54,1-60,5	Bo i col·l., 2011
Xina	18,64-25,92	Zhang i col·l., 2011
Anglaterra	58,1-66,5*	Rose i col·l., 2010
Hong Kong	51,42*	Wong i col·l., 2010
Corea	1,14	Turconi i col·l., 2009
Croàcia	0,9-1,03	Mandić i col·l., 2009
Corea	135,5	Choi i col·l., 2009
L'Índia	48,8-57,1	Roychowdhury i col·l., 2003
França	66	Noël i col·l., 2003
L'Índia	30-90	Mahapatra i col·l., 2001

**Estimat*

6 Zinc

El zinc (Zn) és un element essencial en la nutrició de l'home i dels animals. També és un dels elements més comuns a l'escorça terrestre. Es troba en l'aire, sòl i aigua i està present en tots els aliments. Fins al moment es coneixen 15 isòtops diferents dels quals 5 d'ells són estables. Pràcticament la meitat del zinc que trobem és l' isòtop amb la massa atòmica de 64. Té molts usos comercials com revestiment per prevenir corrosió, en piles seques, i es barreja amb altres metalls per formar aliatges com el llautó i el bronze.

6.1 Aspectes nutricionals

El coneixement de la importància del zinc en l'alimentació humana és relativament recent. Es va descriure per primera vegada a l'any 1961, quan es va demostrar que l'hipogonadisme observat en joves iranians era degut, en part, a una deficiència en zinc. Des de llavors, la deficiència de zinc és un tema important de salut pública, en especial en països en vies de desenvolupament.

El contingut corporal en zinc d'un individu adult oscil·la entre 1,5 i 2,5g. Els nivells presents en múscul, cervell, pulmó i cor són relativament estables i independents de la ingesta dietètica. Pel contrari, el contingut de zinc en altres teixits, especialment ós, testicles, cabells i sang tendeixen a reflectir la ingesta de aquest ió.

6.1.1 Funcions

El zinc és un constituent essencial de més de 200 metal·loenzims. Per tant, són nombroses i variades les seves funcions, tant reguladores, catalítiques i estructurals. Així, juga un paper clau en la síntesi i estabilització del material genètic, i és necessari per la divisió cel·lular, així com, per la síntesi i degradació de carbohidrats, lípids i proteïnes.

6.1.2 Deficiència

La deficiència de zinc és molt rara i se n'ha observat en pacients alimentats exclusivament per via parenteral, en pacients que prenen fàrmacs quelants com la penicil·lamina i persones amb acrodermatitis enteropàtica, una malaltia genètica que produeix deficiència de zinc. La deficiència greu causa trastorns com retard en el creixement i en la maduració sexual, dermatitis i

altres problemes cutanis, diarrees, alopecía, disminució del sentit de l'olfacte i del gust, deficiències en el sistema immunitari, i alteracions del comportament. Les deficiències lleus produeixen un alentiment de la curació de ferides cutànies, disminució de la resistència a les infeccions microbianes i retard en el creixement.

6.1.3 Absorció i biodisponibilitat

El percentatge d'absorció del zinc present en els aliments oscil·la entre el 15% i el 60%. Actualment s'accepta que hi participen dos processos de transport: actiu i per difusió. Hi ha diversos factors que afecten a l'absorció intestinal del zinc:

- l'estatus de zinc de l'organisme, la quantitat absorbida depèn de les necessitats corporals de l'element,
- factors alimentaris, principalment fibra i fitats. En general, el zinc dels vegetals és menys biodisponible que el present en aliments d'origen animal, fonamentalment a causa de la presència d'àcid fític, que forma uns complexos insolubles amb el zinc que no poden ser absorbits. Per contra, els aminoàcids histidina, metionina i cisteïna faciliten l'absorció i fins i tot poden extreure el zinc lligat als fitats.
- les interaccions amb altres minerals com el ferro i el calci que competeixen pels llocs d'absorció, de manera que una elevada ingesta de ferro i calci pot disminuir l'absorció de zinc.

6.1.4 Distribució i metabolisme

El zinc és transportat al fetge unit principalment a l'albumina. Així, el fetge és l'òrgan que presenta una major captació de zinc, seguit dels ossos, la pell, el ronyó i el timus. La concentració plasmàtica d'albumina pot, en part, determinar la seva absorció, ja que afecta la proporció del catió que es transfereix des dels enteròcits. Altres components del plasma també contenen zinc, com la α 2-macroglobulina, la transferrina i la ceruloplasmina.

6.1.5 Excreció

A diferència d'altres minerals, el zinc no s'emmagatzema en l'organisme i l'excés s'elimina. Per això és bàsic el manteniment d'un equilibri entre absorció i excreció per mantenir l'ampli ventall de funcions que depenen del zinc. La via principal d'excreció és la fecal, a través de les secrecions pancreàtiques i

biliars i per les pròpies cèl·lules de la mucosa digestiva que s'eliminen per descamació.

L'excreció via urinària és molt petita, malgrat que es pot incrementar de forma important en malalties que donen lloc a un excessiu metabolisme muscular o proteïnúria per disfunció renal.

6.1.6 Ingestes recomanades

L'Organització Mundial de la Salut (2004) recomana un ingesta de zinc de 9'8, 4'9 i 3mg/dia per als homes i de 14, 7 i 4'3 mg/dia per a les dones, en funció de si la dieta té una baixa (15%), moderada (30%) o alta (50%) biodisponibilitat de zinc. A Europa (2009) la quantitat diària recomanada establerta en la norma d'etiquetatge sobre propietats nutritives és de 10 mg/dia tant per homes com per dones. L'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (2014) recomana una ingesta diària entre 16'3 i 9'4mg/dia per als homes i de 12'7 i 7'5 mg/dia per a dones, en funció d'una ingesta alta o baixa de fitats.

Aquestes recomanacions varien en funció de l'edat (menors i edat avançada), estat fisiològic (embaràs, lactància) i dieta (càrnia, vegetariana).

6.1.7 Fonts alimentàries

Marisc amb closca (ostres, cloïsses, etc.), peix i productes de la pesca, carn vermella, ous, i, en menor grau, llet i derivats lactis, llegums i cereals, són les principals fonts alimentàries d'aquest mineral.

6.2 Aspectes toxicològics

6.2.1 Vies d'exposició i toxicitat

El zinc no s'acumula al cos i la seva excreció és molt eficient, el que comporta que sigui difícil que es produeixi una intoxicació per zinc. No obstant això, ingestes molt elevades poden produir trastorns. S'han reportat casos d'intoxicació aguda produïts per l'emmagatzematge d'aliments o begudes en recipients de ferro galvanitzat. Els símptomes inclouen: nàusees, vòmits, dolor epigàstric, rampes abdominals i diarrea.

També s'han informat de casos de toxicitat crònica a causa d'ingestes de zinc per consum de complements alimentosos. Ingestes entre 50mg/dia a

300mg/dia durant llargs períodes causen trastorns similars al d'una deficiència de coure i es manifesten per canvis fisiològics i bioquímics com hipocuprèmia, leucopènia, neutropènia, anèmia sideroblàstica, disminució de la funció d'enzims que contenen coure, de l'enzim superòxid dismutasa i, amb proves contradictòries, alteracions del metabolisme del colesterol.

6.2.2 Valors de referència

Nivells de seguretat toxicològica

El Comitè Científic de d'Aliments de la Comissió Europea (2003) ha establert un NOAEL de 50 mg/dia en adults, basat en l'absència d'efectes adversos en el metabolisme del coure en humans. Sobre aquest valor de seguretat, s'ha extrapolat un nivell d'ingesta màxima tolerable (UL, de l'anglès Upper Level) de 25 mg/dia, aplicant un factor de seguretat de 2 per les incerteses de l'estudi degudes al petit nombre de persones participants i a la curta durada. L'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària va confirma aquesta ingesta diària màxima tolerable el 2006.

El Comitè considera que es pot aplicar aquest UL per a dones en període de gestació lactància. Pel que fa als nens (1-17 anys), les UL que aconsella el Comitè són les mostrades a la taula 1.

Taula1. Valors de UL de Zinc, segons SCF (2003) en nens d'entre 1-17 anys.

Edat (anys)	UL (µg Zinc /dia)
1-3	7
4-6	10
7-10	13
11-14	18
15-17	22

El Comitè Mixt FAO/OMS d'Experts en Additius Alimentaris (JECFA, 1982) ha establert una ingesta diària màxima tolerable provisional de 0,3-1 mg/kg de pes corporal i dia, a partir d'estudis clínics fets amb pacients amb úlceres de pell als qui es subministrava dosis de sulfat de zinc entre 220 mg/dia durant 6 mesos i 600 mg/dia durant 10 setmanes.

Potència carcinògena

No hi ha estudis experimentals adequats per avaluar el potencial carcinogen del zinc (OMS, 2001)

Límits màxims en aliments

No s'han establert límits màxims de la seva presència ni en aliments ni en aigua potable o envasada a escala estatal o europea.

L'Organització Mundial de la Salut (2003) recomana que l'aigua potable no contingui quantitats superiors a 3 mg de zinc/L, a causa d'alteracions de sabor, i considera que no cal establir cap valor de seguretat amb els estudis toxicològics en humans disponibles.

6.3 Resultats

6.3.1 Resultats de les anàlisis d'aliments

Les concentracions detectades en els aliments analitzats es presenten a la taula 2. En aquest estudi, els valors detectats en tots els aliments són més alts en relació amb les dades de zinc enregistrades en bases de dades de composició d'aliments d'Espanya (BEDCA), França (INCA), Canadà (Canadian Nutrient File) i Estats Units (National Nutrient Database for Standard Reference Release 28); però els valors de l'ou, la llet, la fruita i els olis i greixos són anormalment elevats, entre tres i quatre vegades.

Taula 2. Concentració de Zinc en els aliments. Valors mitjana

Aliments	Zinc
Carn i derivats	32,7
Peix i marisc	17,9
Verdures i hortalisses	5,69
Tubercles	3,37
Fruites	4,63
Ous	36,3
Llet	7,16
Derivats làctics	20,8
Pa i cereals	14,5
Llegums	9,76
Olis i greixos	3,16
Brioixeria	5,30

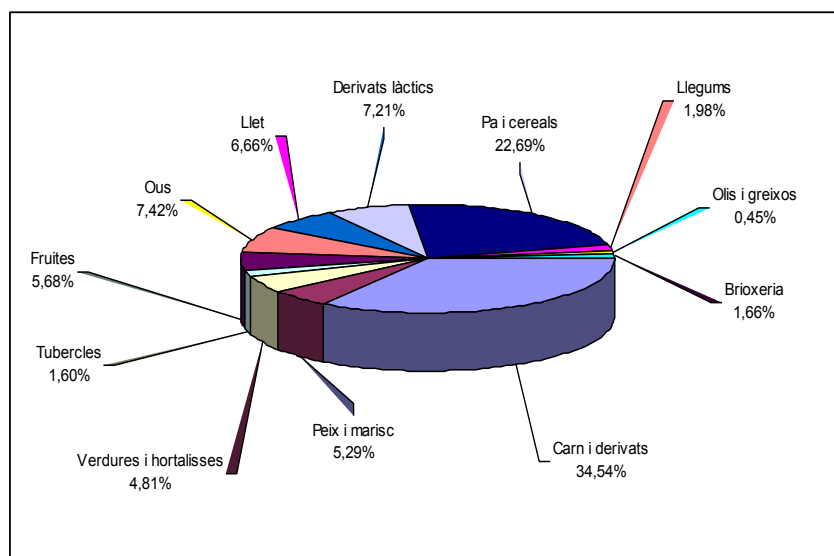
En $\mu\text{g/g}$ pes fresc

6.3.2 Contribució dels aliments a la ingesta

La ingesta estimada de zinc per a un home adult, a través del consum d'aliments, és de 15,34 mg/dia. Les aportacions més significatives provenen de la carn i derivats amb 5,29 mg/dia i del pa i cereals amb 3,48 mg/dia.

En la figura 1 es pot observar la contribució percentual dels diferents grups d'aliments a la ingesta diària de zinc. En la taula 3 es presenta un resum de les dades d'ingesta per grups d'aliments.

Figura 1. Contribució dels aliments a la ingesta diària de Zinc



Taula 3. Ingesta diària estimada de zinc. Home adult. Resum per grups d'aliments

	Consum d'aliment (g/dia)	Ingesta de Zinc mg/dia
Carn i derivats	171,9	5,299
Peix i marisc	67,53	0,812
Verdures i hortalisses	159,7	0,738
Tubercles	73,06	0,246
Fruites	193,6	0,871
Ous	31,29	1,138
Llet	157,5	1,022
Derivats làctics	101,3	1,107
Pa i cereals	225,3	3,480
Llegums	30,36	0,303
Olis i greixos	27,16	0,069
Brioixeria	45,45	0,255
Total d'aliments	1.284	15,34

6.3.3 Ingesta diària estimada per grups de població

La taula 4 mostra la ingesta estimada de zinc per als diferents grups de població, segons edat i sexe. El grup de població amb una ingesta diària estimada de zinc més alta és el format pels nois adolescents, seguit dels homes i dels nens i nenes.

Taula 4. Ingesta diària estimada de zinc dels diferents grups de població

	Ingesta de Zinc
Homes	15,34
Dones	12,54
Nens i nenes	15,07
Nois adolescents	16,15
Noies adolescents	13,14
Homes més grans de 65 anys	13,18
Dones més grans de 65 anys	11,38

En mg/dia

6.4 Avaluació del risc.

6.4.1 Comparació amb els nivells de seguretat establerts

En la taula 5 es compara la ingesta diària estimada de zinc per consum d'aliments en els diferents grups de població amb la ingesta diària màxima tolerable o Upper Level.

Taula 5. Comparació entre la ingesta de zinc en els diferents grups de població i la ingesta diària màxima tolerable (Upper Level)

	Ingesta de Zinc	UL de Zinc
Homes	15,34	25
Dones	12,54	25
Nens i nenes	15,07	13
Nois adolescents	16,15	22
Noies adolescents	13,14	22
Homes més grans de 65 anys	13,18	25
Dones més grans de 65 anys	11,38	25

El grup de nens i nenes sobrepassa aquest límit lleugerament. El valor d'ingesta diària d'aquest grup està per sota del valor de NOAEL. Es considera que aquest excés de zinc no ha de causar problemes de salut si la dieta és rica en coure.

En la taula 6 es mostra la ingesta diària estimada de zinc per consum d'aliments en els diferents grups de població, expressada en funció del pes corporal.

Taula 6. Ingesta diària tolerable provisional en els diferents grups de població

Ingesta de Zinc	
Homes	0,22
Dones	0,23
Nens i nenes	0,63
Nois adolescents	0,28
Noies adolescents	0,24
Homes més grans de 65 anys	0,20
Dones més grans de 65 anys	0,19

El JECFA estableix una ingesta diària tolerable provisional en un interval de 0,3 -1 mg/kg i dia. El grup de nens i nenes està dintre de l'interval, i per tant, en una situació de baix risc.

6.4.2 Altres estudis

A la taula 7 es presenten les dades d'alguns estudis similars d'arreu del món. Tot i que són difícils les comparances per raons de les diverses metodologies i dissenys d'estudi emprats, el valor d'ingesta del present estudi és el més alt de tots els estudis fets en el nostre entorn.

Taula 7. Ingesta diària de Zinc. Comparativa amb altres estudis d'ingesta

País	mg/día	Autores
Catalunya	15,34	Este estudio
Itàlia	12,10-12,40	Bo y col., 2011
Espanya	10,44	AESAN, 2011
Brasil	4,25	Pagliari y col., 2011
Xina	4,61-4,70	Zhang y col., 2011
Líbia	10,97	Nasreddine y col., 2010
Anglaterra	9,85	Rose y col., 2010
Espanya	8,954	Rubio y col., 2009
Polònia	10,04-12,30	Markiewicz y col., 2008
Itàlia	12	Turconi y col., 2009
Japó	6,75	Aung y col., 2006
França	8,66	Leblanc y col., 2005
Brasil	4,8	Santos y col., 2004
Índia	8,34-13,50	Roychowdhury y col., 2003
França	10,2	Noël y col., 2003
Països Asiàtics	4,30-13,50	Iyengar y col., 2002
USA	7,60-12,70	Egan y col., 2002
Nigèria	15,8	Onianwa y col., 2001
Anglaterra	8,4	Ysart y col., 1999
França	14	Biego y col 1998
Espanya	10,10-15,20	Cuadrado y col., 1995
Xina	9,8	Chen y Gan, 1993

*Estimat

7 Molibdè

El molibdè (Mo) es troba àmpliament distribuït a la naturalesa, principalment en forma de molibdenita (MoSO_2). Les aplicacions d'aquest metall són nombroses (indústria elèctrica, militar, automobilística i aeronàutica) ja que és un element bàsic per fabricar acer i altres aliatges d'alta resistència, pigments i catalitzadors químics. En els darrers anys, el molibdè forma part de la formulació dels fertilitzants.

7.1 Aspectes nutricionals

Les funcions essencials del molibdè es coneixen des de l'any 1953, quan es va identificar com a cofactor d'un enzim. No es troba a l'organisme com metall sinó associat a altres elements, com per exemple en forma d'ió molibdat (MoO_4^{2-}).

7.1.1 Funcions

El molibdè forma part de diversos enzims, tots ells òxid-reductases i anomenats molibdoenzims, com l'enzim xantina oxidasa (important en el catabolisme de les purines), l'aldehid oxidasa i el sulfit oxidasa (que transforma els sulfits en sulfats).

7.1.2 Absorció i biodisponibilitat

El grau d'absorció depèn de l'estructura química del molibdè: els compostos solubles i amb valença 6+, com ara els molibdats i derivats presents en els vegetals, s'absorbeixen en un 40-50% per les persones. Les formes insolubles o amb valença 4+ no s'absorbeixen a penes. La presència de sulfats i de silicats inhibeix l'absorció.

7.1.3 Distribució i metabolisme

Es transporta unit fonamentalment a l' α_2 -macroglobulina i els òrgans que en presenten una major concentració són fetge i ronyons. El cos no acumula molibdè i, en conseqüència, n'elimina ràpidament l'excés absorbit per via urinària.

7.1.4 Ingestes recomanades

La quantitat diària recomanada per als adults establerta a la Unió Europea és de 50µg/dia, conforme el Reglament 1169/2011 sobre la informació facilitada al consumidor.

La Autoritat Europea de Seguretat Alimentària⁸ (EFSA) ha establert en 2013 una ingesta diària de referència de 65µg/dia per a adults, incloses les dones embarassades i alletants. Per a nens i adolescents, l'EFSA estableix un interval entre 10 i 65µg/dia.

Als Estats Units, la ingesta diària recomanada és de 45µg/dia per als adults, de 50µg/dia per a dones embarassades i alletants, de 43µg/dia per a nois i noies adolescents i de 34µg/dia per a nens i nenes de 9-13 anys.

7.1.5 Deficiència

No s'han identificat deficiències en condicions dietètiques normals, llevat de persones amb nutrició parenteral total durant períodes perllongats de temps, o de persones amb síndrome d'intestí curt o de persones amb la malaltia de Crohn que tenen extirpat l'ili. La deficiència es manifesta amb irritabilitat, taquicàrdia, taquipnea, ceguesa nocturna i encefalopaties.

Ingestes baixes de molibdè s'associen a un increment del risc de càncer d'esòfag (WHO, 1996)⁹.

7.1.6 Fonts alimentàries

Les fonts alimentàries més importants són el sorgo, tija i fulles comestibles de vegetals que creixen en sols neutres o alcalins, els ous, la llet i derivats, els llegums, la fruita seca, el marisc, el peix i les vísceres (fetge i ronyons). Els tubercles i les arrels comestibles, la fruita, els vegetals de fulla que creixen en sols àcids, els cereals refinats i la carn contenen nivells baixos d'aquest element.

⁸ Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific Opinion on Dietary Reference Values on Molybdenum. EFSA, July 2013.

⁹ WHO, 1996. Trace elements in human nutrition and health. Prepared in collaboration with the FAO of UN and IAEA.

7.2 Aspectes toxicològics

7.2.1 Vies d'exposició i toxicitat

En animals, la intoxicació aguda oral produeix irritació gastrointestinal acompanyada d'una diarrea severa que pot causar coma i fallida cardíaca. La intoxicació crònica i subcrònica pot cursar amb retard del creixement, anèmia, hipotiroïdisme, deformitats d'articulacions i ossos, esterilitat, anormalitats hepàtiques i renals i mort.

Hi ha pocs estudis de toxicitat de molibdè en humans. Estudis duts a terme en regions d'Armènia on la concentració de molibdè en el sòl és molt alta, s'ha vist que els adults presenten elevades concentracions d'àcid úric en plasma i símptomes semblants a la gota.

7.2.2 Valors de referència

Nivells de seguretat toxicològica

El Comitè Científic de l'Alimentació i l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària¹⁰ van establir una ingesta tolerable màxima (UL) de 0,6 mg/dia (equivalent a 0,01mg/kg de pes corporal i dia) per a una persona adulta de 60 Kg de pes corporal (SCF/EFSA, 2006). En el cas dels nens, els valors de UL canvien segons els rangs d'edat, com es mostren a la següent taula 7.1.

Taula 7.1. Valors de UL de Molibdè, segons SCF/EFSA en nens d'entre 1-17 anys.

Edat (anys)	UL (mg Molibdè/dia)
1-3	0,1
4-6	0,2
7-10	0,25
11-14	0,4
15-17	0,5

¹⁰ Scientific committee on Food and Scientific panel on dietetic Products, Nutrition and Allergies. Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. European Food Safety Authority. February, 2006.

Potència carcinògena

No hi ha proves que el molibdè sigui cancerigen, tot i que tant la ingesta elevada com la deficiència s'associen a un major risc de càncer d'esòfag.

Límits màxims en aliments

No s'han establert nivells màxims en aliments fins al moment.

7.3 Resultats

7.3.1 Resultats de les anàlisis d'aliments

Les concentracions detectades en els aliments analitzats es presenten a la taula 7.2. Per grups, els nivells més elevats els trobem a les llegums, com els fesols amb 0,97µg/g de pes fresc, i la pasta alimentària, amb 0,34µg/g de pes fresc són els que presenten valors més alts.

Taula 7.2. Concentració de Molibdè en els aliments. Valors mitjana

Aliments	Molibdè
Carn i derivats	0,025
Peix i marisc	0,035
Verdures i hortalisses	0,160
Tubercles	0,063
Fruites	0,046
Ous	0,170
Llet	0,038
Derivats làctics	0,074
Pa i cereals	0,290
Llegums	0,750
Olis i greixos	0,012
Brioixeria	0,130

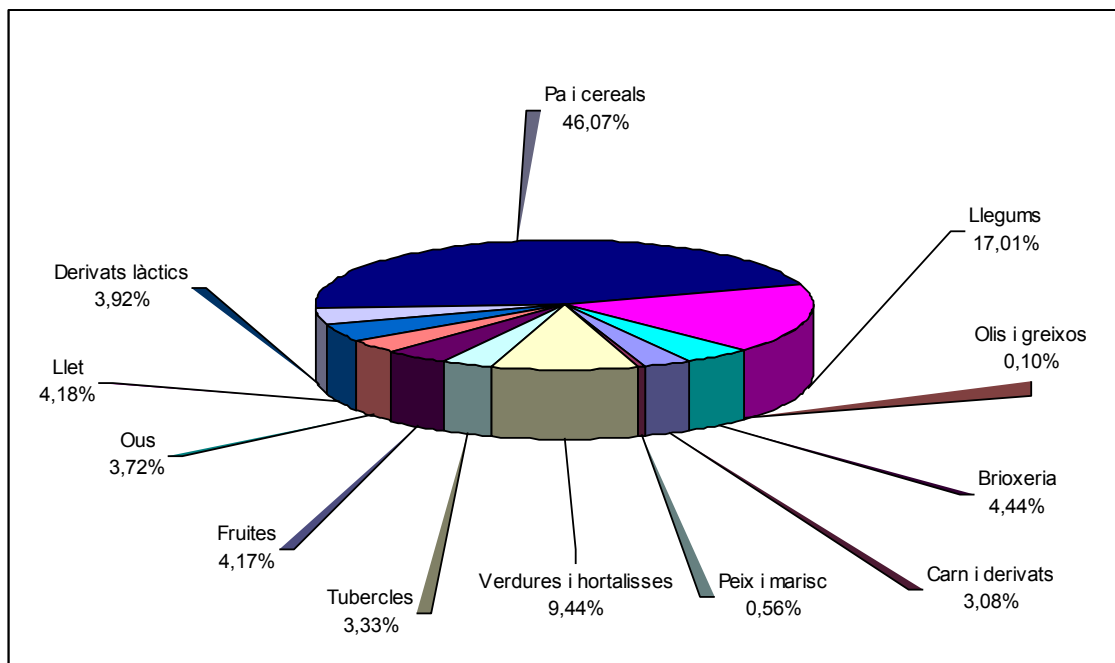
En µg/g pes fresc

7.3.2 Contribució dels aliments a la ingesta

La ingesta estimada de molibdè per a un home adult, a través del consum d'aliments, és de 138,9µg/dia. Les aportacions més significatives provenen del pa i cereals amb 63,96µg/dia, i dels llegums amb 23,62µg/dia.

A la figura 1 es pot observar la contribució percentual dels diferents grups d'aliments a la ingesta diària de molibdè. A la taula 7.3 es presenta un resum de les dades d'ingesta per grups d'aliments.

Figura 12.- Contribució dels aliments a la ingesta diària de Molibdè



Taula 7.3. Ingesta diària estimada de molibdè. Home adult. Resum per grups d'aliments

	Consum d'aliment Ingesta de molibdè	
	g/dia	µg/dia
Carn i derivats	171,9	4,27
Peix i marisc	67,53	0,78
Verdures i hortalisses	159,7	13,10
Tubercles	73,06	4,62
Fruïtes	193,6	5,79
Ous	31,29	5,17
Llet	157,5	5,81
Derivats lactis	101,3	5,44
Pa i cereals	225,3	63,96
Llegums	30,36	23,62
Olis i greixos	27,16	0,14
Brioixeria	45,45	6,16
TOTAL aliments	1284	138,9

7.3.3 Ingesta diària estimada per grups de població

La taula 7.4 mostra la ingesta estimada de molibdè per als diferents grups de població, segons edat i sexe. El grup de població amb una ingesta diària estimada de molibdè més alta és el format per nois adolescents, seguit dels homes i de les noies adolescents.

Taula 7.4. Ingesta diària estimada de Molibdè dels diferents grups de població

Ingesta de Molibdè	
Homes	138,9
Dones	133,1
Nens i nenes	121,3
Nois adolescents	166,3
Noies adolescents	137,1
Homes més grans de 65 anys	128,2
Dones més grans de 65 anys	136,4

En µg/dia

7.3.4 Avaluació del risc. Comparació amb els nivells de seguretat establerts

A la taula 7.5 es compara la ingesta diària estimada de molibdè per consum d'aliments en els diferents grups de població amb la ingesta màxima tolerable i la quantitat diària recomanada per la EFSA.

Tots els grups de població fan ingestes diàries per sota de la ingesta màxima tolerable o Upper Level de 0,6 mg/dia establert pel Comitè Científic de l'Alimentació i l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària.

Taula 7.5. Comparació entre ingesta estimada de molibdè per consum d'aliments i la ingesta màxima tolerable i la quantitat diària recomanada

	Ingesta de molibdè	Upper Level (EFSA)	Quantitat diària Recomanada (EFSA/US DEPA)
	mg/dia	mg/dia	mg/dia
Homes	0,139	0,6	0,065/0,045
Dones	0,133	0,6	0,065/0,045
Nens i nenes	0,121	0,25	0,025/0,028
Nois adolescents	0,166	0,5	0,065/0,043
Noies adolescents	0,137	0,5	0,065/0,043
Homes més grans de 65 anys	0,128	0,6	0,065/0,045
Dones més grans de 65 anys	0,136	0,6	0,065/0,045

Tots els grups de població fan ingestes diàries per damunt de la quantitat diària recomanada establerta per l'EFSA i les autoritats americanes i, per tant, no hi ha risc per a la salut a causa de una deficiència. Tampoc les ingestes no excedeixen el valor de la ingesta diària màxima tolerable (Upper Level) i, en conseqüència, no hi ha risc d'intoxicació.

7.3.5 Altres estudis

A la taula 7.6 es presenten les dades d'alguns estudis similars d'arreu del món, on, tot i sent difícils les comparances per raons de les diverses metodologies i dissenys d'estudi emprats, podem situar-nos en l'entorn.

Taula 7.6. Ingesta diària de molibdè. Comparativa amb altres estudis d'ingesta

País	µg/dia	Autors
Catalunya	138,9	Aquest estudi
França	84,3-102,2	ANSES,2011
Xina	80-100	Zhang i col·ls., 2011
Anglaterra	112,7-114,8	Rose i col·ls., 2010
Itàlia	79,6	Turconi i col·ls., 2009
Corea	12,2	Choi i col·ls., 2009
Japó	131	Aung i col·ls., 2006
França	112	Noël i col·ls., 2003
França	275	Biego i col·ls., 1998