

**Determinació
de l'exposició a
bisfenols i derivats
epoxídics per
consum d'aliments
enllaunats
i envasats
en plàstic
comercialitzats
a Catalunya:
avaluació del risc
per a la salut**



Generalitat
de Catalunya

Coordinació

Agència Catalana de Seguretat Alimentària

Autors

Neus González Paradell^a, Martí Nadal Lomas^a, Eva Muñoz^b, Roger Collantes^b,
Josep Calderón^b, Laura Alcalde Sanz^c, Victòria Castell Garralda^c

^a Institut d'Investigació Sanitària Pere Virgili – Universitat Rovira i Virgili
(IISPV-URV)

^b Laboratori, Agència de Salut Pública de Barcelona (ASPB)

^c Agència Catalana de Seguretat Alimentària (ACSA)

Agraïments

Amb l'agraïment i reconeixement a la tasca realitzada pel personal del
Laboratori de l'Agència de Salut Pública de Barcelona.

Alguns drets reservats

© 2025, Generalitat de Catalunya. Departament de Salut.



Els continguts d'aquesta obra estan subjectes a una llicència de
Reconeixement-NoComercial-SenseObresDerivades 4.0 Internacional.

La llicència es pot consultar a la pàgina [web de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Unitat promotora

Agència Catalana de Seguretat Alimentària.

1^a edició

Barcelona, març de 2025.

Assessorament lingüístic

Servei de Planificació Lingüística del Departament de Salut.

Determinació
de l'exposició a bisfenols
i derivats epoxídics
per consum d'aliments

enllaunats i envasats en plàstic

comercialitzats
a Catalunya:
avaluació del risc
per a la salut



Generalitat
de Catalunya

Índex

5	Sumari
7	1. Introducció
10	2. Objectiu
11	3. Materials i mètodes
11	3.1 Selecció d'aliments
13	3.2. Determinació analítica de bisfenols i derivats epoxídics
13	3.3. Comparació amb els límits de migració específics
14	3.4. Estimació de l'exposició i avaluació del risc
15	3.5. Tractament estadístic
16	4. Resultats
16	4.1. Nivells de bisfenols i derivats epoxídics
17	4.2. Nivells de bisfenols i derivats epoxídics segons el tipus d'envàs
18	4.3. Nivells de bisfenols i derivats epoxídics segons el tipus d'aliment
21	4.4. Comparació amb el límit de migració específic
21	4.4.1. BPA
21	4.4.2. BADGE i els seus derivats
23	4.4.3. BFDGE i els seus derivats
23	4.5. Estimació de l'exposició i avaluació del risc
23	4.5.1. Estimació de l'exposició a bisfenols i derivats epoxídics pel consum d'aliments individuals
28	4.5.2. Exposició a bisfenols i derivats epoxídics pel consum de plats preparats
29	5. Conclusions
30	Referències

Sumari

Les substàncies químiques com els bisfenols i els seus derivats utilitzades en materials en contacte amb productes alimentaris poden migrar als aliments i begudes que contenen, per la qual cosa l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) en revisa periòdicament la seguretat, tenint en compte les noves dades científiques. El risc per a la salut humana està associat a la capacitat dels bisfenols i els seus derivats d'actuar sobre el sistema hormonal com a disruptors endocrins.

Aquest estudi ha analitzat els nivells de bisfenols i els seus derivats epoxídics en aliments enllaunats i envasats en plàstic comercialitzats a Catalunya. Les dades obtingudes s'han utilitzat per estimar l'exposició de la població catalana a bisfenols i derivats epoxídics a través d'aquests aliments i avaluar-ne els possibles riscos per a la salut. Els bisfenols i els derivats epoxídics analitzats han sigut els següents: BPA, BPF, BADGE, BADGE·H₂O, BADGE·2H₂O, BADGE·HCl, BADGE·2HCl, BADGE·H₂O·HCl, BFDGE, BFDGE·2HCl i BFDGE·2H₂O.

Els resultats obtinguts mostren grans diferències en el contingut dels diferents compostos analitzats en funció del tipus d'envàs de l'aliment. La majoria de compostos únicament es van detectar en aliments enllaunats, pel fet que s'utilitzen en el recobriment intern de les llaunes. Tots els aliments es van trobar per sota dels límits de migració respectius de BADGE, BFDGE i derivats.

L'avaluació del risc indica que l'exposició a BADGE i els seus derivats (BADGE·H₂O i BADGE·2H₂O) no suposa un risc per a la salut dels consumidors, ja que aquesta és gairebé tres ordres de magnitud inferior a la ingesta dietètica tolerable (IDT) (150 µg/kg de pes corporal/dia), tant pel que fa al consum d'aliments individuals com de plats preparats. En canvi, l'exposició estimada al BPA presentà valors entre un i dos ordres de magnitud per sobre de la nova IDT establerta per l'EFSA (0,2 ng/kg de pes corporal/dia). Malgrat tot, la majoria d'aliments analitzats van presentar concentracions de BPA per sota del límit de detecció, confirmant així que la presència d'aquest compost és puntual, i només té lloc en certs aliments enllaunats.



1. Introducció

Els bisfenols són una gran classe de compostos químics orgànics que s'utilitzen principalment en la producció de plàstics de polycarbonat i resines epoxídiques (epoxi), els quals es fan servir, entre d'altres usos, en materials en contacte amb aliments. Els plàstics de polycarbonat són un tipus de plàstic transparent i rígid que s'utilitza per fabricar recipients d'emmagatzematge d'aliments, ampolles de begudes, i dispensadors d'aigua, així com estris de cuina i vaixelles. Les resines epoxídiques són emprades per fabricar recobriments protectors interns de llaunes d'aliments i begudes.

El bisfenol A (BPA) és el bisfenol més utilitzat i estudiat. El bisfenol F (BPF) és un dels anàlegs del BPA més emprats, però, fins ara, ha estat molt poc avaluat.

El BPA s'utilitza com a substrat per a la producció del bisfenol A diglicidil èter (BADGE), un derivat epoxídic que és la substància de partida per a la fabricació de resines epoxi utilitzades en recobriments interns de llaunes. El BADGE també s'utilitza com a additiu, perquè funciona com a estabilitzador i com a plastificant, en organosols vinílics (mescles de PVC i resines epoxi) i com a potenciador del rendiment per a recobriments interns de llaunes a base de polièster (EFSA, 2004).

El BADGE pot donar lloc a productes derivats d'hidròlisi i hidrocloració. En aliments aquosos el BADGE es converteix en gran part en els corresponents $\text{BADGE} \cdot \text{H}_2\text{O}$ i $\text{BADGE} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Les clorhidrines $\text{BADGE} \cdot \text{HCl}$, $\text{BADGE} \cdot 2\text{HCl}$ i $\text{BADGE} \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{HCl}$ es formen a partir de la reacció de BADGE amb ions clorur durant el curat de recobriments d'organosol vinílic, o quan els aliments salats es processen en llaunes recobertes (EFSA, 2004).

El BPF, al igual que el BPA, també presenta el seu derivat epoxídic, el bisfenol F diglicidil èter (BFDGE), utilitzat en els recobriments interi-

ors de llaunes d'aliments. A partir del BFDGE es poden generar diversos derivats clorats com el BFDGE·HCl i el BFDGE·2HCl. Depenent de la naturalesa del material alimentari, ja sigui aquós o no, el BFDGE també es pot hidrolitzar i convertir-se en compostos com el BFDGE·H₂O, el BFDGE·2H₂O i el BFDGE·H₂O·HCl.

Les substàncies químiques com els bisfenols i els seus derivats utilitzades en materials en contacte amb productes alimentaris poden migrar als aliments i begudes que contenen, per la qual cosa l'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) en revisa periòdicament la seguretat, tenint en compte les noves dades científiques.

El risc per a la salut humana està associat a la capacitat dels bisfenols i els seus derivats d'actuar sobre el sistema hormonal com a disruptors endocrins. Aquestes propietats endocrines, en el cas del BPA, s'associen a efectes nocius sobre el desenvolupament neuronal, psíquic i físic dels nens, perturbacions fisiològiques en els animals i persones, com ara obesitat, trastorns reproductius, cardiovasculars i del sistema immune, i possiblement càncer de la glàndula mamària. És de suposar que el BPF, encara que menys estudiat, té uns efectes molt similars per a la salut.

El BPA, el BADGE i els seus derivats estan autoritzats per al seu ús en materials plàstics en contacte amb aliments, d'acord amb el Reglament (UE) 10/2011/UE de la Comissió sobre materials i objectes plàstics destinats a entrar en contacte amb els aliments. Aquest Reglament, a diferència de l'anterior norma sobre materials i objectes plàstics, no en permet l'ús com a additiu.

El gener de 2011, la Comissió Europea va prohibir l'ús de BPA en la fabricació de biberons per a nadons, donat que existeix una possible vulnerabilitat particular dels nadons als efectes potencials del BPA, i convé reduir-ne l'exposició tant com sigui raonablement possible.

El 2018, la Comissió Europea, mitjançant el Reglament (UE) 2018/213, va reduir el límit de migració específica (LME), que és la quantitat màxima permesa d'una determinada substància alliberada des d'un material o objecte en aliments o en simulants alimentaris, del BPA de 0,6 mg/kg a 0,05 mg/kg, derivat de la ingesta diària tole-

able (IDT) temporal establerta per l'EFSA en la seva avaluació de risc de l'any 2015. Es va prohibir el BPA en ampolles de plàstic i envasos que contenen aliments per a nadons i nens menors de tres anys a partir del setembre de 2018.

L'any 2023, l'EFSA ha reavaluat els riscos del BPA als aliments i proposa reduir de manera considerable la IDT. El 2015, l'EFSA només va poder establir una IDT temporal (4 micrograms per quilogram de pes corporal al dia) a causa de les incerteses existents, i va destacar la necessitat d'esmenar la manca de dades. En aquesta nova reavaluació, l'EFSA va abordar la majoria d'aquestes incerteses i recomana una nova IDT de 0,2 nanograms per quilogram de pes corporal al dia, un valor 20.000 vegades inferior a l'IDT anterior. Aquesta avaluació ha tingut en consideració els estudis científics publicats entre 2013 i 2018, especialment els que indiquen efectes adversos del BPA al sistema immunitari. L'EFSA també va tenir en compte altres efectes potencialment nocius per a la salut en els sistemes reproductiu, de desenvolupament i metabòlic que es van detectar a l'avaluació del risc.

En aquesta reavaluació, l'EFSA ha utilitzat les estimacions d'exposició de la seva avaluació del 2015, per la qual cosa no ha pogut avaluar les possibles reduccions en la ingesta i en l'exposició alimentària al BPA derivades de les restriccions legislatives de la Unió Europea (UE) a partir del 2015. Fins i tot considerant aquesta incertesa, l'EFSA conclou que els consumidors de tots els grups d'edat amb una exposició mitjana i elevada al BPA superen la nova IDT en dos o tres ordres de magnitud, i considera que hi ha un problema de salut per l'exposició al BPA a la dieta per a tots els grups d'edat de la població.

En aquest context, i seguint les recomanacions de l'EFSA, és necessari monitorar els nivells d'aquests tipus de compostos (bisfenols i els seus derivats) en els aliments, considerant els efectes adversos per a la salut que poden produir, per determinar-ne l'exposició i realitzar-ne avaluacions de risc.

2. Objectiu

L'objectiu general d'aquest estudi és analitzar els nivells de bisfenols i els seus derivats epoxídics en aliments enllaunats i envasats en plàstic comercialitzats a Catalunya. Les dades obtingudes s'utilitzaran per estimar l'exposició de la població catalana a bisfenols i derivats epoxídics a través d'aquests aliments i avaluar-ne els possibles riscos per a la salut.

Per tal d'assolir aquest objectiu general, s'han establert els següents objectius específics:

- Analitzar les concentracions dels següents bisfenols i els seus derivats epoxídics en aliments enllaunats i envasats en plàstic: BPA, BPF, BADGE, BADGE·H₂O, BADGE·2H₂O, BADGE·HCl, BADGE·2HCl, BADGE·H₂O·HCl, BFDGE, BFDGE·2HCl i BFDGE·2H₂O. El BPA s'ha seleccionat perquè és el bisfenol més utilitzat i regulat, i el BPF per ser un dels seus anàlegs més emprats a la indústria. Els derivats epoxídics s'han escollit perquè s'han regulat límits de migració específics i/o valors d'IDT, excepte per al BFDGE i derivats, que han estat analitzats per comprovar-ne la possible presència, ja que estan prohibits a la UE.
- Estimar el nivell actual d'exposició de la població catalana als bisfenols i els seus derivats epoxídics analitzats a través del consum de menjar enllaunat i envasat en plàstic.
- Comparar els nivells d'exposició de la població de Catalunya amb els obtinguts en estudis d'altres països.
- Avaluar el risc que representa el nivell d'exposició tenint en compte els valors de seguretat toxicològica establerts.

3. Materials i mètodes

3.1. Selecció d'aliments

Després de fer un estudi de mercat dels productes alimentaris enllaunats i dels envasats en plàstic comercialitzats en diferents tipus d'establiments alimentaris, es van seleccionar 36 categories diferents d'aliments, les quals es van dividir en dos grans grups: a) 22 aliments i begudes; i b) 14 plats preparats:

- **Aliments i begudes**

1. Peix i marisc
 - a. Tonyina en llauna (n=12)
 - b. Anxoves en llauna (n=12)
 - c. Sardines en llauna (n=12)
2. Carn i derivats càrnics
 - a. Salsitxes cuites en plàstic (n=12)
 - b. Paté de fetge de porc en llauna (n=12)
 - c. Foie-gras en llauna (n=12)
 - d. Pollastre/gall dindi en llauna (n=12)
3. Verdures i hortalisses
 - a. Blat de moro en llauna (n=12)
 - b. Tomàquet en llauna (n=12)
 - c. Espàrrecs en llauna (n=12)
 - d. Xampinyons en llauna (n=12)
4. Fruita
 - a. Olives en llauna (n=12)
 - b. Préssec en almívar en llauna (n=12)
 - c. Pinya en almívar en llauna (n=12)
5. Llet i derivats làctics
 - a. Llet condensada en plàstic (n=12)
 - b. Llet en envàs de plàstic (n=12)
6. Olis i greixos
 - a. Oli d'oliva en envàs de plàstic (n=12)
 - b. Oli d'oliva en llauna (n=12)

7. Salses
 - a. Salses variades en plàstic: quètxup, mostassa, barbacoa (n=10)
 - b. Tomàquet fregit en llauna (n=7)

8. Begudes
 - a. Refresc de cola en llauna (n=12)
 - b. Cervesa en llauna (n=12)

- **Plats preparats**

1. Carns
 - a. Mandonguilles (llauna; n=12)
 - b. Tripa (*callos*) (llauna; n=12)
 - c. Altres carns (llauna; n=12)
 - d. Carns (plàstic; n=12)
2. Llegums
 - a. Llenties (llauna; n=12)
 - b. Fesols (llauna; n=12)
 - c. Cigrons (llauna; n=12)
 - d. Llenties i cigrons (plàstic; n=12)
 - e. Fesols, faves i llenties (plàstic; n=12)
3. Pasta i verdura
 - a. Pasta i verdura (llauna; n=7)
 - b. Pasta (plàstic; n=12)
 - c. Pasta deshidratada (plàstic; n=12)
 - d. Verdura (plàstic; n=12)
4. Arròs (plàstic; n=12)

Es van adquirir 12 mostres individuals de la majoria de grups d'aliments, llevat de les sales variades (n=10), el tomàquet fregit en llauna (n= 7) i la pasta i verdura en llauna (n=7), per la falta de diversitat en marques i tipus. Per tant, es van recollir un total de 420 productes individuals. Les mostres es van comprar en diferents supermercats, hipermercats i comerç al detall d'alimentació de les ciutats de Reus i Tarragona.

De cada categoria d'aliment es van preparar 3 mostres compòsit formades per 4 mostres individuals, a excepció dels grups d'aliments amb menys de 12 productes, dels quals cada compòsit estava representat per 2 o 3 mostres individuals. En tots els casos, es van preparar compòsits amb el mateix pes aproximat (250 g). Les mostres es van condicionar i analitzar al Laboratori de l'Agència de Salut Pública de Barcelona (ASPB).

3.2. Determinació analítica de bisfenols i derivats epoxídics

Per a l'anàlisi dels 11 compostos es van pesar 10 g de mostra homogeneïtzada en un tub Falcon de 50 mL, al qual es van afegir 10 mL de tampó fosfat i 10 mL d'acetonitril. Seguidament, es van addicionar les sals QuEChERS $\text{MgSO}_4\cdot\text{NaCl}$ (4:1), es van agitar i es van centrifugar els tubs. A continuació, se'n va extraure el sobrenedant i es va passar a un tub dispersiu de 15 mL que contenia 400 mg de PSA, 400 mg de carbó actiu, 400 mg de C18EC i 1200 mg de sulfat de magnesi i, novament, es van agitar i centrifugar les mostres. Posteriorment, es van prendre 4 mL d'extracte i es van evaporar a sequedat. Tot seguit, es va redissoldre l'extracte amb 375 μL d'aigua:acetonitril (75:25), es va agitar i sonicar. Per últim, es va filtrar per 0,22 μm i es van injectar 10 μL al sistema UPLC amb detector de masses de triple quadrupol. Els límits de detecció (LOD) van ser els següents: 0,020 mg/kg per al BADGE, BADGE $\cdot\text{H}_2\text{O}$, BADGE $\cdot\text{HCl}$, BFDGE $\cdot 2\text{HCl}$, BFDGE $\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, BADGE $\cdot 2\text{HCl}$ i BPF; 0,008 mg/kg per al BADGE $\cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0,040 mg/kg per al BADGE $\cdot\text{HCl}\cdot\text{H}_2\text{O}$ i 0,004 mg/kg per al BFDGE i BPA.

3.3. Comparació amb els límits de migració específics

Els valors de concentració en els aliments també es van comparar amb el límit de migració disponible per a cadascun dels compostos, indicats a la Taula 1. El límit de migració es refereix al contingut màxim permès d'una substància en els aliments. En el cas del límit de migració específic per al sumatori de BFDGE, BFDGE $\cdot\text{H}_2\text{O}$, BFDGE $\cdot\text{HCl}$, BFDGE $\cdot 2\text{HCl}$ i BFDGE $\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{HCl}$, només es considerarà el sumatori dels compostos analitzats en aquest estudi (BFDGE, BFDGE $\cdot 2\text{HCl}$ i BFDGE $\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Cal indicar que el BFDGE havia sigut autoritzat per a una pròrroga de 3 anys d'acord amb la Directiva 2002/16/CE, però al no presentar-se a temps les dades toxicològiques necessàries en relació amb el BFDGE, l'EFSA no l'ha pogut avaluar, de manera que no és possible continuar utilitzant-lo a la UE per a la fabricació i material d'objectes elaborats amb qualsevol tipus de plàstic des de l'1 de gener de 2005, de conformitat amb el Reglament (CE) 1895/2005.

Taula 1. Límits de migració específics establerts per la Comissió Europea per a diferents compostos.

Compost	Límit de migració específic (mg/kg)	Referència
BPA	0,05	Reglament (UE) 2018/213
Sumatori: BADGE, BADGE·H ₂ O, BADGE·2H ₂ O	9	Reglament (CE) 1895/2005
Sumatori: BADGE·HCl, BADGE·2HCl, BADGE·H ₂ O·HCl	1	Reglament (CE) 1895/2005
Sumatori: BFDGE, BFDGE·H ₂ O, BFDGE·HCl, BFDGE·2HCl, BFDGE·H ₂ O·HCl	1	Directiva 2002/16/CE (derogada)

3.4. Estimació de l'exposició i avaluació del risc

La determinació de l'exposició dietètica per als aliments enllaunats i envasats en plàstic es va fer utilitzant les dades de consum de l'Enquesta Nacional d'Alimentació en població infantil i adolescent (ENALIA) i de l'Enquesta Nacional d'Alimentació en població adulta, gent gran i embarassades (ENALIA 2), realitzades per l'Agència Espanyola de Seguretat Alimentària i Nutrició (AESAN) (AESAN, 2016 a, b). En aliments i begudes en els quals hi ha dues o més varietats disponibles (per exemple, refresc de cola, cervesa, tonyina, olives o llet), es va agafar el valor de consum més elevat, a fi i efecte de considerar l'escenari més conservador.

En relació amb els plats preparats, l'estimació de la ingesta dietètica es va calcular considerant-ne el consum d'una ració sencera. El càlcul es va fer avaluant el pes mitjà de les mostres individuals adquirides per cada tipus d'aliment preparat.

L'estimació de l'exposició dietètica es va fer seguint les recomanacions metodològiques de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), utilitzant l'estratificació de la població per edats i pesos mitjans emprada als estudis de dieta total (OMS, 2011).

D'acord amb les directrius de l'OMS, es van considerar diferents grups d'edat, en funció de la disponibilitat de dades, i es va estratificar la població en grups d'edat per adequar-los a l'estructura d'ENALIA i ENALIA 2 (Taula 2).

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

Grup de població	Interval d'edat (anys)	Pes corporal mitjà (kg)
Nens	3-9	24
Adolescents	10-17	51
Adults	18-39	72
Adults	40-64	77
Adults	65-74	70,5
Embarassades	-	65

L'avaluació del risc es va dur a terme comparant l'exposició estimada amb els valors d'IDT establerts per l'EFSA (Taula 3).

L'exposició al BPA es va comparar amb la IDT establerta per l'EFSA en 0,2 ng/kg de pes corporal/dia. Aquest és el valor tabulat més recent, ja que fa relativament pocs anys l'EFSA havia establert una IDT temporal de 4 µg/kg de pes corporal/dia (EFSA, 2015).

Taula 3. Valors d'ingesta diària tolerable (IDT) establerts per l'exposició a BPA i derivats epoxídics.

Compost	Ingesta diària tolerable (IDT)	Referència
BPA	0,2 ng/kg de pes corporal/dia	EFSA, 2023
Sumatori: BADGE, BADGE·H ₂ O, BADGE·2H ₂ O	0,15 mg/kg de pes corporal/dia	EFSA, 2004

3.5. Tractament estadístic

L'anàlisi estadística de les dades obtingudes es va fer utilitzant el programari SPSS 25.0. La significació estadística es va calcular aplicant, primerament, el test de Shapiro-Wilk per establir l'homogeneïtat de les variàncies. A continuació, es va aplicar el test estadístic ANOVA o Kruskal-Wallis, en funció de si les dades seguien una distribució normal o no, respectivament. Es va considerar com a significativa una probabilitat inferior a 0,05 ($p < 0,05$). El tractament estadístic de les concentracions per sota del límit de detecció (LOD) es va fer assumint l'aproximació *middle-bound*, segons la qual la concentració per sota del LOD es considera la meitat del límit de detecció respectiu (1/2 LOD).

4. Resultats

A continuació, es presenten els nivells de bisfenols i els seus derivats epoxídics presents als aliments enllaunats i envasats en plàstic, l'estimació de l'exposició i l'avaluació del risc.

4.1. Nivells de bisfenols i derivats epoxídics

La Taula 4 mostra el percentatge de detecció i les concentracions mitjanes de BPA, BPF, BADGE, BADGE·2H₂O, BADGE·H₂O, BADGE·HCl·H₂O, BADGE·HCl, BFDGE, BFDGE·2HCl, BFDGE·2H₂O i BADGE·2HCl detectats en les mostres analitzades d'aliments i plats preparats enllaunats i envasats en plàstic.

L'anàlit més detectat va ser el BADGE·2H₂O (40,5%; mitjana de $0,62 \pm 0,95$ mg/kg), seguit del BPA (13,5%; mitjana de $0,03 \pm 0,02$ mg/kg) i del BADGE·HCl·H₂O (8,11%; mitjana de $0,14 \pm 0,07$ mg/kg). La resta d'anàlits es varen detectar en un baix nombre de mostres, d'entre el 0,90 i el 3,60%. Quant als derivats epoxídics del BPA, tant el BADGE com el BADGE·H₂O es van detectar en un 1,8% de les mostres, amb unes concentracions mitjanes de $0,10 \pm 0,10$ i $0,02 \pm 0,002$ mg/kg, respectivament. D'altra banda, només es va detectar un dels derivats epoxídics del BPF en les mostres (BFDGE), amb una concentració mitjana de $0,03 \pm 0,003$ mg/kg. Els altres dos compostos (BFDGE·2HCl i BFDGE·2H₂O) van presentar valors per sota del límit de detecció en totes les mostres. Tal com s'ha observat en altres estudis (Sirost et al., 2021; Yonekubo et al., 2008), el BADGE·2H₂O i el BADGE·HCl·H₂O són els derivats majoritaris del BADGE, raó per la qual és necessari tenir-los en compte i així evitar subestimar l'exposició.

El BPF va ser el compost amb la concentració mitjana més elevada ($0,99 \pm 1,36$ mg/kg), seguit del BADGE·2H₂O ($0,62 \pm 0,95$ mg/kg). Cal destacar que, en totes les mostres analitzades, el BPA, un dels principals contaminants objectiu, va presentar valors relativament baixos en comparació amb els derivats epoxídics estudiats.

4.2. Nivells de bisfenols i derivats epoxídics segons el tipus d'envàs

La Taula 5 mostra el percentatge de detecció i les concentracions mitjanes de BPA, BPF, BADGE, BADGE·2H₂O, BADGE·H₂O, BADGE·HCl·H₂O, BADGE·HCl, BFDGE, BFDGE·2HCl, BFDGE·2H₂O i BADGE·2HCl en funció del tipus d'envàs (aliments enllaunats i envasats amb plàstic).

S'observaren grans diferències en funció del tipus d'envàs de l'aliment. Es van trobar traces de la majoria de compostos en almenys una mostra d'aliment en llauna, a excepció del BFDGE·2HCl, el BFDGE·2H₂O i el BPF, que no es van detectar. Aquest fet estaria estretament lligat a la utilització d'aquestes substàncies per al recobriment intern de les llaunes. D'altra banda, no es va detectar cap dels compostos analitzats en les mostres d'aliments envasats en plàstics, llevat del BPF, que es va quantificar únicament en dues mostres compòsit de salses variades en plàstic. Una d'elles era una mescla preparada a partir de diverses salses de mostassa, que va presentar una concentració d'1,95 mg/kg.

Diversos estudis confirmen que la mostassa pot contenir bisfenol F de manera natural, el qual s'origina a partir de la sinalbina, un glucosinolat present a les llavors de mostassa blanca (Zoller et al., 2015; Lietzow, 2021).

Taula 4. Percentatge de detecció, concentració mitjana i desviació estàndard, de bisfenols i derivats epoxídics trobats en les mostres compòsit analitzades.

Paràmetres	Compost (bisfenols i derivats epoxídics)										
	BADGE	BADGE 2H ₂ O	BADGE H ₂ O	BADGE HCl·H ₂ O	BADGE HCl	BFDGE	BFDGE 2HCl	BFDGE 2H ₂ O	BADGE 2HCl	BPA	BPF
Detecció* (%)	2	42	2	8	1	4	0	0	1	12	2
Concentració mitjana* (mg/kg)	0,097	0,62	0,024	0,14	0,027	0,031	-	-	0,056	0,031	0,99
Desviació estàndard* (mg/kg)	0,105	0,95	0,002	0,07	-	0,003	-	-	-	0,018	1,36

*Només s'han considerat els valors >LOD per fer els càlculs.

Taula 5. Percentatge de detecció, mitjana i desviació estàndard, de bisfenols i derivats epoxídics segons el tipus d'envàs de l'aliment.

Compost (bisfenols i derivats epoxídics)									
Paràmetres	BADGE	BADGE·2H ₂ O	BADGE·H ₂ O	BADGE·HCl·H ₂ O	BADGE·HCl	BFDGE	BADGE·2HCl	BPA	BPF
Aliments envasats en llauna									
Detecció (%)*	3	62	3	12	1	6	1	17	0
Concentració mitjana (mg/kg)*	0,10	0,62	0,02	0,14	0,03	0,03	0,06	0,03	-
Desviació estàndard (mg/kg)*	0,10	0,95	0,002	0,07	-	0,003	-	0,02	-
Aliments envasats en plàstic									
Detecció (%)*	0	0	0	0	0	0	0	0	6
Concentració mitjana (mg/kg)*	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99
Desviació estàndard (mg/kg)*	-	-	-	-	-	-	-	-	1,36

*Només s’han considerat els valors >LOD per fer els càlculs.

4.3. Nivells de bisfenols i derivats epoxídics segons el tipus d'aliment

La Taula 6 mostra les concentracions mitjanes i desviacions estàndard dels aliments que contenen nivells detectables de, com a mínim, un anàlit. El tipus d'aliment en el qual s’ha trobat un major nombre de compostos és l’espàrrec (5 dels 11 compostos analitzats), i el BADGE·2H₂O és el que va presentar una concentració mitjana més elevada (0,23 mg/kg). En 17 de les 36 categories d'aliments avaluats no es va detectar cap de les substàncies analitzades. La concentració més elevada de BADGE·2H₂O es va trobar en la tripa (*callos*) en llauna (2,47 mg/kg), seguit del *foie-gras* en llauna (2,37 mg/kg). Els nivells en aliments del grup de les verdures són més alts en el present estudi, si es compara amb altres investigacions (Li et al., 2022; Yonekubo et al., 2008), mentre que el blat de moro presenta uns nivells més baixos en comparació amb els estudis d’Uematsu et al. (2001) i Gallart-Ayala et al. (2011).

Només es va detectar BADGE en dos tipus d'aliments: la tonyina en llauna i el paté de porc (0,02 i 0,07 mg/kg, respectivament). En aquest cas, els nivells en peix van ser similars als observats a la literatura científica (Fattore et al., 2015; Toptancı, 2023).

El BADGE·H₂O també es va detectar en només dos aliments, ambdós en-llaunats: la tonyina en llauna (0,02 mg/kg) i la sardina en llauna

(0,03 mg/kg). Altres estudis de diferents autors també mostren que el contingut de BADGE·H₂O en aliments és majoritàriament inferior al límit de detecció respectiu. Pel que fa al BADGE·HCl·H₂O, la concentració més elevada es va detectar en un compòsit de paté de porc (0,26 mg/kg). Si es compara amb altres estudis, les concentracions trobades en l'estudi actual són més altes en peix i verdures (Yonekubo et al., 2008), però similars en espàrrecs (Gallart-Ayala et al., 2011).

El BADGE·HCl només es va detectar en un dels compòsits d'espàrrecs en llauna (0,03 mg/kg), mentre que el BADGE·2HCl es va trobar tan sols en un compòsit de paté de porc (0,06 mg/kg). De forma similar, el BFDGE només es va detectar en espàrrecs en llauna (0,03 mg/kg) i en xampinyons en llauna (0,04 mg/kg). D'igual manera, l'únic aliment que contenia BPF va ser la salsa en plàstic (0,99 mg/kg). Concretament, el nivell més alt (1,95 mg/kg) es va trobar en el compòsit que contenia mostres de salsa de mostassa. Com s'ha comentat, el BPF es troba de manera natural en aquest aliment (Zoller et al., 2015). En tot cas, molts dels estudis científics publicats fins ara indiquen, per a la majoria d'aliments avaluats, concentracions inferiors al límit de detecció.

El BPA es va detectar en concentracions similars en tots els tipus d'aliments, amb un rang d'entre 0,01 i 0,05 mg/kg. Els valors de BPA en tonyina i espàrrecs són similars als obtinguts en un estudi de Tarragona (González et al., 2020), però menors als observats en altres llocs d'Espanya, com ara Còrdova, Múrcia i València (Alabi et al., 2014; Cacho et al., 2012; Ferrer et al., 2011).

En general, considerant aquest i els estudis citats en aquest treball, no sembla que hi hagi una tendència clara en els nivells d'aquests compostos en aliments. Aquest fet podria explicar-se per la procedència geogràfica dels aliments, ja que en alguns països no existeix regulació pels bisfenols i els seus derivats epoxídics. Una altra possible causa serien les diferències metodològiques per analitzar aquests compostos, ja que en el present estudi el límit de detecció és, en general, més elevat que en altres estudis científics, el que interferiria en la detecció de nivells traça d'aquests compostos. Per últim, cal remarcar que no tots els grups d'aliments que s'han analitzat en altres estudis inclouen els mateixos aliments que en el present estudi, de manera que la mateixa variabilitat d'aliments mostrejats comporta una difícil comparabilitat.

Taula 6. Concentració mitjana i desviació estàndard de bisfenols i derivats epoxídics en diferents grups d'aliments.

Grup d'aliment	Concentració mitjana (mg/kg)								
	BADGE	BADGE 2H ₂ O	BADGE H ₂ O	BADGE HCl·H ₂ O	BADGE HCl	BFDGE	BADGE 2HCl	BPA	BPF
Tonyina en llauna	0,02*	0,14 ± 0,04	0,02*	-	-	-	-	0,042 ± 0,005	-
Sardines en llauna	-	0,32 ± 0,21	0,03*	0,09 ± 0,09	-	-	-	0,042 ± 0,007	-
Paté de fetge de porc en llauna	0,17*	0,92 ± 1,08	-	0,26*	-	-	0,06*	-	-
Foie-gras en llauna	-	2,37 ± 1,59	-	-	-	-	-	-	-
Pollastre/gall dindi en llauna	-	0,10 ± 0,04	-	-	-	-	-	0,006 ± 0,002	-
Blat de moro en llauna	-	0,15 ± 0,07	-	-	-	-	-	-	-
Tomàquet en llauna	-	0,17 ± 0,10	-	-	-	-	-	-	-
Espàrrecs en llauna	-	0,23 ± 0,02	-	0,17 ± 0,07	0,03*	0,03 ± 0,002	-	0,045 ± 0,007	-
Xampinyons en llauna	-	0,37 ± 0,15	-	0,10 ± 0,01	-	0,04*	-	-	-
Olives en llauna	-	0,17 ± 0,24	-	-	-	-	-	-	-
Préssec en almívar	-	0,030 ± 0,002	-	-	-	-	-	-	-
Tomàquet fregit en llauna	-	0,15 ± 0,13	-	-	-	-	-	-	-
Llenties en llauna	-	1,06*	-	-	-	-	-	-	-
Fesols en llauna	-	2,11*	-	-	-	-	-	-	-
Mandonguilles en llauna	-	0,13 ± 0,04	-	0,09*	-	-	-	-	-
Tripa (<i>callos</i>) en llauna	-	2,47 ± 1,46	-	-	-	-	-	-	-
Altres carns en llauna	-	1,27 ± 1,41	-	-	-	-	-	0,013*	-
Pasta i verdura en llauna	-	0,29*	-	-	-	-	-	-	-
Salses variades en plàstic	-	-	-	-	-	-	-	-	0,99 ± 1,36

*Només hi ha un valor >LOD i no ha estat possible calcular la desviació estàndard.

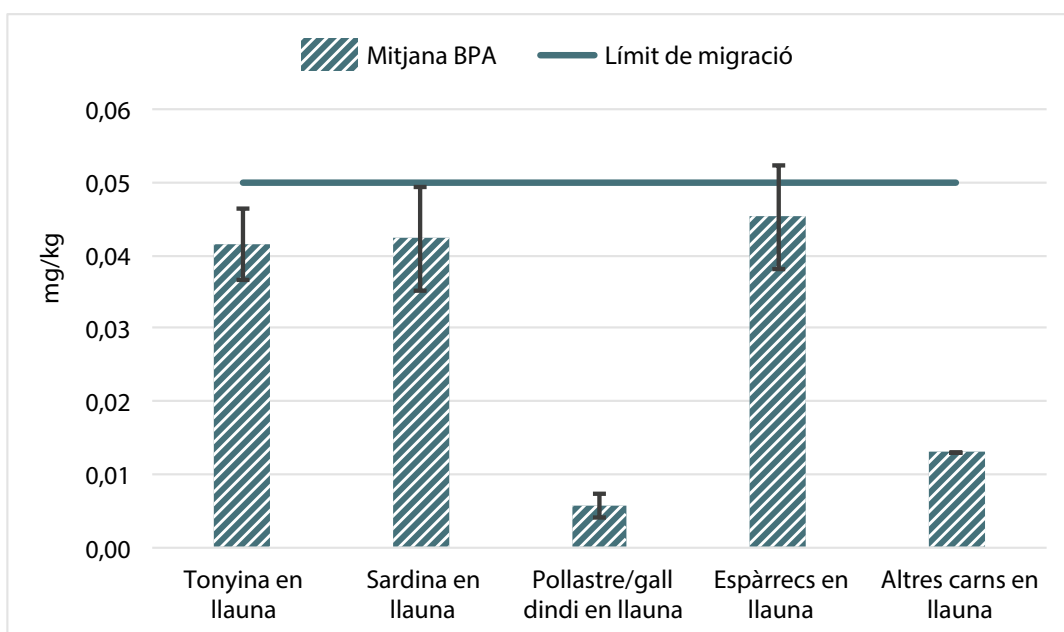
En el càlcul de la mitjana només s'han tingut en compte els valors >LOD.

4.4. Comparació amb el límit de migració específic

4.4.1. BPA

La Figura 1 compara els valors mitjans de BPA de diferents tipus d'aliments, en els quals s'ha detectat BPA, amb el límit de migració específic.

Figura 1. Comparació dels valors de BPA amb el límit de migració establert per la Comissió Europea. Només s'han considerat les mostres compòsit amb una concentració >LOD.



El BPA té un límit de migració específic de 0,05 mg/kg establert per la Comissió Europea (2018). El valor mitjà màxim de BPA es trobà als espàrrecs en llauna (0,045 mg/kg), un valor molt proper al límit de migració (0,05 mg/kg). De fet, un dels compòsits individuals dels espàrrecs en llauna va superar aquest límit (0,053 mg/kg). Tant la tonyina en llauna com la sardina en llauna presentaren valors mitjans gairebé iguals (0,042 mg/kg) i molt propers al límit de migració. El valor mitjà més baix detectat va correspondre al pollastre/gall dindi en llauna (0,006 mg/kg).

4.4.2. BADGE i els seus derivats

Les Figures 2 i 3 mostren la comparació entre els nivells mitjans del Σ BADGE, $\text{BADGE} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{BADGE} \cdot \text{H}_2\text{O}$ i del $\Sigma\text{BADGE} \cdot \text{HCl} \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{BADGE} \cdot \text{HCl}$, $\text{BADGE} \cdot 2\text{HCl}$ amb els seus respectius límits de migració.

La Comissió Europea va establir un límit de migració de 9 mg/kg per a la suma de BADGE , $\text{BADGE} \cdot \text{H}_2\text{O}$ i $\text{BADGE} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. i un límit de migració

d'1mg/kg per al sumatori de BADGE·HCl, BADGE·2HCl i BADGE·H₂O·HCl (Comissió Europea, 2005).

Figura 2. Comparació dels valors mitjans del Σ BADGE, BADGE·2H₂O i BADGE·H₂O amb el límit de migració establert per la Comissió Europea.

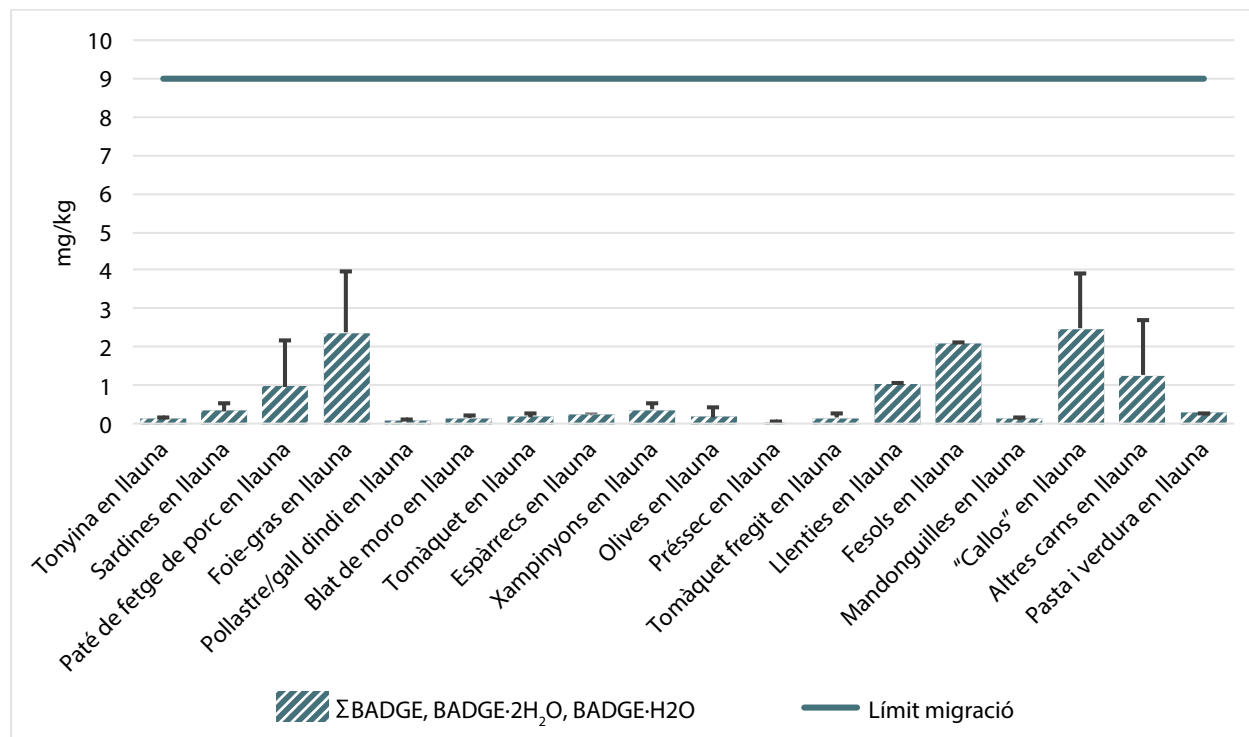
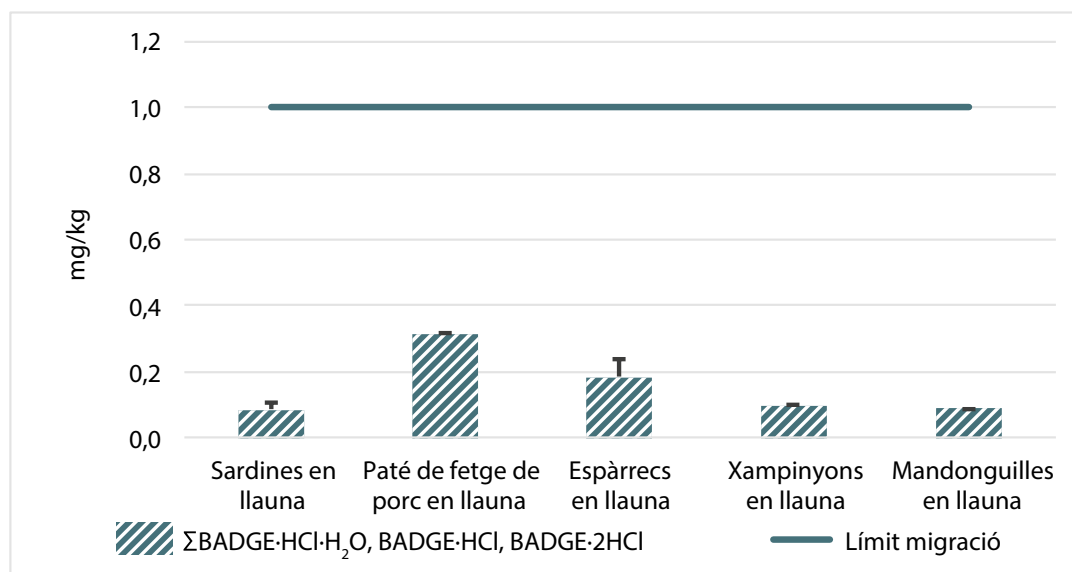


Figura 3. Comparació dels valors mitjans del Σ BADGE·HCl·H₂O, BADGE·HCl i BADGE·2HCl amb el límit de migració establert per la Comissió Europea.



Totes les mostres van presentar valors molt per sota del límit de migració de 9 mg/kg per Σ BADGE, BADGE $\cdot$ 2H₂O i BADGE $\cdot$ H₂O (Figura 2). La concentració mitjana més elevada de Σ BADGE, BADGE $\cdot$ 2H₂O i BADGE $\cdot$ H₂O es va trobar en la tripa (*callos*) en llauna (2,47 mg/kg), seguit del *foie-gras* en llauna (2,37 mg/kg).

Anàlogament, totes les mostres presentaren valors molt per sota del límit de migració d'1 mg/kg per Σ BADGE $\cdot$ HCl $\cdot$ H₂O, BADGE $\cdot$ HCl i BADGE $\cdot$ 2HCl (Figura 3). El valor mitjà més elevat de Σ BADGE $\cdot$ HCl $\cdot$ H₂O, BADGE $\cdot$ HCl i BADGE $\cdot$ 2HCl es va trobar en el paté de fetge de porc en llauna (0,32 mg/kg), seguit dels espàrrecs en llauna (0,18 mg/kg).

4.4.3. BFDGE i els seus derivats

En relació amb el BFDGE, només dos tipus d'aliments (espàrrecs en llauna i xampinyons en llauna) han presentat compòsits individuals per sobre del LOD del sumatori de BFDGE, BFDGE $\cdot$ 2HCl, i BFDGE $\cdot$ 2H₂O, els derivats analitzats en aquest estudi, i en tots dos casos molt per sota del límit de migració específic vigent fins el 2005 a la UE.

4.5. Estimació de l'exposició i avaluació del risc

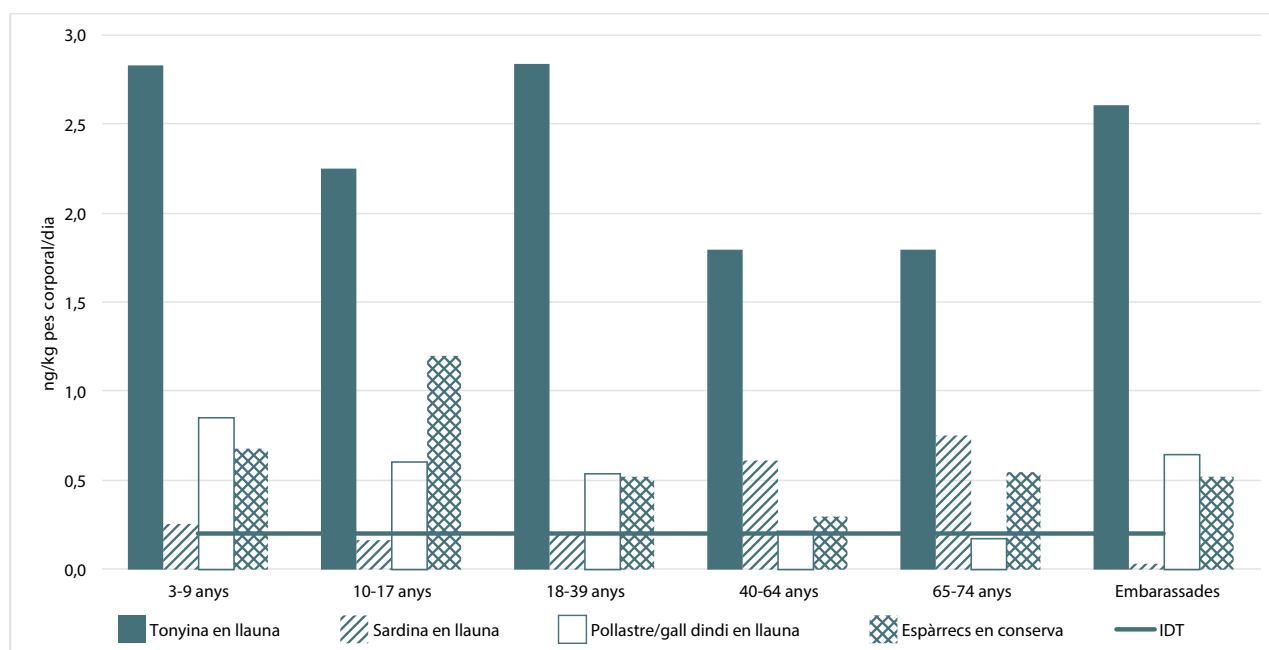
L'estimació de l'exposició a bisfenols i derivats epoxídics i l'avaluació del risc associada es va fer per separat per als aliments individuals i els plats preparats.

4.5.1. Estimació de l'exposició a bisfenols i derivats epoxídics pel consum d'aliments individuals

L'exposició estimada a bisfenols i derivats epoxídics a través d'aliments considerats de manera individual es va avaluar i comparar amb els valors d'IDT establerts per a cada compost. El càlcul de l'exposició es va fer només per aquells aliments individuals amb valors de bisfenols i derivats epoxídics per damunt del límit de detecció, és a dir, tonyina en llauna, sardina en llauna, pollastre/gall dindi en llauna i espàrrecs en llauna.

La Figura 4 mostra la comparació entre l'exposició estimada a BPA pel consum d'aquests aliments individuals i la IDT, establerta en 0,2 ng/kg de pes corporal/dia per l'EFSA (2023).

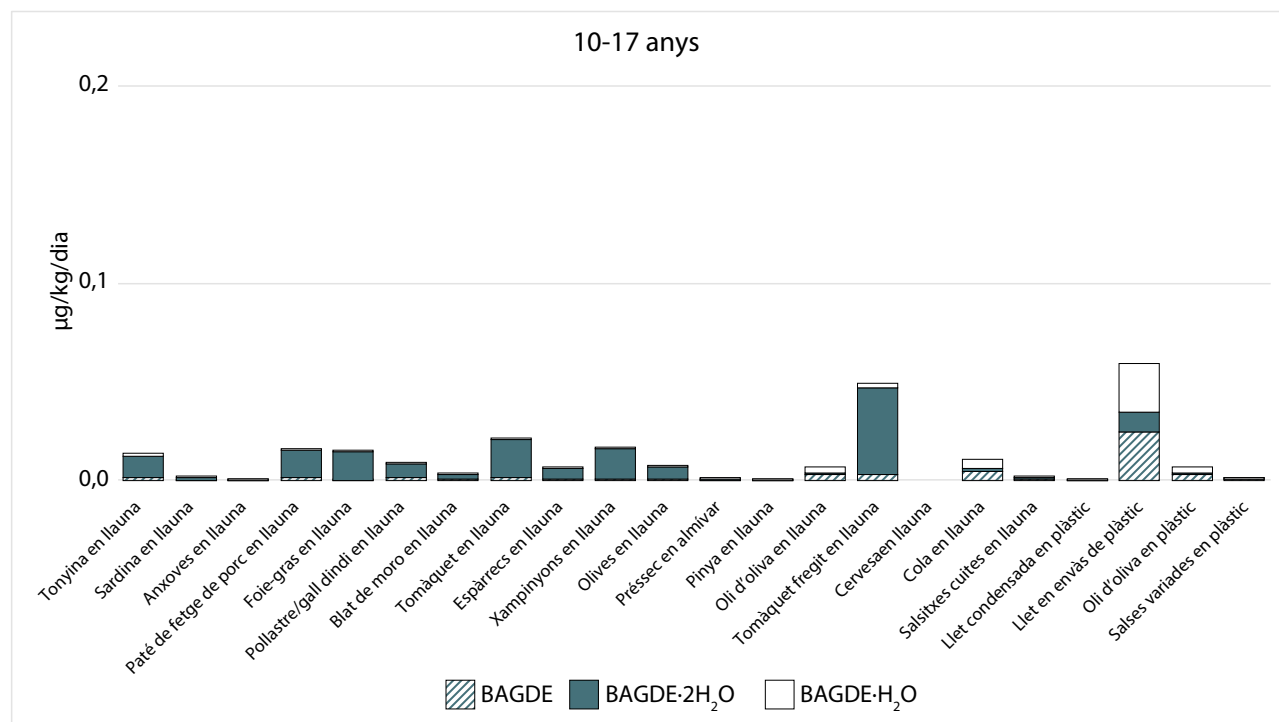
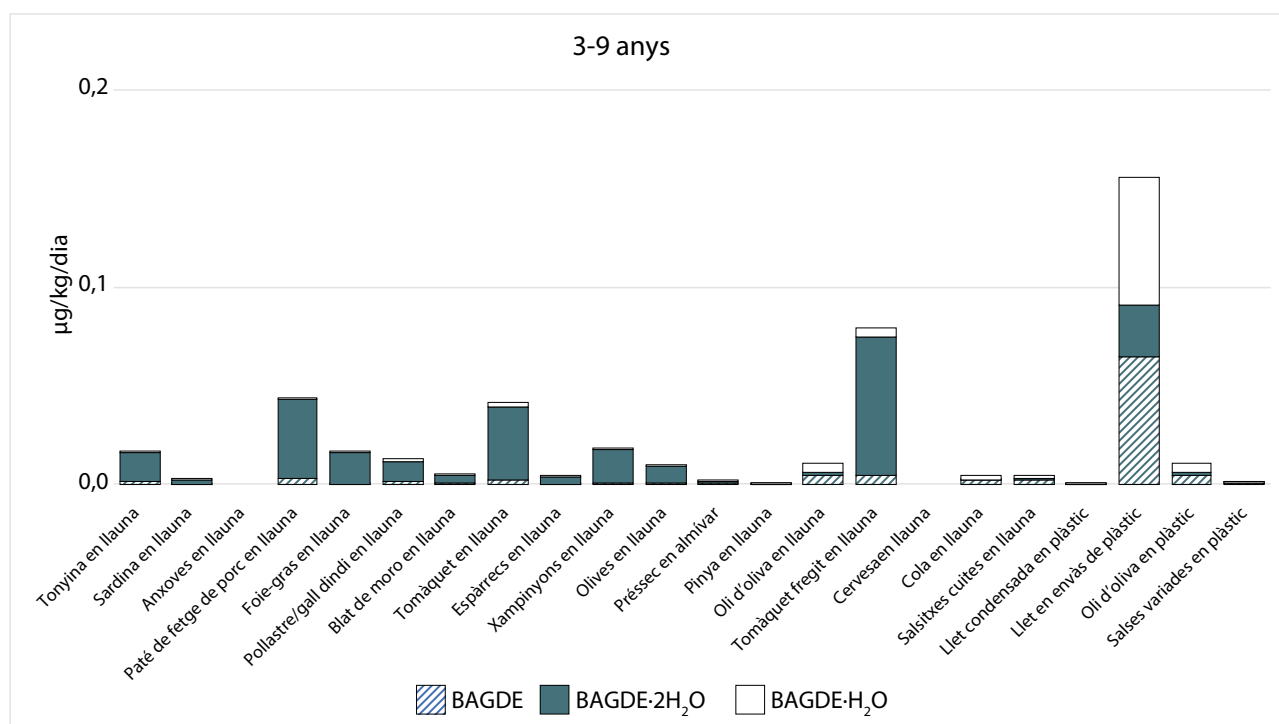
Figura 4. Exposició estimada de BPA a través d'aliments individuals i comparació amb la IDT establerta per l'EFSA.

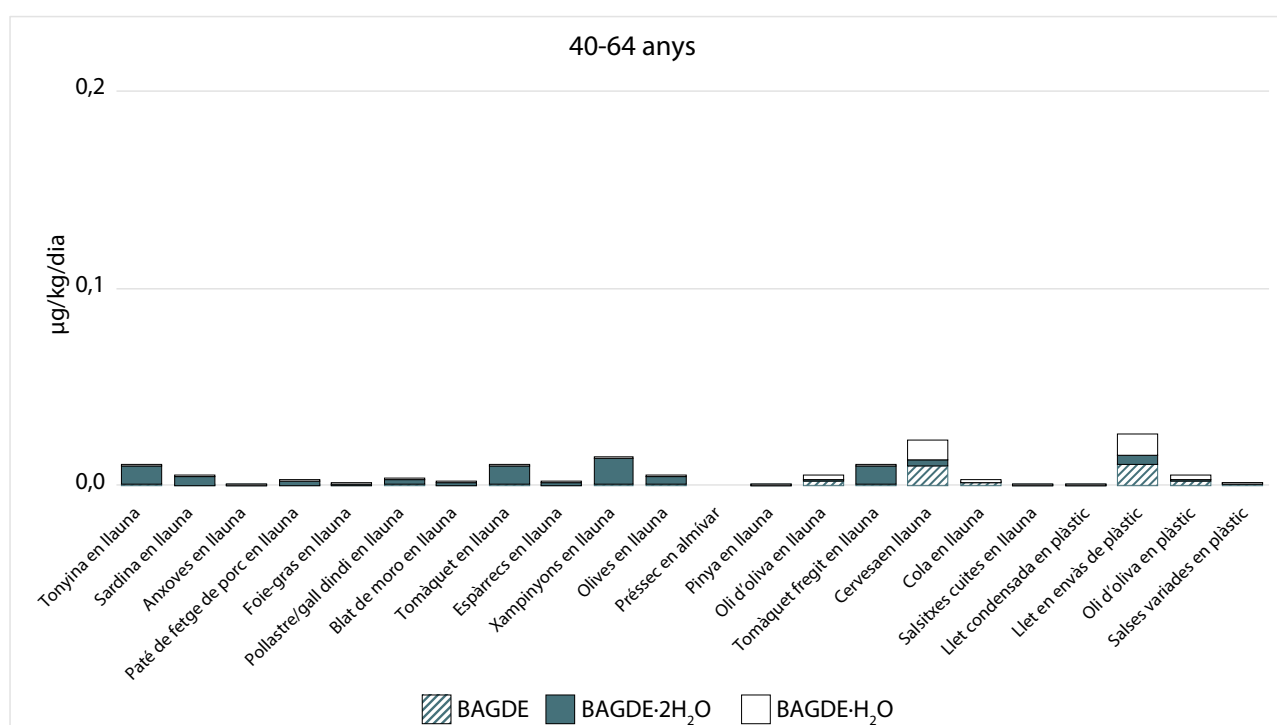
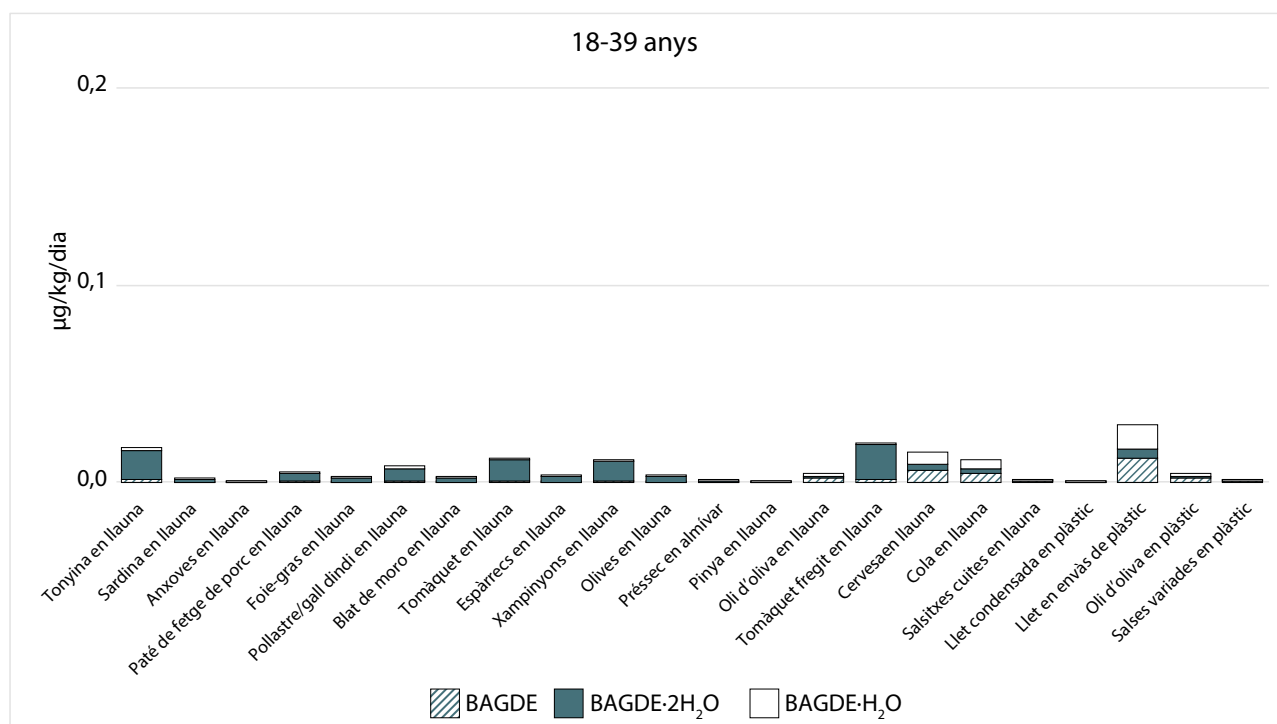


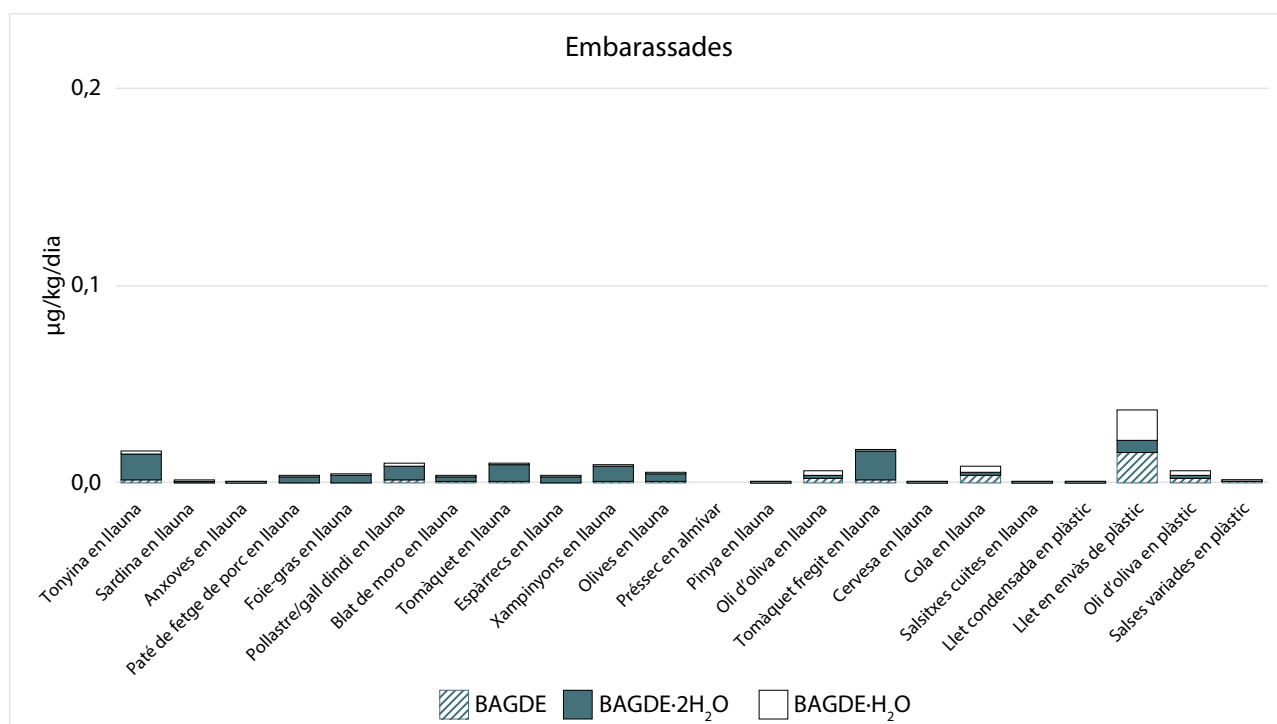
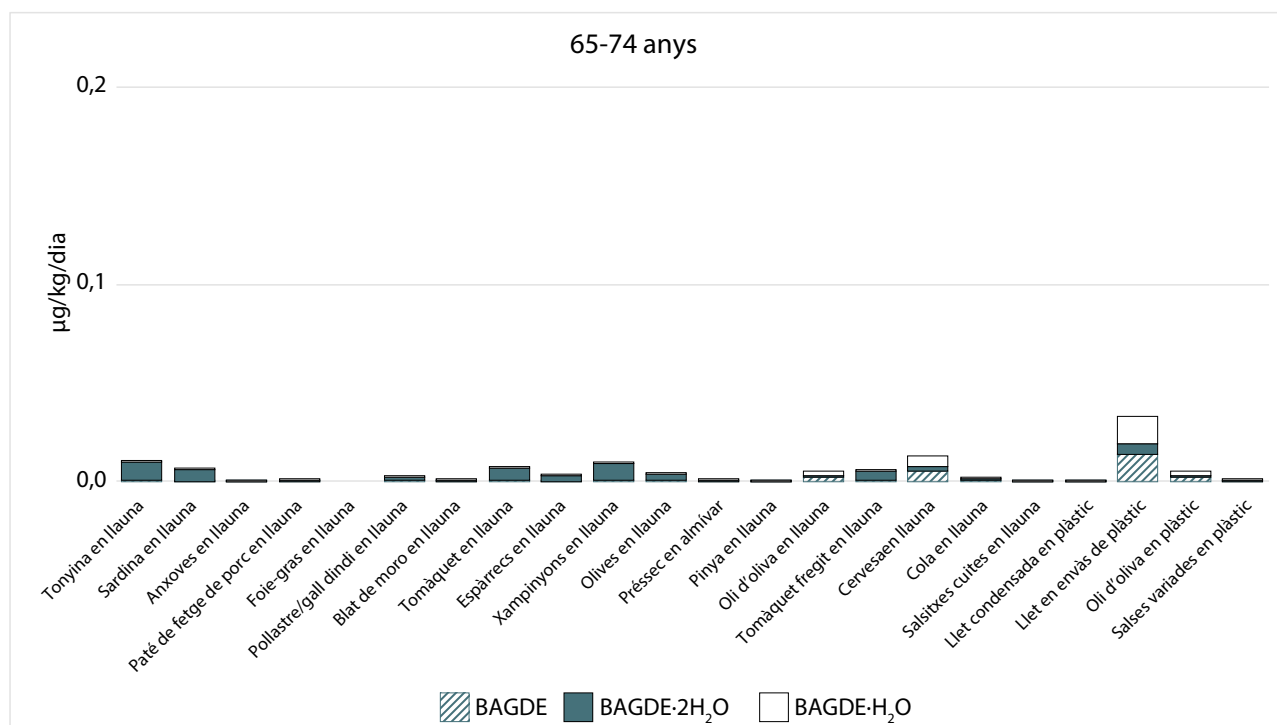
En tots els casos, la ingesta va superar la IDT, essent especialment notori el cas de la tonyina en llauna. Aquest resultat és molt similar al que assenyalava l'EFSA en el seu informe més recent sobre el BPA, on conclou que tots els grups de població, incloent-hi nadons i infants, estan en risc degut a l'exposició al BPA, ja que sobrepassen en dos o tres ordres de magnitud la IDT (EFSA, 2023). Cal destacar que, si es considera la IDT anterior establerta per l'EFSA ($4 \mu\text{g}/\text{kg}$ de pes corporal/dia (EFSA, 2015), l'exposició estimada de tots els grups de població avaluats estaria per sota d'aquest valor.

A la Figura 5 es mostra l'exposició a BADGE, $\text{BADGE}\cdot\text{H}_2\text{O}$ i $\text{BADGE}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ pel consum d'aliments individuals. La IDT per al sumatori de BADGE, $\text{BADGE}\cdot\text{H}_2\text{O}$ i $\text{BADGE}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ és de $150 \mu\text{g}/\text{kg}$ pes corporal/dia. Per a tots els grups de població, el $\text{BADGE}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ va ser el compost amb una contribució més elevada a l'exposició. Tot i així, l'exposició estimada del sumatori va ser 1.000 vegades inferior a la IDT, establerta en $150 \mu\text{g}/\text{kg}$ de pes corporal/dia.

Figura 5. Exposició estimada per WBADGE·H₂O, BADGE·2H₂O i BADGE pel consum d'aliments individuals.





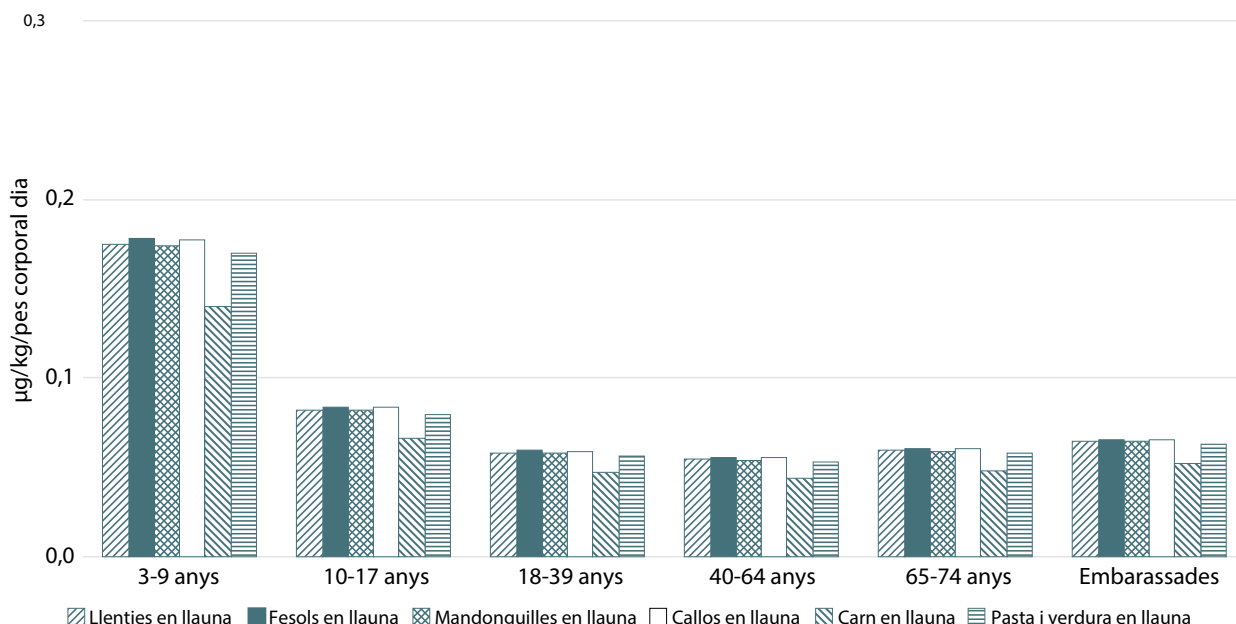


4.5.2. Exposició a bisfenols i derivats epoxídics pel consum de plats preparats

En relació amb els plats preparats, el BPA només es va detectar en una mostra de carn en llauna (0,013 mg/kg). Consegüentment, només s'ha estimat l'exposició a BPA pel consum d'una ració de carn en llauna.

La ingesta dietètica més elevada d'aquest compost va correspondre als nens i nenes de 3 a 9 anys (0,08 ng/kg de pes corporal/dia), mentre que l'exposició a BPA calculada per a la resta de grups de població va estar entre 0,02 i 0,04 ng/kg de pes corporal/dia. En tot cas, aquests valors estan per sota de l'actual IDT, establerta en 0,2 ng/kg de pes corporal/dia.

Figura 6. Exposició estimada de BADGE·2H₂O pel consum de plats preparats (IDT=150 µg/kg pes corporal/dia).



Quant als derivats epoxídics, es va quantificar BADGE·2H₂O en les tres mostres compòsit analitzades de mandonguilles en llauna i de carn en llauna, en dues de tripa (*callos*) en llauna, i en una de llenties en llauna, fesols en llauna, així com de pasta i verdura en llauna (Figura 6). Per contra, els valors de BADGE i BADGE·H₂O van estar per sota dels seus respectius límits de detecció a la resta de plats preparats (<0,020 mg/kg). L'estimació de l'exposició a BADGE·2H₂O es va calcular considerant una ració sencera de cadascun en aliments amb nivells de concentració per damunt del límit de detecció. Els nens de 3 a 9 anys van ser el grup de població amb una exposició més elevada, però gairebé tres ordres de magnitud inferiors a la IDT establerta per l'EFSA.

5. Conclusions

Els resultats obtinguts mostren grans diferències en el contingut dels diferents compostos analitzats en funció del tipus d'envàs de l'aliment. La majoria de compostos únicament es van detectar en aliments enllaunats, pel fet que s'utilitzen en el recobriment intern de les llaunes.

El percentatge de detecció més elevat dels bisfenols i els seus derivats epoxídics analitzats el va presentar el BADGE·2H₂O (40,5%), seguit del BPA (13,5%). El BADGE·HCl i el BADGE·2HCl es van detectar en el 0,9% de les mostres, el BPF, el BADGE·H₂O i el BADGE en un 1,8% de les mostres, el BFDGE en un 3,6%, i finalment el BADGE·HCl·H₂O en un 8,1% de les mostres analitzades. Dos dels compostos (BFDGE·2HCl i BFDGE·2H₂O) no es van detectar en cap de les mostres.

La concentració mitjana més elevada dels bisfenols analitzats va correspondre al BPF (0,99 mg/kg), que només es va detectar a les mostres de salsa de mostassa, donat que aquest aliment conté BPF de manera natural.

El BPF va ser l'únic compost de tots els analitzats amb valors per sobre del límit de detecció en les mostres en plàstic, tot i que es va quantificar només en dues de les mostres de salses en plàstic.

Tots els aliments es van trobar per sota dels límits de migració respectius de BADGE, BFDGE i derivats. En comparar els nivells de BPA amb el límit de migració específic d'aquesta substància (0,05 mg/kg), els espàrrecs estaven molt propers a aquest valor (0,045 mg/kg), i una de les mostres compostes superava aquest límit (0,053 mg/kg).

L'avaluació del risc indica que l'exposició a BADGE i els seus derivats (BADGE·H₂O i BADGE·2H₂O) no suposa un risc per a la salut dels consumidors, ja que aquesta és gairebé tres ordres de magnitud inferior a la ingesta dietètica tolerable (IDT) (150 µg/kg de pes corporal/dia), tant pel que fa al consum d'aliments individuals com de plats preparats.

En canvi, l'exposició estimada al BPA presentà valors entre un i dos ordres de magnitud per sobre de la nova IDT establerta per l'EFSA (0,2 ng/kg de pes corporal/dia). Malgrat tot, la majoria d'aliments analitzats van presentar concentracions de BPA per sota del límit de detecció, confirmant així que la presència d'aquest compost és puntual, i només té lloc en certs aliments enllaunats (tonyina, sardina, pollastre/gall dindi i espàrrecs).

Pel que fa a les mostres de plats preparats, només es van detectar traces de BPA en una mostra de carn en llauna (0,013 mg/kg), el consum de la qual va derivar en una exposició a BPA per sota de la IDT.

Referències

- AESAN, 2016a. ENALIA: Encuesta Nacional de Alimentación en la población infantil y adolescente. Resultados sobre datos de consumo. Disponible a: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/enalia.htm (accés: 11/07/2023)
- AESAN, 2016b. ENALIA: Encuesta Nacional de Alimentación en población adulta, mayores y embarazadas. Resultados sobre datos de consumo. Disponible a: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/enalia_2.htm (accés: 11/07/2023)
- Alabi, A., Caballero-Casero, N., Rubio, S., 2014. Quick and simple sample treatment for multiresidue analysis of bisphenols, bisphenol diglycidyl ethers and their derivatives in canned food prior to liquid chromatography and fluorescence detection. J. Chromatogr. A 1336, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.02.008>
- Cacho, J.I., Campillo, N., Viñas, P., Hernández-Córdoba, M., 2012. Stir bar sorptive extraction coupled to gas chromatography-mass spectrometry for the determination of bisphenols in canned beverages and filling liquids of canned vegetables. J. Chromatogr. A 1247, 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.05.064>
- Comissió Europea, 2018. Commission Regulation (EU) 2018/213 of 12 February 2018 on the use of bisphenol A in varnishes and coatings intended to come into contact with food and amending Regulation (EU) No 10/2011 as regards the use of that substance in plastic food contact materi. Off. J. Eur. Union 2001, 20-30. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/213/oj>
- Comissió Europea, 2005. Commission Regulation (EC) No 1895/2005 of 18 November 2005 on the restriction of use of certain epoxy derivatives in materials and articles intended to come into contact with food. Off. J. Eur. Union 1895, L302/28-L302/32.
- Comissió Europea, 2002. COMMISSION DIRECTIVE 2002/16/EC of 20 February 2002 on the use of certain epoxy derivatives in materials and articles intended to come into contact with foodstuffs. Off. J. Eur. Communities 27-31.
- EFSA, 2023. Re-evaluation of the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs. EFSA J. 21. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.6857>
- EFSA, 2015. Scientific Opinion on the risks to public health related to the presence of bisphenol A (BPA) in foodstuffs: Executive summary. EFSA J. 13, 3978. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.3978>
- EFSA, 2004. Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the Commission related to tertiary-Butylhydroquinone (TBHQ). EFSA J. 86, 1-40. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2004.84>
- Fattore, M., Russo, G., Barbato, F., Grumetto, L., Albrizio, S., 2015. Monitoring of bisphenols in canned tuna from Italian markets. Food Chem. Toxicol. 83, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.05.010>
- Ferrer, E., Santoni, E., Vittori, S., Font, G., Mañes, J., Sagratini, G., 2011. Simultaneous determination of bisphenol A, octylphenol, and nonylphenol by pressurised liquid extraction and liquid chromatogra-

phy-tandem mass spectrometry in powdered milk and infant formulas. *Food Chem.* 126, 360–367. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.098>

Gallart-Ayala, H., Moyano, E., Galceran, M.T., 2011. Fast liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the analysis of bisphenol A-diglycidyl ether, bisphenol F-diglycidyl ether and their derivatives in canned food and beverages. *J. Chromatogr. A* 1218, 1603–1610. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.01.026>

González, N., Cunha, S.C., Ferreira, R., Fernandes, J.O., Marquès, M., Nadal, M., Domingo, J.L., 2020a. Concentrations of nine bisphenol analogues in food purchased from Catalonia (Spain): Comparison of canned and non-canned foodstuffs. *Food Chem. Toxicol.* 136, 110992. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110992>

Li, Hui, Li, Heli, Wu, X., Wu, Yige, Zhang, J., Niu, Y., Wu, Yongning, Li, J., Zhao, Y., Lyu, B., Shao, B., 2022. Human dietary exposure to bisphenol-diglycidyl ethers in China: Comprehensive assessment through a total diet study. *Environ. Int.* 170, 107578. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107578>

Lietzow, J., 2021. Biologically active compounds in mustard seeds: A toxicological perspective. *Foods* 10, art. no. 2089. <https://doi.org/10.3390/foods10092089>

OMS, 2011. Towards a harmonised total diet study approach: a guidance document: joint guidance of EFSA, FAO and WHO. Organització Mundial de la Salut (OMS), Organització de les Nacions Unides per a l'Alimentació i l'Agricultura (FAO), Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA).

Siro, V., Rivière, G., Leconte, S., Leblanc, J.C., Kolf-Clauw, M., Vasseur, P., Cravedi, J.P., Hulin, M., 2021. Infant total diet study in France: Exposure to substances migrating from food contact materials. *Environ. Int.* 149, 106393. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106393>

Toptancı, İ., 2023. Risk assessment of bisphenol related compounds in canned convenience foods, olives, olive oil, and canned soft drinks in Turkey. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 30, 54177–54192. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26228-6>

Uematsu, Y., Hirata, K., Suzuki, K., Iida, K., Saito, K., 2001. Chlorohydrins of bisphenol A diglycidyl ether (BADGE) and of bisphenol F diglycidyl ether (BFDGE) in canned foods and ready-to-drink coffees from the Japanese market. *Food Addit. Contam.* 18, 177–185. <https://doi.org/10.1080/02652030010005501>

Yonekubo, J., Hayakawa, K., Sajiki, J., 2008. Concentrations of bisphenol A, bisphenol A diglycidyl ether, and their derivatives in canned foods in Japanese markets. *J. Agric. Food Chem.* 56, 2041–2047. <https://doi.org/10.1021/jf073106n>

Zoller, O., Brüscheiler, B.J., Magnin, R., Reinhard, H., Rhyn, P., Rupp, H., Zeltner, S., Felleisen, R., 2015. Natural occurrence of bisphenol F in mustard. *Food Addit. Contam. - Part A Chem. Anal. Control. Expo. Risk Assess.* 33, 137–146. <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1110623>



**Generalitat
de Catalunya**