



# REVISIÓN DE LITERATURA

Migración de sustancias químicas de empaques a los  
alimentos

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. INS

**Elaborado por:** *Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA)*  
*Subdirección de Análisis del Riesgo y Respuesta Inmediata en Salud Pública.*

**Revisado por:** *Iván Camilo Sánchez Barrera,*  
*Coordinador Grupo ERIA*

**Aprobado por:** *Hernán Quijada Bonilla.*  
*Subdirector Análisis de Riesgo y Respuesta Inmediata en Salud Pública*



MINISTERIO DE SALUD  
Y PROTECCIÓN SOCIAL

**Elaborado por:**

Andrea del Pilar Mojica Cortés. Química, M. Sc. en Ciencias – Química

Actualizado por: Elsa Ruth Arias Patrón. Química, M. Sc. en Ciencias – Química

**IVÁN CAMILO SÁNCHEZ BARRERA. Coordinador Grupo ERIA.**

**HERNÁN QUIJADA BONILLA. Subdirector Análisis del Riesgo y Respuesta Inmediata en Salud Pública.**

© 2022

Instituto Nacional de Salud

Bogotá, Colombia

Av. Calle 26 No. 51-20

## Revisión de literatura: Migración de sustancias químicas de empaques a los alimentos

Instituto Nacional de Salud (INS). Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA).

Bogotá D.C. 2022

ISSN: 2422-0965

Para citar: Instituto Nacional de Salud; Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA). Revisión de literatura: Migración de sustancias químicas de empaques a los alimentos. Bogotá, D.C., Colombia. 2022.

Todos los derechos reservados. El Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos autoriza la reproducción y difusión del material contenido en esta publicación para fines educativos y otros fines NO comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, especificando claramente la fuente. El Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos prohíbe la reproducción del material contenido en esta publicación para venta, reventa u otros fines comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Estas solicitudes deben dirigirse al Grupo de Evaluación de Riesgos en Inocuidad de Alimentos (ERIA).

Para solicitudes y comentarios comuníquese a: Avenida calle 26 No 51-20, Bloque B Of. F210 o al correo electrónico [eria@ins.gov.co](mailto:eria@ins.gov.co); ERIA 2022

Todos los derechos reservados ©

Colombia, 2022

**Revisores científicos**

**Karla Mabel Cárdenas Lizarazo**  
Médica Cirujana, M. Sc. Toxicología  
Instituto Nacional de Salud

---

## Contenido

1. Introducción .....	7
3. Materiales usados para la elaboración de empaques .....	10
3.1. Metal .....	10
3.2. Vidrio.....	11
3.3. Papel.....	12
3.4. Polímeros.....	13
3.4.1. Tipos de polímeros empleados en empaques para alimentos.....	13
4. Estudios de migración de sustancias desde distintos tipos de materiales a los alimentos.....	19
4.1. Migración de sustancias desde contenedores metálicos .....	19
4.2. Migración de sustancias desde el vidrio.....	20
4.3. Migración de sustancias desde el papel .....	20
4.4. Migración de sustancias desde materiales poliméricos .....	20
4.4.1. Fenómenos de transporte en la migración de polímeros a los alimentos ..	22
5. Conclusión .....	23
6. Recomendaciones .....	24
7. Acrónimos, siglas y abreviaturas.....	25
Referencias .....	26

## Figuras

Figura 1.	Contenedores de metal para diferentes productos alimenticios. ....	11
Figura 2.	Materiales de papel y cartón para el empaque de alimentos.....	12

## 1. Introducción

Citando de manera textual el estudio realizado por Grob y colaboradores: “Si se le pregunta a una persona educada sobre las sustancias tóxicas de los alimentos, mencionará los pesticidas y otros contaminantes ambientales, pero para sorpresa de todos, se trata de la amplia y compleja categoría de sustancias que migran a los alimentos desde su material de empaque” (1).

Es por esto que la seguridad de los alimentos es muy importante para mantener el bienestar y la salud de los consumidores. En este sentido, el envasado desempeña un papel crucial para garantizar la seguridad de los alimentos (2) y la selección de los materiales y sistemas de envasado adecuados es una parte integral del proceso y del diseño del producto alimentario (3).

La principal función de los envases es la protección del alimento frente a agentes externos que puedan favorecer reacciones de deterioro del mismo. Es decir, se busca, que el alimento mantenga sus características físico-químicas, nutricionales y sensoriales desde el momento de su elaboración hasta su consumo (4).

La industria de procesamiento de alimentos selecciona el material de empaque de acuerdo con los requisitos del producto alimenticio considerando factores como termosellabilidad, capacidad de proceso, capacidad de impresión, resistencia, propiedades de barrera (barrera de agua, aceite y gas), rentabilidad, sostenibilidad y requisitos legales. Diversos materiales como papel, plástico, vidrio, aluminio, madera o una combinación de cualquiera de estos se utilizan para el envasado de alimentos en función de sus ventajas y desventajas (5).

El uso del material plástico en el envasado de los alimentos ha ido desplazando a materiales tradicionales, debido a la gran diversidad de propiedades que estos materiales aportan, dando origen a una gran variedad de estructuras y requerimientos.

Por ejemplo, el envase plástico por sí mismo no es una estructura totalmente inerte y puede transferir sustancias hacia el alimento envasado. Por esta razón, el envasado óptimo de cualquier producto, debe adecuarse de forma que el envase y el producto se combinen de la mejor manera posible siendo el grado de compatibilidad entre ellos máximo (6).

En el caso de los materiales poliméricos, independientemente de su naturaleza, se establece un cierto grado de interacción con el alimento que contienen. Todas las interacciones del sistema envase/alimento/entorno son consecuencia de mecanismos de transferencia de masa que se manifiestan particularmente como migración o transferencia de componentes del polímero al alimento, permeabilidad o paso de gases, vapores y radiaciones a través de los materiales poliméricos o absorción por el polímero de componentes del alimento (7).

La consecuencia práctica de estos fenómenos son alteraciones físico-químicas y mecánicas del material de envase durante la vida útil del producto envasado, ya sea, por pérdida de componentes presentes en el material polimérico, por absorción de algunas sustancias que originalmente estaban en el producto envasado o por cambios en la composición del producto envasado, que pueden afectar su calidad final y aptitud para el consumo (7).

En la presente revisión de literatura se expondrán los diferentes materiales usados para la elaboración de empaques, su marco normativo y se mostrarán algunos estudios de migración desde distintos tipos de materiales hacia los alimentos.

## 2. Marco normativo de los materiales en contacto con alimentos

El término “migración” se refiere al proceso de difusión de los compuestos de bajo peso molecular desde el empaque hacia el alimento, y está fuertemente influenciado por la característica del alimento y el empaque. La migración de sustancias hacia alimentos es un asunto sanitario y está normalizado en la mayoría de los países, siendo reconocida la necesidad de controlar y regular este efecto. El principal propósito de las legislaciones es garantizar la seguridad del consumidor definiendo qué tipo de aditivos puede usarse en los empaques y determinando los límites permitidos de migración global y específico (8).

En 2004 el Parlamento Europeo estableció la Regulación 1935/2004, allí se disponen los lineamientos que todo material destinado a entrar en contacto con alimentos debe cumplir. El principio en el que se basa dicho reglamento es que cualquier material u objeto destinado a entrar en contacto directa o indirectamente con alimentos debe ser lo suficientemente inerte para impedir que las sustancias se transfieran a los alimentos en cantidades lo necesariamente grandes como para poner en peligro la salud humana o provocar un cambio inaceptable en la composición del alimento o deterioro de sus propiedades organolépticas (9).

Por su parte, según la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés), es responsabilidad del fabricante de una sustancia en contacto con alimentos garantizar que los materiales que estarán en contacto con el alimento cumplan con las especificaciones dispuestas y la respectiva autorización. Cada autorización se compone de tres partes: la identidad de la sustancia, las especificaciones que incluyen la pureza o las propiedades físicas y las limitaciones en las condiciones de uso (8).

A continuación, se describen de manera detallada cuáles son los materiales más utilizados para el empaque de alimentos y cuáles son los usos destinados para estos.

### 3. Materiales usados para la elaboración de empaques

La mayoría de los materiales utilizados para envasar alimentos pertenecen a las siguientes clases: metales, vidrio, papel y polímeros. Algunos medios de envasado consisten en una combinación de dos o más materiales de las clases mencionadas (3).

#### 3.1. Metal

Los materiales usados para contener alimentos a base de metal proporcionan excelentes propiedades de barrera y, por lo tanto, se utilizan ampliamente en aplicaciones de envasado de alimentos. Se utilizan en diferentes formas de envases, por ejemplo, en botellas de vidrio y latas compuestas (10).

Las latas de metal se fabrican principalmente con aluminio, hojalata, acero libre de estaño y acero inoxidable, de los cuales las latas de aluminio son ampliamente utilizadas (ver Figura 1). Aun cuando estas se encuentran disponibles en varias formas y tamaños, las latas redondas convencionales representan el 90% del mercado total (11).

La hojalata, el primer material utilizado para fabricar latas y contenedores metálicos, consiste en una lámina delgada de acero, recubierta con estaño. El propósito de la capa de estaño es reducir el riesgo de corrosión (3).

A diferencia del acero, el aluminio no requiere la aplicación de una capa protectora, ya que la fina película de óxido de aluminio que se forma en la superficie protege el metal contra una mayor corrosión por el oxígeno y los ácidos suaves, pero es atacado por los álcalis. El aluminio es mucho más ligero y dúctil que la hojalata, pero es más caro. Como material de empaque, el aluminio se encuentra en dos formas: latas de aluminio (usadas principalmente para cerveza y refrescos) y papel de aluminio (como tal o en laminados) (3).

La industria de los envases metálicos tiene impactos positivos y negativos en la salud y el medio ambiente. El empaque a base de metal brinda una excelente barrera a la luz, el gas y la humedad, reciclabilidad, fácil conversión en varias formas, capacidad para soportar altas temperaturas de calentamiento, estructura rígida, transporte a largas distancias y posibilidades únicas de decoración. Sin embargo, estos beneficios vienen acompañados de algunos aspectos negativos, estos comprenden el calentamiento global debido a la emisión de dióxido de carbono de las unidades de fabricación de metales, la filtración de sustancias químicas tóxicas dañinas de los contenedores a los alimentos y el agotamiento de los recursos (10).



Figura 1. Contenedores de metal para diferentes productos alimenticios.

a. Cuerpo de lata de metal esmaltado de tres piezas, b. cuerpo de lata de tres piezas esmaltado, c. lata de aluminio de dos piezas, d. contenedor de metal para dulces, e. lata para aceite de mostaza con papel de aluminio como capa selladora, f. recipiente de metal para té de primera calidad y g. cartón de varias capas con lámina de papel aluminio. Tomado de (10).

## 3.2. Vidrio

Las materias primas básicas para la fabricación de vidrio provienen de minas o canteras y deben fundirse o reducirse químicamente a sus óxidos a temperaturas superiores a 1500°C. El ingrediente principal del vidrio es la sílice derivada de la arena, el pedernal o el cuarzo. El vidrio utilizado en la fabricación de recipientes (botellas, frascos) para el envasado de alimentos es vidrio de cal sodada, que contiene típicamente 68%–73% SiO<sub>2</sub>, 12%–15% Na<sub>2</sub>O, 10%–13% CaO y otros óxidos en menor proporción (12).

El Reglamento Marco CE 1935/2004 de la Unión Europea (UE) sobre materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos regula en general el vidrio como material de envasado de alimentos (9).

Las ventajas del vidrio como material de empaque son la transparencia, la inercia, la impermeabilidad, la rigidez, la resistencia térmica (cuando se calienta correctamente) y el atractivo general para el consumidor. Sus desventajas son la fragilidad y el peso. Los envases de vidrio están estandarizados en un grado mucho menor que las latas de metal. De hecho, la

mayoría de las botellas y frascos están hechos a la medida específicamente para un producto o un fabricante. Los envases de vidrio se pueden reutilizar o reciclar. La reutilización es problemática, pero el reciclaje (repetición del proceso de fusión) demuestra ser una técnica económicamente factible (3).

### 3.3. Papel

El papel y los cartones abarcan el 31 % del segmento del mercado mundial de envases y se utilizan más ampliamente en el envasado de alimentos dada su capacidad para la contención y protección de los productos alimenticios, la comodidad durante el almacenamiento o el consumo y la comunicación de la información relevante a los consumidores (13).

El papel tiene una etiqueta ecológica que lo convierte en la primera opción para las industrias alimentarias (14) y se utiliza principalmente a nivel primario (es decir, en contacto directo con productos alimenticios) y secundario (es decir, para el transporte y almacenamiento de envases primarios). En particular, el papel y el cartón se utilizan para vasos de helado, bolsas de palomitas de maíz para microondas, papel para hornear, cartones de leche, envases de comida rápida como pizza, vasos para bebidas, etc (5).

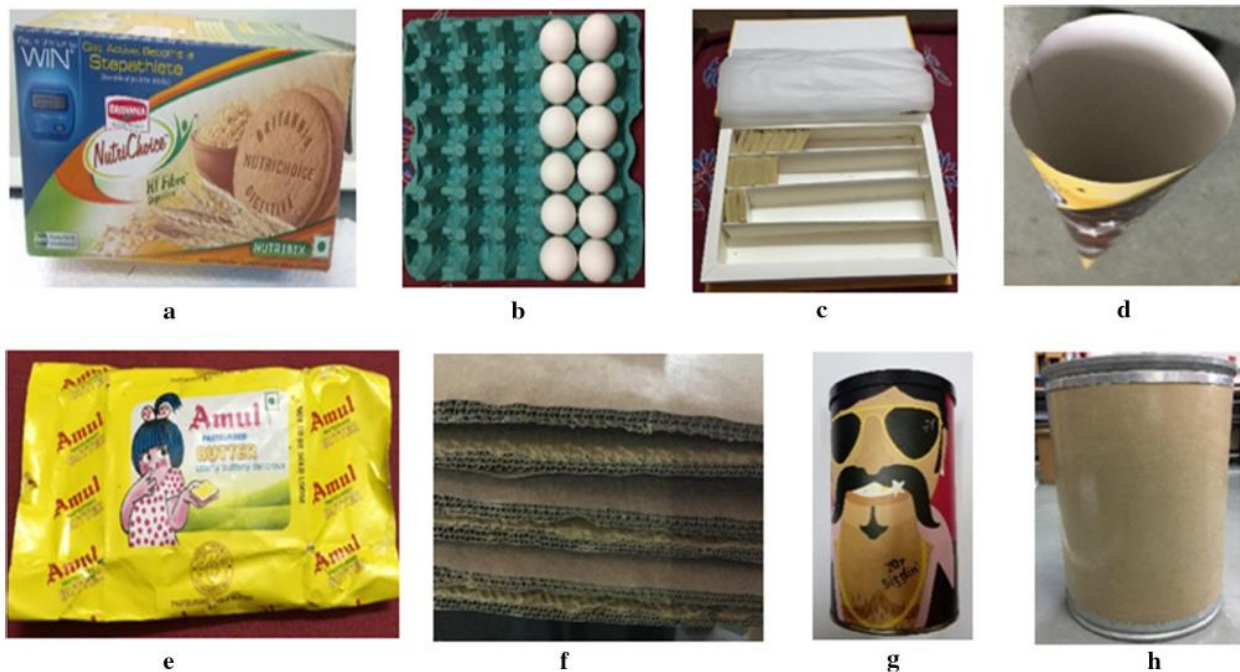


Figura 2. Materiales de papel y cartón para el empaque de alimentos.

a. galletas en cajas a base de papel, b. huevos embalados en caja de pulpa moldeada, c. caja rígida a base de cartón, d. papel en forma de cono para helado, e. papel pergamino vegetal que contiene mantequilla, f. cartón corrugado de fibra, g. latas compuestas que contienen galletas saladas, h. tambor de fibra. Tomado de (5).

Además del aspecto ecológico, las principales ventajas del papel como material de empaque son su bajo costo, amplia disponibilidad, bajo peso, capacidad de impresión y resistencia mecánica. Su defecto más destacado es su sensibilidad a la humedad (3).

En adición, el papel normal es insuficiente para los productos alimenticios debido a sus malas propiedades de barrera, su baja termosellabilidad y su resistencia. Por esta razón, se impregna con aditivos o se lamina con aluminio o plástico para mejorar sus propiedades funcionales (5).

La mayor parte del papel en el mundo actual se prepara a partir de pulpa de madera de coníferas (abetos y pinos) que se encuentran en las zonas templadas del norte de América del Norte y Europa. La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son los tres componentes principales de la pared celular de la madera. La celulosa posee propiedades de formación de fibras relacionadas con la presencia de fibras rectas, largas y paralelas. Las hemicelulosas son responsables de la hidratación de la pulpa y del desarrollo de la unión durante el proceso de batido. La lignina es un componente de unión natural de las células de la madera sin capacidad de formación de fibras (5).

## 3.4. Polímeros

La Directiva de la UE más reciente relativa a los “materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con productos alimenticios” (referencia 2004/19/EC) define los plásticos como: “compuestos macromoleculares orgánicos obtenidos por polimerización, policondensación, poliadición o cualquier proceso similar a partir de moléculas con un peso molecular más bajo o por alteración química de compuestos macromoleculares naturales” (15).

El uso del material plástico en el envasado de los alimentos ha ido desplazando a materiales tradicionales, debido a la gran diversidad de propiedades que estos materiales aportan, dando origen a una gran variedad de estructuras y requerimientos, tal es el caso de los materiales poliméricos (16).

La utilización de materiales plásticos para empacar alimentos y bebidas se ha incrementado drásticamente en las últimas décadas, gracias a sus enormes ventajas (bajas densidades, alta flexibilidad y procesabilidad) frente a los materiales convencionales como el vidrio y el metal. Sin embargo, debido a que dichos empaques contienen compuestos de bajo peso molecular, tales como monómeros residuales y aditivos, cada vez existe mayor preocupación a nivel científico y legislativo sobre los efectos que estos compuestos puedan tener sobre el alimento y el consumidor final (17,18). A continuación, se listan algunos de los polímeros mayormente utilizados para empacar alimentos.

### 3.4.1. Tipos de polímeros empleados en empaques para alimentos

Existe una amplia gama de polímeros usados con el fin de empacar alimentos, estos se listan a continuación.

#### 3.4.1.1. Polietileno

Desde el punto de vista químico, el polietileno (PE) es la estructura plástica más simple de los polímeros (19). El PE se elabora por medio de un proceso de polimerización del gas etileno en un reactor de presión a alta temperatura. Dependiendo de las condiciones de polimerización (temperatura, presión y catalizador), se producen resinas de baja, media y alta densidad. Las condiciones del proceso también establecen el grado de entrecruzamiento entre las cadenas del polímero y, por lo tanto, la densidad y otras propiedades de las películas (20). Los polietilenos son fácilmente termosellables, pero no son muy impermeables a aceites, grasas o gases tales como el dióxido de carbón y oxígeno comparado con otros polímeros; aunque las propiedades de permeación incrementan con la densidad. La resistencia térmica es más baja que la de otros polímeros empleados en empaques, con un punto de fusión que ronda los 120°C, el cual incrementa a medida que aumenta la densidad (15).

El polietileno es el más ampliamente empleado en términos de tonelaje y por demás el material más económico para muchos usos. El polietileno de baja densidad (LDPE) permite extruirse fácilmente por lo que este material se emplea en muchas aplicaciones. Las películas de PE funden a temperaturas relativamente bajas y se sellan al momento de cortarlo con un alambre caliente, lo que permite emplearlas para la elaboración de bolsas que contienen vegetales congelados. El polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) tiene un rango de densidad similar al LDPE, este tiene una cadena corta entrecruzada y es superior al LDPE en la mayoría de las propiedades tales como resistencia a la tensión o impacto y también resistencia a la punción; la mayor aplicación para éste material ha sido como empaque para leche líquida y otros alimentos líquidos (21).

El polietileno de alta densidad (HDPE), es el grado más resistente. La película de HDPE es empleada para aplicaciones en las cuales el alimento es calentado o cocinado dentro de la bolsa. Para proporcionar la sellabilidad por medio de calor, el HDPE puede estar coextruido con LDPE para obtener sellos en los cuales las capas poliméricas se separan fácilmente en la interface de la coextrusión (20).

#### 3.4.1.2. Polipropileno

El polipropileno (PP) es un polímero de adición del propileno elaborado bajo calor y presión usando catalizadores del tipo Ziegler-Natta, para producir un polímero lineal con grupos metilo. El polímero resultante es una resina más dura y densa que el PE y más transparente en su forma natural. El PP tiene la densidad más baja y un punto alto de fusión comparado con todos los termoplásticos y tiene un relativo bajo costo. Este polímero es versátil y puede ser procesado en varias vías y tiene muchas aplicaciones tanto en su forma de película flexible como en la forma rígida (20).

El alto punto de fusión del PP (160°C) permite emplearlo en empaques que requieran resistencia al calor tales como termos y empaques para calentar alimentos al microondas. El PP puede ser extruido con PET u otras películas resistentes al calor para producir redes termosellables que pueden resistir temperaturas por encima de 115-130°C, este tipo de empaques son ampliamente empleados en procesos de esterilización de alimentos (22).

PP y PE presentan bajos valores de tensión superficial, por lo que requieren tratamientos adicionales para permitir la impresión, recubrimiento y laminación. Estas propiedades se obtienen sometiendo al material a descargas eléctricas de alto voltaje, tratamiento con ozono o chorros de gas. Estos tratamientos oxidan ligeramente la superficie, proporcionando aldehídos y cetonas las cuales incrementan la energía superficial y proveen la adhesión para etiquetas o recubrimientos (15).

El grupo de productos de alimentos que son empacados en películas de PP incluye galletas, papas fritas y pasabocas, chocolates, confitería de azúcar, helados, comida congelada, café y té (23).

#### 3.4.1.3. *Polietilen tereftalato (PET)*

Los poliésteres son los polímeros de condensación formados a partir de los monómeros de ésteres, los cuales resultan a partir de la reacción de un ácido carboxílico con un alcohol. Existen muchos tipos diferentes de poliésteres, dependiendo de los monómeros usados. Cuando el ácido tereftálico reacciona con etilen glicol y polimeriza, el resultado es PET (20).

Los poliésteres tienen una resistencia al calor mucho más alta que la mayoría de los plásticos, los ésteres tienen más radicales que pueden ligarse con otros químicos, produciendo una superficie más reactiva para tintas y no es muy resistente a químicos comparado con poliolefinas tales como PE y PP (24).

El PET funde a una mayor temperatura que el PP, típicamente a 260°C y debido a las condiciones de manufactura no se contrae por debajo de 180 °C. De tal manera que el PET es ideal para empaques que requieren ser sometidos a alta temperatura como por ejemplo esterilizaciones con vapor, calentamiento dentro de la bolsa que contiene alimentos y para cocinar o recalentar en el microondas o en hornos de radiación calórica convencional. El material termosellable se encuentra disponible y puede laminarse a PET para proporcionar buenas propiedades de termosellado. Recubrimientos con PVC producen que el material sea impermeable a los gases y alta capacidad de termosellado (25).

Cuando el PET es laminado con etilen vinil acetato, en ambos lados se producen sellos altamente eficientes, este tipo de empaques son empleados para pasabocas y productos con alto contenido de grasa que requieren barreras al oxígeno y luz ultravioleta (20).

El consumo de PET es el que presenta el más rápido crecimiento en su uso como empaque para alimentos ya que contiene las bebidas carbonatadas y agua mineral. Las botellas PET también son empleadas para envasar aceites comestibles, como alternativa al cloruro de polivinilo (PVC) (26).

#### 3.4.1.4. *Polietilen naftalen dicarboxilato (PEN)*

PEN es el polímero de condensación de dimetil naftalen dicarboxilato (DNC) y etilen glicol. Este polímero de poliéster ha incrementado su interés en los últimos años debido a que proporciona una barrera para el gas y vapor de agua y mayor resistencia comparada con PET. También es resistente a la radiación ultravioleta y altas temperaturas comparado con el PET (15).

El PEN es una resina modificada de poliéster, la cual está constituida por un monopolimero PEN, un copolimero con PET o una mezcla de PET/PEN. Aplicaciones de este polímero se encuentran en botellas de bebidas sin alcohol, cerveza, botellas de agua mineral retornables, botellas para esterilización de comida para bebé, jugos y productos alimenticios deshidratados en empaques flexibles. PEN es mucho más costoso que el PET por lo que su uso se ha restringido a empaques de alimentos y se prefiere que los empaques de PEN sean reutilizables (20).

#### 3.4.1.5. *Policarbonato (PC)*

Los policarbonatos (PC) son poliésteres lineales de ácido carbónico inestable que se producen por reacción de fosgeno (cloruro de carbonilo  $[\text{COCl}_2]$ ) con bisfenol A. Estos polímeros son amorfos, con una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de 150 °C. Los policarbonatos se utilizan como componentes en contenedores expuestos a llenado en caliente o procesamiento en caliente después del llenado (27). El polímero también se utiliza en la fabricación de muchos artículos de consumo, incluidos envases de bebidas reutilizables, bandejas horneables para alimentos congelados y comidas preparadas, ya que la resistencia al impacto a baja temperatura mejora la durabilidad del envase y su dureza. Otras aplicaciones de las PC incluyen paquetes para hervir en bolsas y utensilios de cocina para hornos de microondas debido a su estabilidad a altas temperaturas. Una controversia reciente sobre la seguridad del BPA (2,2-bis(4-hidroxifenil)propano) ha llevado a la eliminación del mercado de los biberones de PC para bebés, y a la reducción y eliminación del BPA de los envases de alimentos y de los tratamientos superficiales para metales, plásticos y envases de vidrio que se procesan térmicamente (28).

#### 3.4.1.6. *Ionómeros*

Los ionómeros son polímeros a base de etileno con un grupo carboxilo ionizado, en los que el etileno se polimeriza con 1% a 10% de ácido orgánico insaturado a través de un proceso de alta presión y se trata con sal de magnesio, sodio o calcio como el acetato de magnesio. Surlyn A es un ionómero producido comercialmente que contiene grupos carboxilato que proporcionan alta estabilidad térmica. Surlyn A tiene una excelente resistencia a aceites y grasas, alta resistencia a la abrasión y mayor permeabilidad al vapor de humedad que el LDPE debido a su menor cristalinidad. Los ionómeros son adecuados para películas compuestas. Estos polímeros también se sellarán con calor, incluso si las partículas de alimentos quedan atrapadas entre las capas durante el proceso de llenado (28).

#### 3.4.1.7. *Etilen vinil acetato (EVA)*

EVA es un copolimero de etileno con acetato de vinilo, es similar al PE en muchos aspectos, se emplea en mezclas con PE. Las propiedades de la mezcla dependen de la proporción del componente de acetato de vinilo, ya que al incrementarlo disminuye la temperatura de sellado y la resistencia al impacto, flexibilidad a baja temperatura, aumenta la claridad. A un nivel de 4%, mejora la sellabilidad térmica, al 8% aumenta dureza y elasticidad, junto con una mejora en el termosellado, a niveles más altos, la película resultante tiene buenas propiedades de envoltura de estiramiento (15).

Películas modificadas de EVA se usan como recubrimientos en materiales tales como láminas de aluminio, PET y papel. También son utilizadas para crear fuertes enlaces intercapas entre materiales disimiles como por ejemplo PET y papel, LDPE y EVOH (20).

#### 3.4.1.8. *Poliamida (PA)*

Las poliamidas se forman por condensación de monómeros de amina y ácido carboxílico. Como resultado, se han desarrollado polímeros con enlaces amida de alta resistencia mecánica y propiedades de barrera. Varias poliamidas se utilizan en aplicaciones de envasado de alimentos, incluidos el nailon 6, 10 y 11, así como el nailon 6, 6 y el nailon 6, 10 (28).

#### 3.4.1.9. *Ionómeros*

Los ionómeros son polímeros a base de etileno con un grupo carboxilo ionizado, en los que el etileno se polimeriza con 1% a 10% de ácido orgánico insaturado a través de un proceso de alta presión y se trata con sal de magnesio, sodio o calcio como el acetato de magnesio. Surlyn A es un ionómero producido comercialmente que contiene grupos carboxilato que proporcionan alta estabilidad térmica. Surlyn A tiene una excelente resistencia a aceites y grasas, alta resistencia a la abrasión y mayor permeabilidad al vapor de humedad que el LDPE debido a su menor cristalinidad. Los ionómeros son adecuados para películas compuestas. Estos polímeros también se sellarán con calor, incluso si las partículas de alimentos quedan atrapadas entre las capas durante el proceso de llenado (28).

#### 3.4.1.10. *Cloruro de polivinilo (PVC)*

El cloruro de polivinilo (PVC) es el segundo polímero sintético más utilizado en envases de alimentos. El PVC se produce mediante la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. Se pueden lograr diferentes propiedades del PVC alterando el contenido de plastificante y la orientación del polímero. Se agrega plastificante al material para hacer que el plástico base sea suave y flexible durante la formación del envase de plástico. Sin embargo, a menudo imparte rigidez, capacidad de estiramiento y pegajosidad al material final (29). Los estabilizadores son un aditivo necesario para las películas de PVC sin plastificar para limitar la degradación a altas temperaturas. Los estabilizadores comunes incluyen plomo, cadmio, bario, calcio o zinc con epóxidos y sales de estaño. Obviamente, muchos de estos son tóxicos y no se pueden incorporar a los envases de alimentos. La principal ventaja del PVC sobre las poliolefinas es su menor permeabilidad a los gases para el envasado de vino, cerveza y alimentos grasos. Sin embargo, la película de PVC tiene una mayor permeabilidad al vapor de agua que la poliolefina, lo que limita su aplicación en productos alimenticios deshidratados (28).

#### 3.4.1.11. *Poliestireno (PS)*

El poliestireno (PS) es una olefina sustituida, obtenida mediante la polimerización por adición de estireno. El estireno se produce mediante la deshidrogenación catalítica del etilbenceno. Las películas de PS son duras y transparentes y tienden a ser muy quebradizas. El poliestireno de alto impacto (HIPS) es un tipo mejorado de PS, formado mediante la incorporación de cauchos sintéticos (típicamente, el isómero 1,3-butadieno  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHCH}_2$ ) durante la polimerización para reducir la fragilidad del PS. Los cauchos bloquean la formación de microfisuras en los

plásticos durante la carga de impacto. Otro tipo importante de PS, el poliestireno de uso general (GPPS), es un homopolímero de estireno no modificado. Es vítreo y no cristalino a la temperatura de almacenamiento, ya que la  $T_g$  varía de 90 a 100 °C (28). PS tiene una alta permeabilidad a los gases y vapores, lo que lo hace adecuado para productos alimenticios con una vida útil corta. Otra forma de PS es el tipo expandido; su principal aplicación es el transporte de alimentos congelados. Los alimentos con bajo contenido de grasa, como el café, el helado, el yogur, las cremas, las mieles y los jarabes, se suelen envasar en PS. El PS también se utiliza para fabricar bandejas y separadores para el envasado de huevos y frutas (29).

## 4. Estudios de migración de sustancias desde distintos tipos de materiales a los alimentos

La migración de sustancias químicas desde distintos tipos de materiales y que pueden entrar en contacto con alimentos ha sido estudiada por varios autores.

### 4.1. Migración de sustancias desde contenedores metálicos

Las principales preocupaciones sobre la salud y la seguridad de los productos de los envases metálicos comprenden la migración de bisfenol A (BPA), plomo, cadmio, mercurio, aluminio, hierro, níquel, abultamiento de latas, disolución de estaño, ennegrecimiento y corrosión. Los metales no son inertes a los productos alimenticios, por lo tanto, están recubiertos con lacas protectoras para evitar la interacción metal-alimento y la migración de componentes metálicos (9).

El BPA, conocido químicamente como 2,2-(4,40-di-hidroxidifenil) propano, se utiliza como monómero en la producción de policarbonato y resinas epoxi (laca), como antioxidante en algunos plastificantes y como inhibidor de la polimerización del cloruro de vinilo en la producción de PVC plastificado. Representa el principal migrante de las latas a los productos alimentarios y es una sustancia química que altera el sistema endocrino y provoca fallos en el sistema reproductivo, además de poseer actividad cancerígena (10).

Un estudio reveló un mayor nivel de migración de BPA de las latas de atún procesadas por calor (121 °C durante 90 minutos) en comparación con las latas no calentadas recubiertas con organosol y revestimientos fenólicos epoxi (30).

También se investigó la tendencia de partición del BPA en la porción sólida de los alimentos enlatados en comparación con la porción líquida utilizando el método de espectrometría de masas de cromatografía líquida. Se detectó BPA en 71 de las 78 latas estudiadas y los rangos de concentración de esta sustancia se encontraron entre 3,0 ng/g y 730 ng/g (31).

Por su parte, un estudio de evaluación de la exposición al BPA en Nueva Zelanda indicó una contribución del 7% de BPA a la estrogenicidad. Por el contrario, el agua almacenada en acero inoxidable sin recubrimiento y en aluminio revestido con resina epoxi no mostró contaminación detectable por BPA, lo que representa su aptitud para ser utilizada como contenedor "libre de BPA" (32).

Algunos estudios han revelado la presencia de aluminio en muestras de alimentos contenidas en bandejas de aluminio. Los experimentos con animales han demostrado la relación entre el aluminio y la enfermedad de Alzheimer, por lo que el Comité Mixto FAO/OMS de Aditivos Alimentarios redujo el límite de seguridad de la ingesta semanal de aluminio de 7 a 1 mg/kg de peso corporal (33).

## 4.2. Migración de sustancias desde el vidrio

Se cree que la difusión química desde el interior del vidrio se ve obstaculizada debido a la estructura del vidrio. Esto también se aplica a los compuestos del exterior (por ejemplo, tintas de impresión, adhesivos). Se supone que el vidrio es inerte debido a su estructura química, un sólido amorfo no cristalino con tamaños de poro que son demasiado pequeños para permitir el paso de moléculas o átomos individuales (34).

Sin embargo, se ha descubierto que los plastificantes como los ftalatos y el aceite de soja epoxidado migran desde los cierres de los envases de vidrio que contienen juntas de PVC (35).

De manera similar, se ha demostrado que el plomo migra del vidrio al agua potable. Shotyk y colaboradores reportaron el nivel más alto documentado hasta ese momento, 417 ng/L (36). El estándar actual de agua potable de la OMS es de 10.000 ng/L. Las fuentes de plomo en los envases de vidrio son diversas y hasta cierto punto desconocidas. El plomo está naturalmente presente en niveles muy bajos en la materia prima de la fabricación de vidrio, la arena de sílice. Otras fuentes conocidas son el vidrio reciclado, en el que se mezcla vidrio de cristal u otro vidrio con mayor contenido de plomo con recipientes de vidrio (34).

## 4.3. Migración de sustancias desde el papel

Varios componentes y aditivos del papel pueden migrar a los productos alimenticios y causar graves riesgos para la salud de los seres humanos según el nivel de migración y consumo (la exposición se expresa como producto de la migración y el consumo de alimentos). En un estudio realizado por Poças y colaboradores se estableció la exposición de consumidores a ftalatos provenientes de papel usado para la elaboración de empaques (37).

Las tintas de impresión y sus componentes son los principales migrantes hacia los alimentos que pueden provocar insuficiencia renal, trastornos endocrinos y cáncer de pulmón, sin embargo encontrar una alternativa a la tinta de impresión sigue siendo un asunto que no se ha resuelto (5).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés), realizó en 2020 una Evaluación de Riesgos a algunas tintas de impresión y solventes con el fin evaluar el riesgo químico de tres tintas (Amarillo 12, 13 y 83) y dos solventes (n-propil acetato e isobutil acetato) mediante el uso de herramientas *in silico* como QSAR Toolbox (38).

## 4.4. Migración de sustancias desde materiales poliméricos

En los últimos 40 años aproximadamente, se ha investigado intensamente la migración de sustancias de bajo peso molecular de los materiales de embalaje de plástico a los alimentos. Las

sustancias de interés son los monómeros y los aditivos de procesamiento utilizados en la producción del material plástico (3).

La migración del monómero de cloruro de vinilo de los envases de PVC (cloruro de polivinilo) ha llamado la atención porque este monómero es un carcinógeno potente. Otro monómero, cuya presencia en los alimentos es objetable, es el monómero de acrilonitrilo. Los aditivos de procesamiento que pueden migrar a los alimentos son principalmente plastificantes, antioxidantes y residuos de solventes (3).

Los plastificantes tienen un bajo peso molecular y pueden migrar de los materiales de envasado a los alimentos envueltos, convirtiéndose así en aditivos alimentarios indirectos. Los plastificantes como el ftalato y el adipato se utilizan habitualmente en el PVC, el PVA y el PE, y se ha informado de su migración a los alimentos/simulantes en diferentes condiciones de estudio (28).

Los estudios de migración se realizan habitualmente con simuladores de alimentos, que proporcionan un contacto uniforme con los alimentos, proporcionando un contacto uniforme del envase con el alimento. Un estudio investigó la migración de ftalatos de los biberones (n = 277) y descubrió que los niveles de migración para ftalato de diisobutilo (DiBP) y ftalato de dibutilo (DBP) en condiciones de llenado en caliente de 2 h a 70 °C variaban de 50 a 150 µg /kg (39).

También existe un creciente interés por estudiar el efecto de los monómeros en la salud humana y en las propiedades sensoriales de los alimentos, ya que los monómeros residuales pueden migrar de la capa en contacto con los alimentos. El monómero residual estireno, presente en el PS, es el que más preocupa. Varios estudios informan la migración de estireno a los alimentos y estiman la exposición diaria al estireno de 18,2 a 55,2 µg para individuos, con una exposición anual de 6,7 a 20,2 mg (28). Este nivel de exposición provoca irritación de los órganos humanos y la piel, así como trastornos neurológicos (40).

Lickly y otros estudiaron la migración de estireno de diferentes materiales con espuma de PS en contacto con alimentos (bandejas de carne, cartones de huevos, tazas, platos y recipientes para llevar con bisagras) al aceite (mezcla de canola, girasol y otros vegetales). aceite) y etanol al 8 % a 21°C durante 10 días, se encontró que la migración aumentó de 1 a 10 días (41).

Es conocido que el PET contiene pequeñas cantidades de oligómeros de bajo peso molecular de compuestos cíclicos que van desde dímeros hasta pentámeros (28). Castle y otros estudiaron la migración de oligómeros de PET desde plásticos hasta diversos alimentos y bebidas bajo diferentes tratamientos de microondas (MW) y hornos. La temperatura y los tiempos de exposición influyeron en la migración. La exposición a MW mostró una migración más baja en comparación con el calentamiento en horno debido a un

tiempo de exposición más breve con el calentamiento por MW (máximo 15 minutos) que con el calentamiento en horno con un tiempo de exposición de 80 minutos. Por ejemplo, se observó un nivel 10 veces mayor de migración de oligómeros de PET después de la cocción convencional de lasaña en comparación con la cocción MW. La migración en las bebidas acuosas no fue detectable o apenas superó los límites de detección, mientras que en las bebidas alcohólicas se detectaron niveles de migración ligeramente superiores (42).

#### 4.4.1. Fenómenos de transporte en la migración de polímeros a los alimentos

El proceso de migración involucrado desde el material polimérico hasta los alimentos se puede dividir en 4 pasos principales: difusión de compuestos químicos a través de los polímeros, desorción de las moléculas difundidas desde la superficie del polímero, sorción de los compuestos en la interfase plástico-alimento y desorción de los compuestos en el alimento (43). El proceso de difusión de masa generalmente se rige por la ley de Fick (ver ecuaciones 1 y 2) y en estado estacionario no indica cambios en la concentración a lo largo del tiempo ( $\partial C_p / \partial t = 0$ ); sin embargo, la mayoría de las interacciones entre el empaque y los alimentos están influenciadas por condiciones de estado no estacionario (28).

Primera Ley de Fick: 
$$N_A = -D_p \frac{\partial C_p}{\partial X}$$

Segunda Ley de Fick: 
$$\frac{\partial C_p}{\partial t} = -D_p \frac{\partial^2 C_p}{\partial X^2}$$

Donde,  $N_A$  es el flujo de estado estacionario;  $C_p$  es la concentración de migrante en el polímero;  $D_p$  es el coeficiente de difusión del migrante en el polímero. A efectos prácticos, se supone que los coeficientes de difusión y partición son constantes. En polímeros como PE y PP con bajas temperaturas de transición vítrea ( $T_g$ ), se puede suponer que la migración de sustancias hechas a partir de estos materiales obedece las leyes de Fick (44).

## 5. Conclusión

Más allá de las facilidades de almacenamiento y transporte que brindan los materiales de empaque para alimentos, su principal función radica en protegerlos y preservarlos de la contaminación exterior. Desde esto, se resalta la importancia de las interacciones que existen entre el empaque-alimento, enfocados en la migración de contaminantes que se pueden difundir a los mismos y cómo esto puede afectar la seguridad del producto contenido.

Son varios los estudios que se han publicado con respecto a la migración de sustancias a los alimentos, esto muestra que este fenómeno es una realidad y su investigación contribuye al desarrollo de conocimiento que permite establecer cuáles son los desafíos que la industria de los empaques de comida debe afrontar.

Si bien la industria de los polímeros ha invertido esfuerzos considerables para superar problemas relacionados a la migración de sustancias químicas a los alimentos por medios tecnológicos, la investigación ha desarrollado métodos cada vez más sensibles para la detección de los contaminantes. Se conoce la toxicología de las sustancias en cuestión y en la mayoría de los países se dispone de reglamentos sobre el tema. Esto hace que el conocimiento de las sustancias que podrían migrar desde los distintos tipos de empaques hacia los alimentos y su concentración puedan ser determinadas de manera confiable.

## 6. Recomendaciones

En la mayoría de los casos, la industria de alimentos cuenta con proveedores para el proceso de empaclado. Por lo tanto, se recomienda a esta industria solicitar análisis que comprueben la calidad y la no migración de contaminantes, o que dicho fenómeno de transporte se encuentre dentro del límite permitido, para controlar que no se altere la calidad del producto contenido.

## 7. Acrónimos, siglas y abreviaturas

EFSA	Agencia Europea de Seguridad Alimentaria
EVA	Etilen vinil acetato
EU	Unión Europea
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos
HDPE	Polietileno de alta densidad
HIPS	Poliestireno de alto impacto
LDPE	Polietileno de baja densidad
LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
MDPE	Polietileno de media densidad
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PEN	Polietilen naftalen dicarboxilato
PET	Polietilen Tereftalato
PVC	Cloruro de polivinilo
UPVC	Cloruro de polivinilo sin plastificar

## Referencias

1. Grob K, Biedermann M, Scherbaum E, Roth M, Rieger K. Food contamination with organic materials in perspective: Packaging materials as the largest and least controlled source? A view focusing on the European situation. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2006;46(7):529–35.
2. Reusable Packing News. Reasons Why Packaging Important for Food Safety. *Packing Revolution*. 2022. p. 1–7.
3. Zeki Berk. Food packaging. In: *Food Process Engineering and Technology*. Third Edit. 2018. p. 625–41.
4. Marsh K, Bugusu B. Food packaging - Roles, materials, and environmental issues: Scientific status summary. *J Food Sci*. 2007;72(3):1–18.
5. Deshwal GK, Panjagari NR, Alam T. An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns. *J Food Sci Technol [Internet]*. 2019;56(10):4391–403. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03950-z>
6. Castle L, Mercer AJ, Gilbert J. Migration from plasticized films into foods. 4. use of polymeric plasticizers and lower levels of di-(2-ethylhexyl)adipate plasticizer in pvc films to reduce migration into foods. *Food Addit Contam*. 1988;5(3):277–82.
7. Goulas AE, Anifantaki KI, Kolioulis DG, Kontominas MG. Migration of di-(2-ethylhexylexyl)adipate plasticizer from food-grade polyvinyl chloride film into hard and soft cheeses. *J Dairy Sci [Internet]*. 2000;83(8):1712–8. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75040-5](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75040-5)
8. FDA. Determining the regulatory status of components of a food contact material. U.S. Food and Drug Administration. 2018. p. 1–5.
9. European Parliament. Regulation EC 1935/2004 on materials and articles intended to come into contact with food [Internet]. Vol. 1935, Official Journal of the European Communities. 2004. p. 1–20. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004R1935:20090807:EN:PDF%0Ahttps://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:02004R1935-20090807>
10. Deshwal GK, Panjagari NR. Review on metal packaging: materials, forms, food applications, safety and recyclability. *J Food Sci Technol [Internet]*. 2020;57(7):2377–92. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04172-z>
11. Joshi SP, Toma RB, Medora N, O'Connor K. Detection of aluminium residue in sauces packaged in aluminium pouches. *Food Chem*. 2003;83(3):383–6.
12. Robertson GL. *Food Packaging Principles and Practice*. Vol. 3, International Business Research. 2013. 698 p.
13. Jones, P; Comfort D. The forest, paper and packaging industry and sustainability. *Int J Sales Retail Mark*. 2017;6:3–21.
14. Khwaldia K, Arab-Tehrany E, Desobry S. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2010;9(1):82–91.

15. Kirwan MJ, Plant S, Strawbridge JW. Plastics in food packaging. In: Food Packaging Technology. 1977. p. 157–212.
16. Petersen JH, Lillemark L, Lund L. Migration from PVC cling films compared with their field of application. *Food Addit Contam.* 1997;14(4):345–53.
17. Page BD, Lacroix GM. The occurrence of phthalate ester and di-2-ethylhexyl adipate plasticizers in canadian packaging and food sampled in 1985-1989: A survey. *Food Addit Contam.* 1995;12(1):129–51.
18. Petersen JH, Nielsen PA, Naamansen ET. PVC cling film in contact with cheese: health aspects related to global migration and specific migration of DEHA. *Food Addit Contam.* 1995;12(2):245–53.
19. Hutten IM. Raw Materials for Nonwoven Filter Media. In: Handbook of Nonwoven Filter Media. 2007. p. 103–94.
20. Coles R. Food Packaging Technology. Blackwell Publishing Ltd. 2003. 1–368 p.
21. Fankhauser-Noti A, Grob K. Migration of trimellitic acid from epoxy anhydride can coatings into foods. *Food Addit Contam.* 2004;21(7):711–8.
22. Pezo D, Navascués B, Salafranca J, Nerín C. Analytical procedure for the determination of Ethyl Lauroyl Arginate (LAE) to assess the kinetics and specific migration from a new antimicrobial active food packaging. *Anal Chim Acta* [Internet]. 2012;745:92–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2012.07.038>
23. Bligh, E.G. and Dyer WJ. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology.* *Can J Biochem Physiol.* 1959;37(8):911–7.
24. Aznar M, Rodriguez-Lafuente A, Alfaro P, Nerin C. UPLC-Q-TOF-MS analysis of non-volatile migrants from new active packaging materials. *Anal Bioanal Chem.* 2012;404(6–7):1945–57.
25. Ruckman SA, Rocabayera X, Borzelleca JF, Sandusky CB. Toxicological and metabolic investigations of the safety of N- $\alpha$ -Lauroyl-L-arginine ethyl ester monohydrochloride (LAE). *Food Chem Toxicol.* 2004;42(2):245–59.
26. Behr M, Oehlmann J, Wagner M. Estrogens in the daily diet: In vitro analysis indicates that estrogenic activity is omnipresent in foodstuff and infant formula. *Food Chem Toxicol* [Internet]. 2011;49(10):2681–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2011.07.039>
27. Brown W. Plastics in food packaging : properties, design, and fabrication. 1992. 539 p.
28. Bhunia K, Sablani SS, Tang J, Rasco B. Migration of chemical compounds from packaging polymers during microwave, conventional heat treatment, and storage. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2013;12(5):523–45.
29. Crompton T. Aditive Migrations from Plastics into food. 1980. 256 p.
30. Munguía-López EM, Gerardo-Lugo S, Peralta E, Bolumen S, Soto-Valdez H. Migration of bisphenol A (BPA) from can coatings into a fatty-food simulant and tuna fish. *Food Addit Contam.* 2005;22(9):892–8.
31. Noonan GO, Ackerman LK, Begley TH. Concentration of bisphenol a in highly consumed

- canned foods on the U.S. market. *J Agric Food Chem.* 2011;59(13):7178–85.
32. Cooper JE, Kendig EL, Belcher SM. Assessment of bisphenol A released from reusable plastic, aluminium and stainless steel water bottles. *Chemosphere* [Internet]. 2011;85(6):943–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.060>
  33. Stahl T, Taschan H, Brunn H. Aluminium content of selected foods and food products. *Environ Sci Eur.* 2011;23(1):1–11.
  34. Wagner C. Glass food packaging [Internet]. *Food Packaging Forum.* 2014. p. 18–22. Available from: <https://www.foodpackagingforum.org/food-packaging-health/food-packaging-materials/glass>
  35. Pedersen GA, Jensen LK, Fankhauser A, Biedermann S, Petersen JH, Fabech B. Migration of epoxidized soybean oil (ESBO) and phthalates from twist closures into food and enforcement of the overall migration limit. *Food Addit Contam - Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2008;25(4):503–10.
  36. Shotyk W, Krachler M. Lead in bottled waters: Contamination from glass and comparison with pristine groundwater. *Environ Sci Technol.* 2007;41(10):3508–13.
  37. Poças MF, Oliveira JC, Pereira JR, Hogg T. Consumer exposure to phthalates from paper packaging: An integrated approach. *Food Addit Contam - Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2010;27(10):1451–9.
  38. Bevan R, Harrison PTC, Jeffery B, Mitchell D. Evaluating the risk to humans from mineral oils in foods: Current state of the evidence. *Food Chem Toxicol* [Internet]. 2020;136(January 2019):110966. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110966>
  39. Kubwabo C, Kosarac I, Stewart B, Gauthier BR, Lalonde K, Lalonde PJ. Migration of bisphenol A from plastic baby bottles, baby bottle liners and reusable polycarbonate drinking bottles. *Food Addit Contam - Part A.* 2009;26(6):928–37.
  40. Arvanitoyannis IS, Bosnea L. Migration of Substances from Food Packaging Materials to Foods. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2004;44(2):63–76.
  41. Lickly TD, Lehr KM, Welsh GC. Migration of styrene from polystyrene foam food-contact articles. *Food Chem Toxicol.* 1995;33(6):475–81.
  42. Castle L, Mayo A, Crews C, Gilbert J. Migration of poly(ethylene terephthalate) (PET) oligomers from PET plastics into food during microwave and conventional cooking and into bottled beverages. *J Food Prot.* 1989;52(5):337–42.
  43. Ferrara G, Bertoldo M, Scoponi M, Ciardelli F. Diffusion coefficient and activation energy of Irganox 1010 in poly(propylene-co-ethylene) copolymers. *Polym Degrad Stab.* 2001;73(3):411–6.
  44. Baner AL. Plastic Packaging Materials for Food. *Plastic Packaging Materials for Food.* 2007. 427–443 p.