

El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales

Río R COBOS⁽¹⁾

⁽¹⁾Departamento de Medicina Física y Rehabilitación. Hidrología Médica, Facultad de Medicina, Universidad Complutense, Madrid, España
riocobos-g@hotmail.com

Recibido: 15-05-16

Aceptado: 21-06-16

Resumen

El envasado de agua mineral natural en botellas de polietilén tereftalato (PET), como método más ampliamente extendido, es un tema que actualmente se está revisando debido a la creciente preocupación sobre la toxicidad de los materiales poliméricos, plásticos, en contacto con alimentos de consumo humano. Se hace necesario clarificar si es posible la migración de compuestos genotóxicos y estrogénicos, principalmente, desde el polietilén tereftalato al agua de bebida. A pesar de ser considerado uno de los plásticos más inocuos para la salud humana y medioambiental, existen compuestos claramente relacionados con la migración al agua, como son el antimonio, el formaldehído y el acetaldehído, y otros que se han visto asociados por los medios de comunicación pero que, en realidad, no se encuentran presentes en el producto final y/o en el procesado del PET. Para ello, se revisó la bibliografía existente sobre estudios de lixiviación mediante la búsqueda en revistas médicas y relacionadas con la industria de los plásticos y de las características del PET como polímero en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Palabras clave: Polietilén tereftalato (PET), botella PET, agua mineral natural, migración, reciclado, envasado

The polyethylene terephthalate (PET) as mineral water container

Abstract

The packaging of mineral natural water in polyethylene terephthalate bottles (PET), as a method more widely extended, is a question that actually is being reviewed by the growing concern about the toxicity of the plastic polymers in contact with food for human consumption. It is needed to clarify if it is possible the leaching of genotoxic and estrogenic compounds, mainly from polyethylene terephthalate (actually the more used plastic) to the drinking water. Despite of being considered one of the most innocuous plastic for the human and environmental health, there are some compounds clearly related to the migration into the water, like antimony, formaldehyde and acetaldehyde, and other that are been associated by the media but they are not really present in the final product or in the PET manufacturing. For this, the literature about the leaching studies has been reviewed through the re-

search in medical journals and journals related to the plastic industry and the PET characteristics as a polymer in the Higher Council for Scientific Research.

Key words: Polyethylene terephthalate, PET bottle, natural mineral water, migration, recycled, packaging

REFERENCIA NORMALIZADA

Cobos RR. El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales. *Bol Soc Esp Hidrol Med*, 2016; 31(2): 179-190. DOI: 10.23853/bsehm.2017.0212

INTRODUCCIÓN

El material polietilén tereftalato (PET) es un políéster obtenido a partir de una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (TA) y el etilenglicol. Su producción comenzó en 1941 en Inglaterra, donde fue patentado por Whinfield y Dickson, y cinco años más tarde ya se utilizaba industrialmente como fibra. Aun así, tuvo que esperar veinte años para empezar a producirse en forma de botellas, su principal destino actual.

En estos momentos, posee una producción mundial de aproximadamente 12 millones de toneladas métricas y su creciente importancia como material de envase alimentario se debe a que en las últimas décadas ha sustituido al vidrio y al policloruro de vinilo (PVC) debido a su mayor manejabilidad e inocuidad, respectivamente. Además de estas dos características, es transparente, ligero, fuerte, seguro, irrompible y reciclable. Su función principal es la de proteger el contenido manteniendo la totalidad de sus características y beneficios intactos, pero en la actualidad su inocuidad está siendo discutida.

Por su parte, la mejora en las tecnologías de barrera del PET aumenta la protección de las propiedades naturales de los productos envasados frente a la migración del oxígeno y del dióxido de carbono pero, al ser el PET el plástico más reciclado a nivel mundial, la posible interacción con tóxicos genera preocupación; la infraestructura de reciclado está totalmente establecida, pudiendo llevarse a cabo el reciclado en varias ocasiones consecutivas y ahorrándose por cada kilogramo de PET reciclado (rPET) utilizado, un 84% de la energía necesaria y reduciéndose en un 71% las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que es un proceso que nos interesa. En cuanto a su posible toxicidad, el PET está aprobado para estar en contacto con alimentos y bebidas por la Food and Drug Administration (FDA) a nivel internacional, y por el Reglamento (CE) n.º 1935/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de octubre de 2004, sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos, a nivel europeo¹, pero estos hechos no tranquilizan a la población, cada vez más preocupada por lo que pueda migrar desde el

materias plásticas a los alimentos, y de esta forma aumentar la susceptibilidad a padecer alguna patología.

El objetivo de este trabajo es dilucidar los riesgos reales y sobrevalorados presentes en el uso de PET, para lo cual se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica sobre sus componentes, los factores que aumentan o disminuyen la migración de los mismos y la alternativa del PET reciclado, muy presente actualmente. En particular se ha pretendido aclarar la información existente sobre el antimonio migrado desde la botella PET, evaluando cada una de las condiciones en las que los ensayos científicos probaron sus niveles de migración, como son la temperatura, el tiempo de almacenamiento o la incidencia de luz solar².

Actualmente, las regulaciones en Europa requieren una evaluación de la seguridad del PET tras un periodo de almacenamiento en el cual las botellas se mantienen a 40° C durante 10 días para probar la migración de los constituyentes de los materiales plásticos³, con el fin de unificar metodologías.

MATERIAL Y METODO

Material

Para la realización de esta revisión, se acudió a la biblioteca del Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), cuya abreviatura es ICTP-CSIC.

Además, se emplearon las páginas de búsqueda de artículos científicos PubMed y Sci-Hub, donde se halló varios artículos sobre la migración de compuestos al agua mineral natural desde botellas PET.

En cuanto al tema de compuestos carbonílicos, existe una extensa muestra de estudios científicos que han valorado el acetaldehído lixiviado desde las botellas de PET, pero pocas investigaciones tratan la migración de otros compuestos carbonílicos al agua, como pueden ser el formaldehído, el propanal o el butanal⁴.

Método

Para la recogida y el tratamiento de la información se ha seguido el método heurístico, basado en la recopilación del material, lectura e interpretación de su contenido y elaboración de fichas de trabajo.

Con la finalidad de dilucidar la posible toxicidad de estos compuestos añadidos y de las interacciones con las sales minerales contenidas en el agua se han revisado múltiples artículos de investigación sobre la migración, entendida como proceso de difusión, y sobre el proceso de fabricación del PET y de los compuestos añadidos en el mismo⁵.

Según la Regulación Europea nº 10/2011⁶, con la transposición al Real Decreto (CE) nº 847/2011, es necesario asegurar la inocuidad de los materiales plásticos en contacto con los productos alimentarios, así como, “las otras sustancias de partida y

las macromoléculas usadas en la fabricación de macromoléculas modificadas deben ser sometidas a una evaluación de riesgos y su uso en la fabricación de materiales y objetos plásticos debe estar sujeto a autorización⁷. Por su parte, todas las botellas PET contienen sustancias incluidas en la lista positiva para el uso en materiales plásticos, pero en el análisis de los plásticos PET se revela la presencia de sustancias inintencionadamente añadidas producidas por reactivos y aditivos autorizados en su inicio⁴.

RESULTADOS-DISCUSSION

Procesos de síntesis del PET y sus componentes químicos

El PET es un polímero conseguido a partir de reacciones de polimerización por condensación, en cada una de las cuales se pierde una molécula de agua. Perteneció al grupo de los copolímeros (macromolécula compuesta por dos o más monómeros) ya que su formación es el resultado de la unión de TA y etilenglicol¹.

La mayoría de los polímeros están formados a partir de productos de la refinación del petróleo, estimándose que en torno a un 3% del petróleo crudo se destina a este tipo de productos petroquímicos⁷.

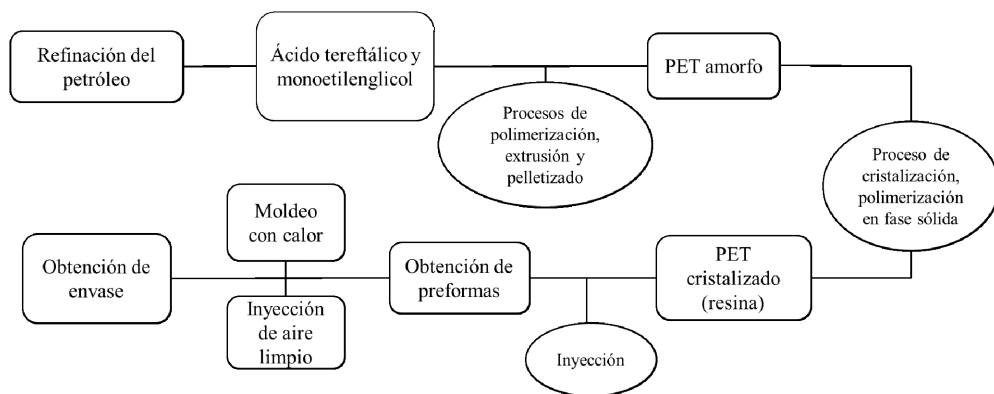
En la Figura 1 mostramos el proceso de síntesis del PET hasta la obtención del envase. Una de las materias primas utilizadas en la fabricación del PET es el xileno, comúnmente conocido como dimetilbenceno, molécula que posee varios isómeros que se diferencian por sus puntos de ebullición con la finalidad de aislar el para-xileno, que es el isómero empleado en la producción de polímeros. Los xilenos se encuentran en los gases de coque, que es un combustible sólido formado por la destilación del carbón, en los gases obtenidos en la destilación seca de la madera y en algunos petróleos. A partir del para-xileno se lleva a cabo la formación de ácido tereftálico puro (PTA), que es un líquido incoloro e inflamable con un olor similar al del tolueno⁷.

El primer paso en la formación del PET es la polimerización, que consiste en la unión de monómeros productores de PET (para-xileno y etileno). El etileno es tratado con oxígeno, en presencia de plata como catalizador de la reacción, para producir óxido de etileno, el cual reacciona con el agua en presencia de un ácido para producir etilenglicol. Por su parte, el para-xileno es oxidado para producir el TA, que más tarde será esterificado a dimetil tereftalato (DMT); esta oxidación se lleva a cabo por un catalizador de cobalto en presencia de metanol⁷.

A nivel industrial, se puede partir de dos moléculas distintas para la producción del monómero tereftalato de bis-hidroxietila (BHET), que son el TA y el DMT, mediante la esterificación con el etilenglicol⁷.

El producto obtenido se fuerza a pasar a través de una matriz por la presión que ejerce el nitrógeno, lo que da lugar a fibras alargadas que caen en agua, donde se

Figura 1 – Proceso de obtención del envase



enfían y consolidan. Estas fibras pasan después por una peletizadora que las reduce a pellets, los cuales se almacenan para el posterior conformado en productos útiles⁷.

El gránulo o pellet obtenido es brillante y transparente debido a su carácter amorfo, posee baja viscosidad y bajo peso molecular, I.V. (Índice de Viscosidad) = 0.55 a 0.65. Para la conversión en botellas para el envasado de agua de bebida se requieren dos pasos más: la cristalización y la polimerización en estado sólido⁷.

La cristalización consiste en el cambio de estructura de los polímeros semicristalinos y la conversión de las macromoléculas con disposición desordenada (estructura amorfa y transparente a la luz) a disposición ordenada (estructura uniforme, cristalina y opaca a la luz), lo que le confiere a la resina una coloración blanca lechosa. El tratamiento conlleva temperaturas de entre 130 y 160 °C durante un tiempo que oscila entre 10 y 60 minutos. Estas condiciones se llevan a cabo mientras el gránulo está en agitación por movimientos mecánicos, con la finalidad de que no se bloquee. Como resultado de esta etapa del proceso, además, se aumenta la densidad del PET⁷, que pasa de 1.33 a 1.4 g/cm³.

Tras los anteriores resultados sobre el producto, se lleva a cabo la polimerización en estado sólido o post polimerización, que consiste en la carga de los gránulos cristalizados en un reactor cilíndrico en cuyo interior se someten a un flujo de nitrógeno a elevadas temperaturas (en torno a 200 °C) durante tiempos prolongados. Este tratamiento deriva en la reacción de polimerización, la cual causa el aumento del peso molecular de la resina hasta valores de entre 0.72 y 0.86 I.V., idóneos para la fabricación de la botella. Además, durante el tiempo que dura esta etapa, se va eliminando parte del acetaldehído que se forma en la primera polimerización a medida que se ligan las moléculas⁷.

De estas etapas se consigue un PET de elevado porcentaje de cristalinidad (superior al 50%) con una viscosidad denominada “Bottle Grade” (Grado para botella)⁷.

Aditivos para la transformación

Los aditivos son productos que se añaden a los polímeros para proporcionarles características especiales que no poseen. Se incluyen bien en el producto o en los procesos de síntesis y procesado, y van dispersos físicamente en la matriz polimérica, sin afectar a la estructura molecular de la misma.

La industria de los plásticos es consciente de que la obtención de productos verdaderamente útiles sólo es posible si a la matriz polimérica se añaden ciertos aditivos. En la Tabla 1 se muestran los aditivos más empleados en la fabricación de polímeros. Aun así, en el proceso de condensación del PET no se hace necesaria la adición de plastificantes y antioxidantes, y los colorantes son añadidos en ciertas ocasiones, pero siempre en pequeñas cantidades¹.

Tabla 1 - Familias de aditivos empleados en la fabricación de polímeros

Función del aditivo	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Lubricantes
Aditivos que disminuyen costes de formulaciones	Plastificantes
Modificadores de propiedades superficiales	Cargas reforzantes
Modificadores de propiedades ópticas	Modificadores de impacto
Aditivos contra el envejecimiento	Cargas
Otros	Diluyentes y extendedores
	Agentes antiestáticos
	Aditivos antideslizamiento
	Aditivos antidesgaste
	Promotores de adhesión
	Pigmentos y colorantes
	Agentes de nucleación
	Estabilizantes contra la luz UV
	Fungicidas
	Agentes espumantes
	Retardantes de llama

Además, se emplean secuestrantes de acetaldehído, con el fin de minimizar el contenido de este compuesto en el agua mineral por el proceso de fundido del poliéster⁸.

Fabricación de botellas por soplado de preformas

Una vez conseguida la preforma del polímero a partir de los constituyentes principales y los aditivos necesarios, se procede al moldeo. El moldeo de las botellas se lleva a cabo mediante un proceso de inyección o soplado de aire caliente, el cual se impulsa a la preforma dispuesta en un molde que contiene la geometría deseada para el envase final⁹.

La máquina de llenado más habitual es de tipo rotatorio con válvulas de llenado mecánicas que se abren ante cada uno de los envases. Actualmente se ha aumentado

el uso de llenadoras con válvulas de llenado electroneumáticas que no entran en contacto con el envase, sino que detectan la presencia del mismo mediante una fotocélula, la cual activa la válvula de llenado⁹.

Tras el llenado se procede al cierre del envase, que se realiza mediante unas máquinas que dispensan el tapón. Posteriormente, el envase se conduce a una impresora láser o de inyección de tinta, la cual plasma el número de lote y la fecha de consumo preferente. Por último, los envases una vez etiquetados, se distribuyen en cajas o paquetes y, de aquí pasan al proceso de paletización⁹.

Compuestos químicos susceptibles de provocar daño endógeno

La migración es un proceso químico basado en el desplazamiento de compuestos presentes en un medio a otro medio en contacto con el anterior¹⁰. Los principales productos a tener en cuenta en la migración desde el polietilén tereftalato son el antimonio, el acetaldehído y el formaldehído.

El antimonio

La totalidad de los estudios de revisión analizados coinciden en que el antimonio (Sb) es el elemento más representativo de la migración de sustancias desde el PET, al agua de bebida, por medio del proceso de lixiviado⁴. El antimonio es considerado un contaminante prioritario por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (USEPA) y por la Unión Europea (EU), marcando el límite máximo de migración en 5 µg/L. Ha sido incluido en regulaciones europeas que tratan sobre la calidad del agua destinada a consumo humano, ya que el almacenamiento de agua en PET durante tiempos prolongados y en determinadas condiciones puede implicar daño para la salud de los humanos¹¹.

El antimonio se encuentra como compuesto orgánico e inorgánico en dos estados de oxidación; los compuestos orgánicos del antimonio son las formas con menor toxicidad, mientras que las formas inorgánicas son las poseedoras de mayor toxicidad¹¹; el antimonio se emplea en la forma de trióxido de antimonio (Sb₂O₃) como el catalizador más importante para la síntesis del PET, cuya función es aumentar la velocidad de las reacciones químicas, y los valores de migración hallados en los envases se encuentran en el rango de 170 a 300 mg/kg de polímero, por lo que se advierte que sólo una pequeña parte del antimonio empleado se libera al agua⁴. Al final del proceso de fabricación, los remanentes de antimonio se enlazan a la cadena de polímero como complejos de antimonio-glicolato, aunque pueden quedar trazas de trióxido de antimonio que se mantengan sin unirse¹¹.

Algunos autores postulan que la migración desde las botellas de PET al agua de bebida libera aproximadamente el 1% de la ingesta diaria tolerable (TDI), establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS)¹².

Actualmente, el límite de migración específica para alimentos envasados en PET se encuentra en 40 µg/kg para sólidos, y en 5 µg/L para el agua de bebida, pero en todos los estudios valorados no se superó bajo ninguna condición el límite específi-

co de migración (SML) estipulado por la regulación de envases europea⁶; lo que sí que se pudo observar es que la lixiviación de antimonio en el agua incrementa rápidamente durante el primer período de almacenamiento y después la migración se mantiene en valores estables. Además, la difusión de antimonio es un proceso activado térmicamente, depende del tiempo de almacenamiento y es influenciado por la presencia de CO₂ en el agua mineral y por el color de la botella de PET¹³.

- En cuanto a la influencia de la temperatura sobre la migración de antimonio, se encontró un incremento de la concentración de antimonio desde 0.44 a 1.90 µg/L por la aplicación de altas temperaturas (70 °C durante 9 horas) en aguas con gas y sin gas carbónico¹⁴. Por su parte, Westerhoff et al. (2008), observó que el contenido de antimonio aumenta hasta 7 µg/L cuando se somete al envase a temperaturas de 80 °C durante 48 horas¹⁵. Se podría concluir que por debajo de 60 °C sólo una pequeña fracción de antimonio es liberada al agua desde la botella de PET, pero la situación cambia cuando las temperaturas alcanzadas son superiores². Por otra parte, se observó que el Sb(III) fue la única especie presente en un primer momento, ya que es la forma utilizada como catalizador, pero a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento a 60° C, la concentración de Sb(V) aumenta conforme va desapareciendo la forma trivalente por oxidación¹¹.
- El periodo de tiempo influye en la lixiviación de forma destacable, aumentando en un 90% de media tras un período de 6 meses a temperatura ambiente¹³.
- El color de la botella no tiene correlación, de forma clara, con la migración de antimonio. Carneado et al. (2015)¹¹ observaron que la liberación de antimonio en agua ultrapura tras un período de incubación de 10 días a 60 °C fue cuatro veces superior en botellas PET de coloraciones azuladas en comparación con las muestras transparentes. Por el contrario, Westerhoff et al. (2008)¹⁵ encontraron que la migración de antimonio era superior en agua almacenada en botellas de color transparente que en color azul claro.
- Influencia del pH: se demostró que la velocidad de disolución del antimonio en el agua es superior en aguas con gas que en agua sin gas, debido al bajo pH del agua carbogaseosa¹⁴. Se investigó la liberación de antimonio desde el envase de PET a 10 muestras de agua, siendo éstas de agua carbogaseosa y de agua sin gas; la concentración de antimonio en el agua sin gas fue menor que en la carbogaseosa bajo idénticas condiciones de almacenamiento. Sólo bajo condiciones de luz y temperaturas extremas, la concentración de antimonio excedió los 2 µg/L¹⁴. Según los resultados obtenidos, la concentración de antimonio en agua carbogaseosa fue dos veces más alta que en el agua sin gas, sugiriendo que la liberación de antimonio se aceleraba bajo la presencia de dióxido de carbono¹³.
- Influencia de la luz solar: la exposición a la luz solar parece ser menos significativa que otros factores en la migración de antimonio¹⁶.

- En cuanto a la superficie en contacto con el agua, en idénticas condiciones del ensayo, se detectó que botellas de volúmenes superiores liberan menos niveles de antimonio¹³.
- Comparación con el vidrio: el vidrio es, típicamente, un material de envasado considerado como inerte, pero se evaluó la migración de diferentes elementos minerales al agua de bebida desde envases de vidrio, PET duro y PET blando. El agua presente en botellas de PET, tanto duro como blando, mostró una concentración de antimonio superior al agua contenida en botella de vidrio, en torno a 21 veces mayor en las primeras. Por su parte, las botellas de vidrio lixivian una cantidad de elementos mayor que las botellas de PET, en particular, de cerio (Ce) 19 veces más, plomo (Pb) 14 y aluminio (Al) 7 veces más. Además, se halló que las botellas de vidrio pueden lixiviar antimonio, encontrándose los valores más elevados tras 150 días en botellas de vidrio verde oscuro. Generalizando, las botellas de PET contaminan el agua con antimonio, y las botellas de vidrio lo hacen con plomo¹⁷.

Como se ha mencionado anteriormente, un material plástico es considerado óptimo para entrar en contacto con alimentos si los test de migración verifican que no se superan los límites de migración establecidos².

Compuestos carbonílicos: el formaldehído y el acetaldehído

El formaldehído y el acetaldehído son los compuestos carbonílicos más relevantes detectados en estudios de lixiviación de botellas PET al agua de bebida. Son generados por degradación termomecánica y termooxidativa de PET. Para estos dos compuestos existen valores SML establecidos en 15 mg/kg para formaldehído y 6 mg/kg para acetaldehído⁴.

El acetaldehído es un compuesto volátil, genotóxico en varios sistemas biológicos y considerado como un posible carcinógeno humano por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) dependiente de la OMS. Por su parte, la genotoxicidad del formaldehído ha sido ampliamente investigada, induciendo el daño en el DNA y los cromosomas en un amplio espectro de organismos, por lo que es considerado como un carcinógeno de clase 1 por la IARC y se considera genotóxico en varios sistemas biológicos¹⁸.

Con la finalidad de disminuir la concentración de acetaldehído se emplea un agente secuestrante denominado 2-aminobenzamida o antranilamida⁸. La regulación europea N° 10/2011 restringe el SML para acetaldehído en comida envasada en PET en 6 mg/kg de alimento, no pudiendo ser alcanzado este límite bajo las condiciones habituales de uso del PET. Además de su toxicidad, el acetaldehído es susceptible de provocar modificaciones en las cualidades organolépticas del agua, siendo su umbral del sabor 10 µg/L (retronasal) y 25 µg/L (ortonasal), por lo que se considera un compuesto diana para mantener las características del agua mineral natural. La antranilamida está aprobado como aditivo para usar en botellas PET con un límite SML de 50 µg/L¹⁹.

Nawrocki et al. (2002)²¹ llevó a cabo una investigación en la cual se observó un incremento en formaldehído y acetaldehído en agua carbogaseosa almacenada en botellas PET expuesta a la luz solar durante un periodo de tiempo determinado. Por el contrario, Wegelin et al. (2001)²² observó el mismo nivel de formaldehído en agua embotellada no expuesta y en muestras sujetas a una velocidad de radiación máxima (548 kWh/).

Preocupación en el tercer mundo, el método SODIS

En el estudio científico de Schmid et al. (2008) se trató la preocupación por la seguridad toxicológica del agua embotellada en PET sometida a un tratamiento de desinfección solar llamado SODIS, consistente en la introducción de agua contaminada microbiológicamente en botellas plásticas de PET transparente, las cuales son sometidas a incidencia total de luz solar durante al menos 6 horas. Se determinó la presencia de plastificantes di(2-etilhexil) adipato (DEHA) y di(2-etilhexil) ftalato (DEHP) en concentraciones de 0.046 y 0.71 μ /L, respectivamente, lo que significa que el procedimiento SODIS es seguro por no superar los límites establecidos²³. Una migración sustancial de antimonio desde el PET al agua sólo tiene lugar bajo condiciones que no ocurren típicamente en el proceso SODIS como, por ejemplo, la exposición a 80° C durante varios días²³.

CONCLUSIONES

Gracias a los datos valorados se puede concluir que el PET, como producto utilizado en la fabricación de envases, es seguro toxicológicamente; los niveles hallados de antimonio, en condiciones normales de almacenamiento, no superan los límites de migración específicos marcados por la Unión Europea. Por su parte, los compuestos carbonílicos tampoco superan los límites en condiciones habituales de uso, siendo los niveles de acetaldehído lo único que se debe controlar por su incidencia en las características organolépticas del agua, lo que se modifica mediante el empleo de secuestrantes.

BIBLIOGRAFIA

1. Beltrán M, Gomis, A. Tecnología de polímeros, Procesado y Propiedades. Alicante. Servicio de publicaciones Universidad de Alicante, 2012.
2. Sánchez-Martínez M, Pérez-Corona T, Cámara C, Madrid Y. Migration of antimony from PET containers into regulated EU food simulants. *Food Chemistry*. 2013 Nov15;141(2):816-22.
3. Directiva 82/711/EEC del Consejo de 18 de octubre de 1982 que establece las normas de base necesarias para la verificación de la migración de los constitu-

- yentes de los materiales y objetos de materia plástica destinados a entrar en contacto con productos alimenticios.
- Bach C, Dauchy X, Chagnon MC, Etienne S. Chemical compounds and toxicological assessments of drinking water stored in polyethylene terephthalate (PET) bottles: A source of controversy reviewed. *Water Research*. 2012 Mar 1;46(3):571-83.
 - Maraver F, Vitoria I, Ferreira-Pêgo C, Armijo F, Salas-Salvadó J. Magnesium in tap and bottled mineral water in Spain and its contribution to nutritional recommendations. *Nutrición Hospitalaria*. 2015 May 1;31(5):2297-312.
 - Reglamento (UE) N° 10/2011 de la Comisión de 14 de enero de 2011 sobre materiales y objetos plásticos destinados a entrar en contacto con alimentos (Texto pertinente a efectos del EEE).
 - Garrido L, Ibarra L, Marco C. *Ciencia y Tecnología de Materiales Poliméricos*, Vol. 1. ICTP-CSIC. 2004.
 - Patente US 6274212 <http://www.google.es/patents/US6274212> Rule M, Shi Y, Huang X, inventors. The Coca-Cola Company, assignee. Method to decrease the acetaldehyde content of melt-processed polyesters. United States patent US 6274212B1. 2001 Aug 14.
 - López-Fernández JJ. Tecnología del agua embotellada. En: López-Geta JA, Rubio-Campos JC (ed). *Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén*. Madrid: IGME. 2002: 239-245.
 - Muncke, J. *Food Packaging Forum*. Migración [en línea] revisado en: (10/05/2016). <http://www.foodpackagingforum.org/foodpackaginghealth/-migration?lang=es>
 - Carneado S, Hernández-Nataren E, López-Sánchez JF, Sahuquillo A. Migration of antimony from polyethylene terephthalate used in mineral water bottles. *Food Chemistry*. 2015 Jan 1;166:544-50.
 - Welle F, Franz R. Migration of antimony from PET bottles into beverages: determination of the activation energy of diffusion and migration modelling compared with literature data. *Food Additives & Contaminants: Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*. 2011 Jan;28(1):115-26.
 - Bach C, Dauchy X, Severin I, Munoz JF, Etienne S, Chagnon MC. Effect of temperature on the release of intentionally and non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and potential toxicity. *Food Chemistry*. 2013 Aug 15;139(1-4):672-80.
 - Keresztes S, Tatár E, Mihucz VG, Virág I, Majdik C, Zárny G. Leaching of antimony from polyethylene terephthalate (PET) bottles into mineral water. *Science of the Total Environment*. 2009 Aug 1;407(16):4731-5.
 - Westerhoff, P, Prapaipong, P, Shock, E, Hillaireau, A. Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. *Water Research*. 2008 Feb 1; 42(3):551-556.

16. Bach C, Dauchy X, Severin I, Munoz JF, Etienne S, Chagnon MC. Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: chemical analysis and in vitro toxicity. *Food Chemistry*. 2014 Nov 1;162:63-71.
17. Reimann, C., Birke, M., Filzmoser, P., 2010. Bottled drinking water: water contamination from bottle materials (glass, hard PET, soft PET), the influence of colour and acidification. *Applied Geochemistry*. 25, 1030–1046.
18. Ceretti E, Zani C, Zerbini I, Guzzella L, Scaglia M, Berna V, Donato F, Monarca S, Feretti D. Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. *Water Research*. 2010Mar;44(5):1462-70.
19. Franz R, Gmeiner M, Gruner A, Kemmer D, Welle F. Diffusion behaviour of the acetaldehyde scavenger 2-aminobenzamide in polyethylene terephthalate for beverage bottles. *Food Additives & Contaminants: Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*. 2016 Feb;33(2):364-72.
20. Nawrocki J, Dabrowska A, Borcz A. Investigation of carbonyl compounds in bottled waters from Poland. *Water Research*. 2002;36(19)4893-4901.
21. Wegelin M, Canonica S, Alder C, Marazuela D, Suter MJF, Bucheli TD, Haefliger OP, Zenobi R, McGuigan KG, Kelly MT, Ibrahim P, Larroque M. Does sunlight change the material and content of polyethylene terephthalate (pet) bottles?. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*. 2001;50(3)125-133.
22. Repetto M, Repetto G. *Toxicología fundamental*. 4ª ed. Sevilla. Díaz de Santos; 2009.
23. Schmid P, Kohler M, Meierhofer R, Luzi S, Wegelin M. Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water? *Water Research*. 2008 Dec;42(20):5054-60.