



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Facultad de Enfermería de Soria



Facultad de Enfermería de Soria

GRADO EN ENFERMERÍA

Trabajo Fin de Grado

Acrilamida y su presencia en los alimentos.

Estudiante: Sara Sáenz Lorente

Tutelado por: Isabel Carrero Ayuso

Soria, 31 de mayo de 2017



Facultad de enfermería
Campus Universitario Duques de Soria



“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida”.

Marco Aurelio

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

Los tóxicos alimentarios, son sustancias químicas presentes en los alimentos que pueden producir algún efecto nocivo sobre un ser vivo, alterando su equilibrio vital. Algunos son originados durante el procesado de los alimentos, en general, al ser sometidos estos a elevadas temperaturas. Los diferentes tratamientos térmicos que aplican a los alimentos llevan asociadas, en ocasiones, una serie de reacciones responsables de la formación de compuestos que otorgan el aroma y sabor a los alimentos, pero que generan, a su vez, compuestos perjudiciales para la salud. Una de ellas es la reacción de Maillard en la que se produce el monómero de acrilamida, una sustancia neurotóxica, clasificada como posible carcinógeno en humanos de tipo 2A por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. El descubrimiento de la presencia de la acrilamida en los alimentos se produjo en el año 2002 gracias a un estudio publicado por un grupo de investigadores suecos.

OBJETIVO GENERAL

Mostrar un panorama general de los conocimientos de los que se dispone en la actualidad sobre la acrilamida, dando a conocer su presencia en los alimentos y determinando cuáles son los que presentan una mayor concentración de este tóxico, con la finalidad de presentar aquellas medidas más eficaces que pueden ser empleadas para disminuir su ingesta.

RESULTADOS

El descubrimiento de la presencia de acrilamida en los alimentos ha despertado el interés de las autoridades de seguridad alimentaria de muchos países del mundo. La FAO/OMS ha establecido una serie de recomendaciones, a nivel internacional, para conseguir reducir los niveles de acrilamida en la alimentación. Además de las recomendaciones generales descritas por la FAO/OMS, Estados Unidos y los países de Europa han desarrollado las suyas propias.

CONCLUSIONES

El descubrimiento del monómero de acrilamida es muy novedoso y desconocido para muchos sectores de la población. Será conveniente que se les informe y enseñen las medidas de mitigación que pueden llevar a cabo en el hogar. Asimismo, se deberá continuar potenciando la investigación para comprobar la inocuidad de las recomendaciones propuestas y descubrir nuevas estrategias que sean eficaces, factibles y no presenten ningún riesgo para la salud.

PALABRAS CLAVE

Acrilamida, reacción de Maillard, tóxicos alimentarios, cáncer.

ÍNDICE

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Introducción..... | 3 |
| Justificación..... | 5 |
| Competencias..... | 6 |
| Objetivos..... | 7 |
| Metodología..... | 7 |
| Desarrollo..... | 8 |
| Resultados y discusión..... | 14 |
| Conclusiones..... | 18 |
| Bibliografía..... | 20 |
| Anexos..... | 24 |
| Anexo 1..... | 24 |
| Anexo 2..... | 26 |
| Anexo 3..... | 28 |
| Anexo 4..... | 29 |
| Anexo 5..... | 30 |

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Estructura química de la acrilamida..... | 26 |
| Figura 2. Mutación de carácter dominante..... | 26 |
| Figura 3. Reacción de Maillard..... | 27 |
| Figura 4. Influencia de la temperatura y del tiempo de cocinado en el contenido de acrilamida en las patas fritas..... | 27 |
| Tabla 1. Concentraciones de acrilamida en distintos alimentos..... | 28 |

1. INTRODUCCIÓN

El término alimento procede de la palabra latina “alimentum”, la cual designa a aquellas sustancias sólidas o líquidas con las que se nutren los seres vivos. Los alimentos, constituyen nuestra fuente principal de obtención de nutrientes y energía necesarios para el desarrollo y mantenimiento de las funciones vitales. Pueden ser ingeridos tal y como se presentan en la naturaleza, o bien, tras ser sometidos a alguna transformación que los hace aptos para el consumo humano¹.

Los avances científicos desarrollados durante las últimas décadas han puesto en evidencia la trascendencia de una alimentación saludable para la promoción de la salud y el bienestar físico y emocional. Además, estudios epidemiológicos han puesto en evidencia la estrecha relación existente entre la forma de alimentación y la incidencia de distintas patologías, como por ejemplo el cáncer, en el ser humano. Esto ha suscitado interés en el ámbito sanitario e industrial pero también a nivel particular, entre los consumidores. La sociedad cada vez posee más conocimientos sobre la importancia que subyace al cuidado de su salud y cada vez son mayores las exigencias de la población¹.

Cada vez se sabe más sobre las propiedades de cada nutriente, así como sobre sus beneficios y posibles efectos adversos. Sin embargo, el desarrollo industrial y el tecnológico, así como una mayor superpoblación, han conllevado también un aumento de la utilización de sustancias químicas, una mayor contaminación de los alimentos en muchos casos y la utilización de procesos que someten a los alimentos a cambios físicos y químicos que pueden derivar en la formación de sustancias tóxicas a las cuales estamos cada vez más expuestos, hecho que ha adquirido una gran repercusión convirtiéndose en un importante problema para la salud pública mundial².

Aunque se conoce la existencia de numerosos tóxicos presentes en los alimentos, todavía queda un largo camino que recorrer para llegar a comprender toda su trascendencia y las complicaciones que pueden llevar asociadas. Esto, en parte, también es debido a que los nuevos estudios, por lo general, se centran en valorar el riesgo inmediato de los tóxicos sin tener en cuenta el potencial acumulativo que presentan muchos de ellos, pudiendo adquirir capacidad de mutagenidad, genotoxicidad, e incluso, carcinogenicidad².

Los tóxicos alimentarios, son sustancias químicas presentes en los alimentos que pueden producir algún efecto nocivo sobre un ser vivo, alterando su equilibrio vital. Se definen como tal, siempre y cuando su empleo no se haga de forma intencionada. Es conveniente diferenciar los tóxicos alimentarios de los agentes antinutricionales, es decir, de aquellos que interfieren en la disponibilidad de algún nutriente pero cuya interferencia es reversible si se incrementan los niveles ingeridos del nutriente. Dentro de este último grupo se incluyen las antienzimas (inhibidores de proteasas, amilasas, ...), antivitaminas (antitiaminasas, ascorbato oxidadas, ...) y los secuestrantes de minerales (fitatos, ácido oxálico, ...)².

Los tóxicos alimentarios se pueden clasificar, según su origen, en cuatro grupos³ (no obstante, podemos encontrarnos algunos tóxicos que pueden ser adscritos a más de uno) –más detalles en Anexo I–:

- **Naturales:** se encuentran presentes en el propio alimento; los problemas que ocasionan suelen ser por su elevada concentración en determinados alimentos o por confusión entre especies tóxicas e inocuas, como es el caso de las setas venenosas,
- **Accidentales:** son los que presentan por lo general mayor riesgo para nuestra salud. En muchas ocasiones se desconocen la cantidad, el tipo concreto de alimento al que puede estar asociado o cómo ha llegado al mismo. Se incluyen en este grupo los contaminantes biológicos, los plaguicidas y los metales tóxicos.
- **Originados durante el procesado:** aparecen como resultado de la transformación de los alimentos durante su elaboración (en los procesos de estabilización, formulación, mezclado, esterilización, transporte, cocinado, etc.).
- **Intencionales:** son sustancias ajenas al alimento que se agregan en cantidades conocidas con un fin particular, entre ellos se encuentran algunos aditivos (conservantes, colorantes, edulcorantes, ...).

Algunos de los tóxicos alimentarios originados durante el procesado se forman cuando los alimentos son sometidos a elevadas temperaturas durante la industrialización y preparación de los mismos.

Los diferentes tratamientos térmicos que se emplean en la industria alimentaria, entre los que se incluyen la fritura, el tostado y el horneado, llevan asociadas, intrínsecamente, una serie de reacciones responsables de la formación de compuestos que otorgan el aroma y sabor a los alimentos. No obstante, a su vez, en estas reacciones se forman compuestos nocivos para la salud que pueden inducir la aparición de cáncer, hecho que ocurre durante la reacción de Maillard. Uno de los tóxicos formados en esta reacción es la acrilamida, una sustancia neurotóxica, clasificada como posible carcinógeno en humanos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer⁴.

A pesar de ser conocida su existencia con anterioridad, no fue hasta el año 2002 cuando se descubrió la presencia de la acrilamida en los alimentos. La “Autoridad Sanitaria Sueca de los Alimentos” fue la responsable de este gran hallazgo, verificado posteriormente por estudios publicados en Noruega, Suiza, Reino Unido y EE. UU. Antes de este descubrimiento se creía que la exposición humana a este compuesto procedía única y principalmente del agua de consumo y de los cigarrillos⁵.

Dicha revelación, suscitó un gran interés en distintos ámbitos, entre ellos la Comisión Europea, los países miembros de la UE y la industria alimentaria. Es por ello, que a raíz de ese momento, se ha fomentado el desarrollo de investigaciones para conocer las vías de formación de este compuesto, la manera posible de reducir su formación y evaluar su toxicidad y los efectos en la salud derivados de su exposición.

Asimismo, desde el año 2002, las Autoridades de Seguridad Alimentaria mundiales han llamado la atención a la industria y a los consumidores para que se logre asumir una actitud responsable con el objetivo de poder reducir los niveles de formación de acrilamida y disminuir el consumo de alimentos ricos en este compuesto.

En el año 2003, la Comisión Europea publicó una serie de recomendaciones dirigidas a la industria alimentaria con el fin de disminuir la formación de esta sustancia en aquellos alimentos con mayor probabilidad de contenerla. Esta entidad, en colaboración con la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), desarrolló, además, una base de datos para incluir las investigaciones sobre la acrilamida realizadas por los estados miembros de la UE⁶.

A su vez, en el año 2009, el *Codex Alimentarius* elaboró un “Código de Prácticas” a nivel internacional para la reducción del monómero en los alimentos (CAC/RCP 67-2009), basándose para ello, en los datos recogidos por la JECFA (Comité Mixto de la FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios). El objetivo de este código es orientar a las autoridades y fabricantes de los países para reducir la formación de acrilamida en los productos de patata y cereales⁷.

Por otro lado, la Comisión Europea *Food and Drink Europe* (organización que representa a la industria alimentaria y de bebidas en Europa), en asociación con las autoridades nacionales y la Comisión Europea, han elaborado una “Caja de Herramientas de la Acrilamida”, la cual comprende medidas voluntarias que pueden ser adoptadas por los proveedores de alimentos para el empleo de buenas prácticas durante el procesado de estos⁶.

Posteriormente, durante los años 2007-2009, a raíz de la Recomendación 2007/331/CE de la Comisión Europea, se llevaron a cabo controles sistemáticos de los niveles de acrilamida en los alimentos. Esta recomendación, establecía un programa de control de 3 años de la concentración de acrilamida en una serie de productos alimentarios⁸.

En el año 2011, la Comisión Europea desarrolló una nueva recomendación, a través de la cual se animaba a los países europeos a realizar investigaciones sobre aquellos alimentos que presenten unas concentraciones más elevadas de esta sustancia química⁹.

Los resultados obtenidos en los estudios realizados entre los años 2007-2010 fueron recogidos y analizados por la EFSA en un informe publicado en el año 2012^{6,7}.

2. JUSTIFICACIÓN

El cáncer es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo y según la OMS, se estima que el número de casos nuevos aumente en un 70% en los próximos 20 años. Sin embargo, es un hecho destacable que un tercio de las defunciones por esta causa se relacionan con factores conductuales y dietéticos y, por lo tanto, prevenibles.¹⁰

Respecto a los factores dietéticos, se sabe que la aparición de cáncer está muy relacionada con la ingesta de una dieta rica en grasas, salazones, ahumados y pobre en fibra. Sin embargo aún quedan rescoldos por descubrir y dar a conocer.

Recientemente, el hallazgo de la formación de tóxicos alimentarios originados en el procesado de los alimentos ha despertado el interés de la industria y las autoridades de salud alimentaria. Uno de estos compuestos es la acrilamida, la cual se conoce por su neurotoxicidad en personas, aunque se requieren más investigaciones para corroborar la hipótesis de que se trate de un cancerígeno en humanos, si bien es cierto que ya se ha comprobado que actúa como tal en animales tras los ensayos realizados.

Lo mencionado anteriormente nos lleva a pensar que no solo es importante llevar a cabo una restricción de alimentos con elevadas concentraciones de este compuesto para disminuir su exposición, sino que debemos tener también en cuenta las técnicas empleadas en el procesado para reducir los niveles del mismo.

La presente revisión bibliográfica se enfocará a profundizar en las características de la acrilamida, así como su principal vía de formación y los efectos adversos que tiene para la salud humana. Esto nos permitirá recopilar la información descubierta por las recientes investigaciones sobre las medidas que pueden ser tomadas, tanto para reducir los niveles de acrilamida en los alimentos como para disminuir el consumo de aquellos con unos niveles más elevados en este compuesto, con el objetivo de que puedan ser empleadas tanto en el ámbito industrial como en el hogar.

Para que la población adquiera estos conocimientos, así como la motivación necesaria para cambiar sus hábitos o procedimientos alimentarios, será imprescindible la colaboración de los profesionales sanitarios a través de la realización de programas de educación para la salud. No obstante, será preciso, que la información recogida continúe siendo actualizada, puesto que se trata de un tema muy novedoso y los estudios realizados son escasos.

3. COMPETENCIAS

Generales

C.G.3. Deben demostrar la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (dentro del área de enfermería) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética.

Transversales

C.T.2. Capacidad para aplicar el razonamiento crítico.

C.T.3. Capacidad de análisis y síntesis.

C.T.8. Capacidad de resolución de problemas y toma de decisiones.

C.T.9. Capacidad para trabajar en base a criterios de calidad.

C.T.13. Capacidad de aprender

C.T.17. Capacidad para usar adecuadamente medios informáticos y nuevas tecnologías.

C.T.18. Capacidad para demostrar habilidades de investigación.

4. OBJETIVOS

Objetivo general:

Mostrar un panorama general de los conocimientos de los que se dispone en la actualidad sobre la acrilamida, dando a conocer su presencia en los alimentos y determinando cuáles son los que presentan una mayor concentración de este tóxico, con la finalidad de presentar aquellas medidas más eficaces que pueden ser empleadas para disminuir su ingesta.

Objetivos específicos:

- Recopilar información sobre los efectos nocivos de la acrilamida para el ser humano así como sobre las posibles fuentes de exposición.
- Profundizar en la reacción principal de formación de este tóxico alimentario, la reacción de Maillard.
- Establecer una comparación entre las medidas dietéticas propuestas por distintos países para disminuir la ingesta de acrilamida.


5. METODOLOGÍA

Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica, que incluye un examen completo, profundo y crítico de la literatura relacionada con la acrilamida y su presencia en los alimentos, así como sobre las medidas de mitigación existentes para reducir el consumo de esta sustancia en la dieta.


Las fuentes de información que he utilizado han sido:

Bases de datos:

- Web of Science: 4 artículos encontrados, 3 válidos.
- SciELO: 1 artículo encontrado, 1 válido.
- Lilacs: 5 artículos encontrados, 0 válidos.
- Google Académico: 13 encontrados, 8 válidos.
- PubMed: 54 artículos encontrados, 3 válidos.

 Páginas oficiales: Organización Mundial de la Salud (OMS), Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (MSSSI), *Food and Drug Administration* (FDA), *European Commission*, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN).

 Glosario online: *GreenFacts*.

 Repositorio institucional: DIGITAL.CSIC.

- ✚ Libro en papel: Procesado térmico y calidad del alimento: análisis y control (cita n.º 22).
- ✚ Libros en Internet: Consultas sobre la inocuidad de los alimentos. Consecuencias para la Salud de Acrilamida en los Alimentos (cita n.º 16).
Codex Alimentarius. Prevención y Reducción de la Contaminación de los Alimentos y Piensos (cita n.º 26).

Palabras clave:

Acrilamida (*acrylamide*), reacción de Maillard, tóxicos alimentarios, efectos nocivos, cáncer, recomendaciones, alimentos, aductos, Caja de Herramientas.

Operadores booleanos: AND, OR.

Criterios de exclusión e inclusión:

La búsqueda fue acotada en un principio a 10 años, sin embargo, debido a la falta de información para desarrollar un tema centrado en la relación de la acrilamida con la alimentación finalmente recogí publicaciones de los últimos 15 años.

Los idiomas a los que reduje la búsqueda fueron español e inglés. Asimismo acote la búsqueda a artículos que permitieran el acceso gratuito al texto completo.

Limitaciones de estudio:

Entre las limitaciones que he encontrado al realizar la revisión bibliográfica cabe destacar: los escasos artículos actualizados relacionados con el tema, la dificultad de comprensión por la excesiva información con terminología química y médica y con poca aplicabilidad en el área de enfermería y la existencia de diversos interrogantes sobre la acrilamida que faltan por descubrir (no se han establecido valores generales óptimos de consumo promedio en la dieta diaria, las medidas de mitigación no se han extendido ni hay pautas de obligado cumplimiento, se trata de un tema muy actual y no hay suficientes evidencias sobre los efectos nocivos de este tóxico alimentario en humanos, ...).

6. DESARROLLO

La acrilamida, también conocida como 2-propenamida, etilcarboxamida, o vinil-amida, es un compuesto orgánico nitrogenado de tipo amida. Presenta un color blanco cristalino y es de aspecto fluido. Su fórmula molecular es: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$ (Anexo 2, Figura 1). Es una molécula soluble en agua, etanol, metanol, dimetiléter y acetona, e insoluble en heptano y benceno^{5,7}.

Debido a los resultados obtenidos en los estudios experimentales realizados en mamíferos, el monómero de acrilamida, fue clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) como un posible carcinógeno para el ser humano de tipo 2A. Esta categoría se asigna a aquellas sustancias que presentan una elevada probabilidad de

ser carcinogénicas para las personas, una vez que se han obtenido pruebas limitadas en humanos y suficientes en animales^{11,12}.

Este compuesto se ha utilizado, y se sigue utilizando, en diversas aplicaciones en el ámbito industrial. Se emplea como floculante en la clarificación de aguas, se utiliza en la elaboración de papel y pegamentos, en la eliminación de sólidos en aguas residuales, en preparaciones de muestras de laboratorios biotecnológicos, como estabilizante de suelos y en aditivos para cosméticos. Además, se encuentra en el humo del tabaco (afectando tanto al fumador activo como al pasivo), en los gases vertidos por los tubos de escape de los coches y en un gran número de alimentos^{13,14}.

La acrilamida puede entrar en contacto con el ser humano por vía oral, por inhalación o a través de la piel. Se ha demostrado que la principal vía de exposición es el humo del tabaco, que contiene entre 1 y 2 µg netos de esta molécula. No obstante, la vía de absorción más rápida es la oral. Debido a su elevada solubilidad en agua, la acrilamida se distribuye fácilmente por los distintos tejidos corporales. Según la OMS, se considera como cantidad de acrilamida de riesgo a partir de 0,1 mg /kg peso/ día^{14,15}.

La vida media de eliminación de esta sustancia es corta pero un pequeño porcentaje permanece en los tejidos. En ratas se ha estimado un tiempo de vida medio de 2-3 horas¹⁵.

Los investigadores emplean biomarcadores para poder comprobar la exposición de un ser vivo a sustancias extrañas. En algunos casos estos biomarcadores son aductos, complejos que se originan a partir de la unión entre un compuesto químico y una molécula biológica, generalmente ADN o proteínas. La formación de aductos de ADN suele deberse a la exposición a sustancias carcinogénicas, pudiendo ser reversible o no la formación de estos complejos; en el caso de no ser reversible, puede dar lugar a una mutación. Cuando la unión del compuesto se produce con una proteína no suele provocar efectos adversos; no obstante, el aducto formado puede, como se ha dicho, ser empleado como biomarcador para poder medir la exposición a posibles sustancias nocivas para el organismo. En el ser humano se ha usado como marcador de exposición *in vivo* a la acrilamida la formación de aductos en la valina N-terminal de la hemoglobina, lo cual ha confirmado la formación de este metabolito *in vivo* en personas después de haber estado expuestas a este monómero^{15,16,17}.

Efectos adversos

La acrilamida ingerida con los alimentos se absorbe y distribuye rápidamente, tanto en animales como en el ser humano, por numerosos órganos y tejidos como: timo, hígado, corazón, cerebro y riñones. Asimismo, en mujeres embarazadas podemos encontrarla en la placenta y en la leche materna, por lo que puede ser transferida fácilmente al feto o al recién nacido¹⁸.

Según distintos experimentos, se ha comprobado que, en animales, esta sustancia provoca genotoxicidad, es decir, tiene capacidad para inducir daño hereditario a nivel genético y cromosómico, pudiendo dar lugar a mutaciones de tipo dominante con carácter letal –cambios en la secuencia de ADN que se manifiestan en el fenotipo con un único alelo presente, ya que, al ser dominante, basta con que aparezca una sola copia del gen para que se

expresen la alteración– (Anexo 2, Figura 2). Distintas investigaciones han puesto en evidencia también su potencial para generar carcinogenicidad en animales (tumores en testículos y órganos reproductivos, glándulas suprarrenales, glándula tiroidea, glándulas mamarias, cavidad oral; además de fibroadenomas en ratas hembra), así como efectos adversos en la reproducción (se ha comprobado que, en roedores, la acrilamida provoca una disminución de la fertilidad afectando a la movilidad y morfología de los espermatozoides y alterando los niveles de estrógenos y progesterona) y neurotoxicidad¹⁹.

La neurotoxicidad es el único efecto demostrado en humanos; aparece posteriormente a una exposición continuada a la acrilamida, incluso cuando se produce a bajos niveles. Esta sustancia química provoca daño a nivel de las células de Purkinje y degeneración en los axones distales del sistema nervioso central y del periférico. Generalmente, las lesiones producidas se manifiestan en forma de neuropatía periférica. Esta afectación se caracteriza por: ataxia, debilidad del músculo esquelético y entumecimiento de manos y pies^{14,15,20,21}.

Los estudios destinados a conocer la correlación existente entre el consumo de acrilamida en la dieta y la aparición de cáncer no son suficientes para establecer una asociación. Sin embargo, sí se ha podido demostrar que en aquellos trabajadores de fábricas expuestos de forma prolongada a elevadas concentraciones de este compuesto, el riesgo de padecer cáncer de páncreas se duplica²¹.

Otra observación obtenida tras el desarrollo de investigaciones sobre esta sustancia es el hecho de que entre el 10-50% de la acrilamida que una mujer embarazada asimila con la dieta es transferida al feto^{14, 21}.

Reacción de Maillard

La formación de acrilamida en los alimentos se produce, principalmente, a través de la reacción de Maillard, también conocida como “reacción de pardeamiento no enzimático”, mediante la cual los alimentos se oscurecen y se vuelven más sabrosos durante el cocinado. Esta reacción fue descrita por primera vez, en el año 1912, por el psicólogo y químico francés Louis Camille Maillard (1878-1936) quien, cuando investigaba cómo se combinaban los aminoácidos para formar proteínas, descubrió este proceso relacionado con el oscurecimiento de los alimentos y que se está produciendo desde el descubrimiento del fuego y su aplicación para el tratamiento térmico de los alimentos²².

En este proceso actúan como reactivos el grupo amino de un aminoácido (principalmente la asparagina) y un grupo carbonilo de un azúcar reductor (generalmente un monosacárido, principalmente glucosa o fructosa, o un disacárido, como maltosa o lactosa), y para que la reacción tenga lugar se requiere la adición de calor (Anexo 2, Figura 3). A partir de este primer momento, tiene lugar una secuencia de reacciones químicas que provocan cambios en la composición y la textura de los alimentos^{23,23}.

La reacción de Maillard es responsable de la formación de moléculas que otorgan el color y sabor (característica sensorial relacionada con las sensaciones del olor y gusto) a los alimentos durante el procesado térmico de los mismos. Esta reacción se produce durante la elaboración, el almacenamiento y el calentamiento de estos. Además de la acrilamida, también

da lugar a la formación de otros productos potencialmente cancerígenos como son las aminas heterocíclicas²².

Según otras investigaciones, la formación de acrilamida puede producirse también a partir de¹³:

- Otros aminoácidos, entre los que se incluyen: alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina.
- Acroleína o ácido acrílico, los cuales pueden provenir de la degradación de lípidos, carbohidratos o aminoácidos libres.
- Reacciones de deshidratación y descarboxilación de ácidos orgánicos comunes como son: ácido málico, ácido láctico y ácido cítrico²¹.

Los principales factores que condicionan la formación de acrilamida en los alimentos son^{5,13}:

- Temperatura en el procesado: según diversos estudios, cuando se someten los alimentos a temperaturas superiores a 120 °C los niveles de este compuesto aumentan, viéndose un incremento significativo a partir de los 175 °C (Anexo 2, Figura 4).
- Temperatura de almacenado: el almidón contenido en las patatas se transforma en azúcares reductores por debajo de los 8 °C
- Tiempo de horneado o fritura: cuanto menor sea la duración del proceso de cocinado menos acrilamida se formará. Este factor se encuentra estrechamente relacionado con la temperatura de procesado (Anexo 2, Figura 4)²⁴.
- pH: su disminución reduce la concentración de acrilamida formada.
- Composición: la formación de esta sustancia dependerá de los niveles de asparagina y azúcares reductores que presenten los alimentos.
- Concentración de agua: los alimentos con un elevado contenido en agua presentan menor concentración de acrilamida. El empleo del microondas previamente a la cocción disminuye la humedad incrementando la formación de esta sustancia.
- Maduración: en el caso de los cultivos de patatas, cuanto menor es el tiempo de desarrollo, mayores son los niveles de azúcares reductores presentes en la patata.
- Empleo de agentes espesantes: la utilización de bicarbonato amónico desencadena un aumento en la formación de este compuesto.
- Técnica culinaria utilizada: la acrilamida se forma al freír u hornear los alimentos, no con el hervido.

Presencia de acrilamida en los alimentos.

La presencia de acrilamida en los alimentos fue demostrada en el año 2002 por la Autoridad Sanitaria Sueca de los Alimentos junto con un grupo de investigadores de la Universidad de Estocolmo. Debido a este hallazgo, y a las posteriores investigaciones realizadas, se sabe que la formación de este monómero tiene lugar cuando los alimentos son sometidos a altas temperaturas durante el freído y el horneado.

Este tóxico alimentario aparece en todos los alimentos procesados, lo que confirma su elevada exposición en la dieta occidental. Las investigaciones realizadas han verificado que los alimentos ricos en hidratos de carbono y sus derivados son los más sensibles a la formación de acrilamida, lo cual incrementa el riesgo de exposición a este compuesto debido a que el 50% de las calorías de nuestra alimentación se obtienen a través la ingesta de carbohidratos.

La FAO/OMS ha estimado, en función de los datos obtenidos en diferentes estudios, un consumo medio de acrilamida en la dieta de 0,3-0,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso/día en el consumidor medio; para aquellos en el percentil 95, de 3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso/día y en consumidores con dieta monótona, de 4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso/día. Además, por sus hábitos alimentarios, advierte de la elevada exposición en la población infantil, que presenta un consumo 2-3 veces superior al de adultos¹⁴.

A lo anterior, se suma el aporte de acrilamida a través del agua ingerida, que se sitúa aproximadamente en 0,25 $\mu\text{g}/\text{día}$ ¹⁴.

El Comité mixto de la FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios ha llevado a cabo un estudio en profundidad sobre la presencia de acrilamida en los alimentos en 24 países, mayoritariamente de Europa y América del Norte. Basándose en los datos obtenidos, ha publicado un listado con los alimentos que presentan una mayor concentración de este monómero. Dentro de este grupo, los más representativos son: patatas fritas, café, cereales, galletas, pasteles, pan y bollería.

Asimismo, se han elaborado tablas que muestran las concentraciones de acrilamida en diversos alimentos de forma más general (Anexo 3, Tabla 1)¹³. No obstante, la información aportada en las distintas publicaciones debe ser tratada con precaución a la hora de extrapolar los resultados obtenidos, puesto que las concentraciones de este monómero varían en un mismo alimento cuando es producido en diferentes lugares e incluso entre productos de la misma marca.

Métodos para disminuir la formación de acrilamida:

Se han propuesto y se han empleado numerosas estrategias de mitigación para poder disminuir las concentraciones de acrilamida en los alimentos. Entre estas medidas se incluyen: la selección de aquellas variedades de patata y cereales que presentan unos niveles más bajos de precursores de acrilamida; la sustitución de azúcares reductores por sacarosa, o del bicarbonato de amonio por el bicarbonato de sodio; añadir glicina; agregar acidulantes, iones de calcio, ciclodextrina, ... En cuanto a los métodos utilizados en el cocinado, se ha probado disminuyendo el tiempo o la temperatura de freído u horneado, cambiando el tipo de horno, prolongando la fermentación, etc¹⁷.

Las medidas mencionadas anteriormente se han probado únicamente en experimentos piloto de laboratorio a pequeña escala. Se desconoce el porcentaje de reducción de acrilamida en la comida cuando se extrapolan estas medidas a nivel industrial, así como las interacciones que se pueden dar entre las mismas.

Antes de implantar normativas para reducir los niveles de acrilamida en los alimentos, es importante valorar los riesgos y beneficios que pueden tener las medidas que se pretenden

tomar, impidiendo que se vea comprometida la inocuidad química (se debe garantizar que durante el proceso no tenga lugar un incremento de otros contaminantes químicos como las N-nitrosaminas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, ...) y microbiológica de los alimentos. Se sabe que una fermentación más prolongada de los alimentos disminuye los niveles de acrilamida pero incrementa las concentraciones de 3-monocloropropanodiol (contaminante). Reemplazar el bicarbonato de amonio por el bicarbonato de sodio incrementaría los niveles de sodio consumido. Además existe la posibilidad de aparición de cambios organolépticos en los alimentos que afectarían al producto final y que el consumidor podría no aceptar¹⁷.

La herramienta que ha resultado más eficaz para controlar el contenido en acrilamida en alimentos tratados a elevadas temperaturas es el empleo de la enzima asparaginasa. Esta enzima es capaz de catalizar la hidrólisis de asparagina en ácido aspártico y amoniaco. No obstante, a pesar de no presentar ningún problema para la salud humana el elevado coste de la enzima supone un impedimento para poder aplicarlo a gran escala¹⁷.

Dentro de los métodos más factibles y con menos riesgo para la salud que han sido aprobados en la actualidad para disminuir la formación de este tóxico alimentario encontramos los siguientes^{14,25,26}:

A. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS:

- Seleccionar aquellas variedades de cultivo de cereales y otros vegetales que presenten niveles más bajos de asparagina y azúcares reductores.
- Seleccionar campos de cultivo que no sean deficientes en sulfuro, o bien, sean fertilizados evitando la excesiva utilización de fertilizantes de nitrógeno ya que, de lo contrario se desencadenaría un incremento de los niveles de asparagina
- Evitar que la temperatura de almacenado descienda de los 6 °C durante periodos de tiempo prolongados, ya que, a bajas temperaturas, la amilasa residual aumenta la formación de azúcar reductor. No es recomendable, que las patatas que han experimentado endulzamiento por estar expuestas a una temperatura inferior se empleen para freírse, asarse u hornearse.
- Seleccionar aquellos tubérculos que presenten una mayor maduración, ya que los que no están maduros tienen niveles más altos de azúcares reductores.

B. CONTROL O ADICIÓN DE REACTIVOS:

- La adición de la enzima asparaginasa reduce el aminoácido asparagina, disminuyendo por tanto la formación de acrilamida.
- El empleo de antioxidantes en las galletas, pollo o patatas fritas reduce los niveles de acrilamida. Igualmente, con las recientes investigaciones, se ha podido comprobar una menor proporción de este tóxico realizando un tratamiento con calcio antes de freír los alimentos
- Tratar de evitar el empleo de azúcares reductores como agente de coloración marrón, soporte de especias o recubrimiento.
- En la elaboración de cereales, es recomendable añadir azúcares reductores después del proceso de horneado, no antes.



- En la elaboración de galletas, se produce un aumento de los niveles de acrilamida al incorporar ingredientes tales como la miel, el jengibre y el cardamomo; por el contrario, en algunos casos se ha visto un descenso de la concentración de este contaminante con el empleo de nuez moscada.
- Se puede emplear ácido cítrico para disminuir el pH e inducir, así, la hidrólisis de acrilamida en ácido aspártico y amoniaco.

C. ELABORACIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ALIMENTOS:

- No cocinar los alimentos en exceso pero sí hacerlo durante el tiempo pertinente para destruir los microorganismos patógenos (según las recomendaciones de la OMS). Se ha estudiado que el uso de presiones al vacío y de menores temperaturas reduce la formación de acrilamida en un 94%.
- Es conveniente blanquear o remojar los alimentos para reducir los niveles de azúcares reductores antes de su freído o asado.
- El empleo del microondas, en lugar del procesamiento normal, para hacer palomitas de maíz disminuye la formación de este compuesto. También, la precocción en el microondas de las tiras de patata reduce la formación de acrilamida en un 60%.
- La temperatura del aceite de freír no debe ser superior a los 175 °C.
- Almacenar el café en envases cerrados durante periodos de tiempo prolongados disminuye las concentraciones de acrilamida.
- No tostar en exceso el pan y retirar al máximo las partes que se queden más ennegrecidas. En el caso de las patatas fritas, se deben freír hasta que adquieran una tonalidad amarillo-dorado sin que lleguen a oscurecerse
- Limitar el consumo de alimentos fritos (las patatas fritas son uno de los alimentos que más acrilamida contienen).
- No abusar de galletas y cereales que en su composición indiquen que son ricos en fibra porque presentan mayores niveles de acrilamida. Sería más conveniente adquirir este contenido en fibra consumiendo frutas y verduras.

Los investigadores, tras los resultados obtenidos con los estudios realizados, abogan por la necesidad de que las autoridades nacionales e internacionales den instrucciones a los consumidores para almacenar, cocinar y manipular los productos para poder mitigar la formación de acrilamida.

Asimismo, apuestan por la investigación sobre supresión de genes que codifiquen la biosíntesis de asparagina y enzimas que catalicen la hidrólisis de asparagina, ácido aspártico y amoniaco.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El descubrimiento de la presencia de acrilamida en los alimentos ha despertado el interés de las autoridades de seguridad alimentaria de muchos países del mundo. Además de las recomendaciones generales para reducir la concentración de este tóxico alimentario descritas por la FAO/OMS, Estados Unidos y los países europeos han elaborado unas propias.

En ambos casos se dispone de un documento en el que se recogen de forma muy detallada las diferentes medidas que se pueden tomar para reducir la ingesta de este compuesto, basándose en las evidencias demostradas por diversos estudios científicos.

La FDA, “*Food and Drug Administration*”, es la agencia del gobierno de los Estados Unidos encargada de la regulación de alimentos, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos, tabaco, vacunas, ...; siendo consciente de que la acrilamida se encuentra en el 40% de las calorías que aporta la dieta de un estadounidense promedio (según los datos publicados por la Asociación Nacional de Productores de alimentos, *Grocery Manufacturers Association*), esta entidad publicó en marzo de 2016 un documento en el que expone una serie de estrategias prácticas para que los productores y fabricantes de la industria alimentaria reduzcan la cantidad de acrilamida presente en los alimentos. De forma sintetizada, incorpora las siguientes recomendaciones^{27,28}:

Patatas:

- Seleccionar aquellas variedades de patata con niveles más bajos de precursores.
- Procurar una adecuada maduración de la patata.
- Evitar que estén expuestas a baja temperatura durante el transporte o almacenamiento.
- Intentar no emplear patatas en malas condiciones.
- Recortar cuidadosamente las zonas dañadas de aquellas que presenten algún defecto y se vayan a utilizar.
- Usar bicarbonato de sodio en lugar de bicarbonato de amonio y utilizar métodos de coloración alternativos.
- Retirar mayor cantidad de piel al pelar la patata.
- Rehogar la patata antes de freírla.
- No superar los 175 °C al cocinarlas.
- Clasificar las patatas por colores.
- Sustituir los copos de patata por otros ingredientes como el maíz o el arroz.
- Añadir sales de calcio, asparaginasa, acidulantes...

Cereales:

- Usar variedades de trigo con niveles más bajos en asparagina empleando surfactantes sin excesivo nitrógeno.
- Emplear azúcares reductores con bajo contenido en fructosa, el azúcar deberá ser añadido después del proceso de cocinado.
- Utilizar suplementos de calcio.
- Incrementar la humedad.
- Hornear el pan hasta que adquiera un color dorado sin llegar al marrón oscuro.

Café:

- Asar al vapor o al vacío

- Emplear asparaginasa.

Asimismo, la FDA plantea una serie de medidas para que los consumidores puedan reducir el consumo de esta sustancia, ya que eliminarlo de la dieta sería imposible debido a su presencia en una gran variedad de alimentos, según describe la química Lauren Robin de la propia FDA. Entre estas estrategias se incluyen^{29,30}:

- Mantener las patatas fuera del frigorífico en un lugar oscuro y fresco.
- Aquellas sometidas a congelación tienen que ser cocinadas según el tiempo y temperatura marcados por el fabricante, evitando hacerlas extracrujientes o quemarlas.
- Se recomienda que los productos de patata rebanados sean cocinados hasta que adquieran una tonalidad amarilla sin llegar a un tomo marrón oscuro.
- El pan se debe tostar hasta adquirir un color dorado y evitar comer aquellas partes que queden más oscuras.

Por otro lado, a nivel de la Unión Europea, se ha elaborado una “Caja de herramientas de la acrilamida” que ha sido aprobada por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). En este documento se detallan las medidas que pueden ser empleadas, por fabricantes y consumidores, para poder reducir los niveles de este tóxico alimentario en distintos productos permitiéndoles evaluar y hacer una selección de los procedimientos que deben utilizar en función de las metodologías de fabricación y formulación de los productos, la calidad de los mismos y la legislación nacional vigente²⁹.

Estas medidas de reducción fueron elaboradas según el acrónimo ALARA “As Low As Reasonably Achievable”. Se basa en que el operador de la industria tome las medidas apropiadas para disminuir al máximo posible la presencia de un contaminante³⁰.

En esta “Caja de Herramientas”, se advierte de la necesidad de utilizar suelos de cultivo que no sean deficientes en azufre, puesto que cuanto menor es la concentración de azufre, mayores son los niveles de asparagina, lo cual supone un mayor riesgo de formación de acrilamida. Asimismo señala que un déficit de azufre afectaría a las propiedades organolépticas de los alimentos³¹.

Se recomienda la sustitución de gasificantes, como el bicarbonato amonio por carbonato potásico con tartrato potásico o difosfato disódico con carbonato ácido de sodio. Se resalta la necesidad de evitar la utilización de sales de sodio como alternativa cuando el producto finalizado presente una cantidad elevada de sodio. Se recomienda reemplazar la fructosa por glucosa y disminuir la utilización de harina integral, ya que en los productos integrales la concentración de acrilamida es mayor³¹.

Se deberá hornear los alimentos a menos temperatura durante más tiempo, consiguiendo un producto con la misma humedad. No obstante, tendrá que estar lo suficientemente cocinado para evitar peligros microbiológicos durante el almacenado. Además se procurará que el producto tenga un color menos oscuro³¹.

Se propone añadir ácido cítrico, ascórbico o glicina para disminuir el pH, el empleo de la enzima asparaginasa para reducir los niveles del aminoácido asparagina, llevar a cabo un enfriamiento rápido del producto y el blanqueamiento antes de freír³¹.

Por último se propone el uso de cationes di o trivalentes, como las sales de calcio. No obstante, pone en evidencia, que su utilización podría afectar a la textura de los alimentos y a esto se le suma el hecho de que no puede combinarse con el difosfato disódico³¹.

Además de todo lo mencionado anteriormente, en este documento, se exponen unas medidas más específicas, bajo el subtítulo de “guía para los consumidores”, que estos podrán poner en práctica si así lo desean³¹:

- No cocinar por encima de los 175 °C..
- No recocinar los productos alimenticios.
- Los alimentos deben adquirir un color dorado sin llegar al marrón, es conveniente cocinar pocas cantidades para reducir el tiempo de cocción y de este modo la formación de acrilamida.
- Es preferible conservar los alimentos por encima de los 4 °C (temperatura de refrigeración).
- La composición de los cereales interfiere en la formación de este compuesto, utilizando granos de maíz o arroz, la formación de acrilamida es menor que con los de trigo.
- Añadir otros ingredientes puede contribuir a una mayor formación de acrilamida, los cacahuets y avellanas contienen 1/5% menos que las almendras, añadir fruta deshidratada como ciruelas pasas, pera, etc., incrementaría los niveles de este tóxico. Sin embargo, modificar esto podría afectar a las propiedades organolépticas del producto final y podría no ser aceptado por el consumidor.
- Los productos alimentarios elaborados para niños presentan mayor cantidad de acrilamida debido a la adicción, en su producción, de azúcares reductores contenidos en fruta, miel, ... Sin embargo, los estudios advierten de un posible riesgo microbiológico al realizar cambios en la elaboración o el procesado térmico de los alimentos infantiles.

Ambos documentos propuestos por la FDA y la EFSA, presentan una amplia extensión de recomendaciones, el contenido es muy similar y en ambos casos bastante desarrollado. No obstante, las medidas que se pueden emplear en la elaboración del café para reducir los niveles de acrilamida se encuentran mejor definidas en la guía de la FDA, así como las recomendaciones sobre el suelo de cultivo, la utilización de asparaginasa y el empleo de surfactantes sin excesivo nitrógeno. Por el contrario, la EFSA tiene más en cuenta la relación existente entre los riesgos y beneficios de cada medida que propone, aportando los datos obtenidos en estudios realizados a gran y pequeña escala de forma más rigurosa y compleja. Otro hecho a destacar radica en la estructuración y clasificación de las estrategias de mitigación, la FDA establece un orden en función del producto alimentario mientras que la

EFSA las agrupa a su vez en función del factor que interfiere en la formación de acrilamida al que afectan (agronomía, procedimientos, pH...).

Por último, otra diferencia notable es la presentación de los conocimientos descritos a los consumidores. Mientras la guía elaborada por la FDA es muy teórica y no dispone de un medio gráfico que atraiga la atención de los ciudadanos, la EFSA ha confeccionado una iconografía (Anexo 4) en la que muestra los efectos nocivos de la acrilamida para la salud.

En esta iconografía, la EFSA presenta la acrilamida como un carcinógeno en animales y potencialmente en humanos de todas las edades. Expone la importancia de escoger material adecuado y emplear aquellas prácticas culinarias que permitan disminuir la formación de este compuesto. Partiendo del lema *“Don't burn it, lightly brown it”* (no lo quemes, dóralo), recomienda cocinar distintos alimentos hasta alcanzar solamente un color amarillo sin llegar al color marrón tostado. Además resalta la importancia de conservar las patatas en un lugar frío y oscuro pero nunca en el frigorífico.

Por otro lado, la AECOSAN ha diseñado su propia iconografía (Anexo 5), mucho más visual, con más color, más completa y adaptada a todos los públicos³¹. A través de este recurso expone a la población, de un modo general, los alimentos y procesos (horneado, fritura, cocción y tostado) en los que se forma la acrilamida en mayor proporción, así como una serie de recomendaciones para reducir la formación de este cancerígeno. Entre estas medidas se incluyen: freír hasta 175 °C como máximo, evitar tostar o quemar los alimentos, almacenar las patatas en un lugar fresco y oscuro pero nunca en la nevera y cocinar los alimentos hasta alcanzar un color dorado sin llegar al marrón. Esta última medida es la más destacada y la que resulta más visual para el consumidor, utiliza como apoyo imágenes del mismo alimento, con distinto tiempo de cocinado³³.

8. CONCLUSIONES

El descubrimiento de la presencia de la acrilamida en los alimentos ha despertado el interés de las autoridades de la industria alimentaria, tanto a nivel internacional como nacional.

Las investigaciones realizadas han puesto en evidencia el potencial de este tóxico alimentario para generar neurotoxicidad, genotoxicidad y carcinogenicidad. A pesar de no haber suficientes referencias en la actualidad para corroborar con certeza que se trata de una sustancia carcinogénica en humanos, los numerosos estudios realizados, avalan la potencial verdad de este hecho.

Si bien es cierto que retirar esta sustancia de la dieta no sería viable debido a la gran cantidad de alimentos que la contienen, principalmente aquellos ricos en hidratos de carbono necesarios para el aporte de energía en la dieta, si se podrían reducir en gran medida los niveles de ingesta de la misma llevando a cabo las recomendaciones elaboradas por la FAO/OMS.

Entre las medidas de mitigación propuestas, las que han demostrado una mayor eficacia e inocuidad son: emplear como técnica culinaria, siempre que sea posible, la cocción evitando abusar de la fritura y el horneado, procurar no cocinar los alimentos por encima de los 175 °C, seleccionar aquellas variedades de patatas y cereales con niveles más bajos en azúcares reductores, conservar las patatas en un ambiente oscuro y fresco, no tostar los alimentos en exceso y desechar los alimentos quemados.

Para conseguir la reducción del consumo de acrilamida de la población se deberá, asimismo, informar primeramente a los consumidores sobre este compuesto y los efectos nocivos del mismo ya que es un tema muy novedoso y poco conocido. Posteriormente, será conveniente aportar a los ciudadanos una instrucción adecuada sobre las medidas que pueden llevar a cabo en el hogar para reducir su consumo.

Además de todo lo mencionado anteriormente, será necesario continuar potenciando la investigación sobre supresión de genes que codifiquen la biosíntesis de asparagina y enzimas que catalicen la hidrólisis de asparagina, ácido aspártico y amoníaco.

Asimismo, se deberán seguir revisando las recomendaciones propuestas y valorar la relación existente entre los posibles riesgos que se descubran y los beneficios obtenidos.

Por último, será de vital importancia continuar con los programas de salud en la población sobre una alimentación saludable, recomendar la sustitución del consumo de alimentos enriquecidos en fibra (ya que presentan mayor contenido en acrilamida) por la ingesta de frutas y verduras y conseguir la adopción de una dieta variada y equilibrada.

9. BIBLIOGRAFÍA

- ¹ Botanical [sede web]. 1999 [actualizada en 2016; acceso el 10 de diciembre de 2016]. Acrilamida en las patas fritas. Acrilamida en los alimentos. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/acrilamida.htm>
- ² Mariné A, Vidal MA. Seguridad y riesgo de toxicidad de los alimentos: un debate actual. Arbor [revista en Internet]. 2001 [acceso el 16 de febrero de 2017]; 418 (661): 43-63. Disponible en: <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/viewFile/822/829>
- ³ Valle P, Lucas B. Toxicología de alimentos. México: Instituto Nacional de Salud Pública. Centro Nacional de Salud Ambiental; 2000. ISBN: 92 75 37004 4. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/toxicolo/toxico/toxico.pdf>
- ⁴ UAM [sede Web]. Madrid: UAM; 2008 [acceso el 2 de febrero de 2017]. Toxicología ambiental y salud pública. Subprograma de toxicología ambiental [aproximadamente 4 pantallas]. Disponible en: https://www.uam.es/departamentos/medicina/farmacologia/especifica/ToxiAmb/ToxiAmb_L_1.pdf
- ⁵ Elika [sede Web]. Álava: Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria; 2005 [acceso el 3 de febrero de 2017]. Acrilamida [aproximadamente 12 pantallas]. Disponible en: <http://www.elika.net/datos/riesgos/Archivo5/Acrilamida%202005.pdf>
- ⁶ Comisión Europea [sede web]. Bruselas: Comisión Europea; 2013 [acceso el 18 de febrero de 2017]. Recomendaciones. Recomendación de la comisión de 8 de noviembre de 2013 relativa a la investigación de los niveles de acrilamida en los alimentos [aproximadamente 3 pantallas]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:301:0015:0017:ES:PDF>
- ⁷ Agencia española de consumo, seguridad alimentaria y nutrición [sede Web]. Madrid: AECOSAN; 2015 [acceso el 10 de diciembre de 2016]. Acrilamida. Disponible en: http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/Acrilamida_ficha_JUL15.pdf
- ⁸ Comisión Europea [sede web]. Bruselas: Comisión Europea; 2013 [acceso el 18 de febrero de 2017]. Recomendaciones. Recomendación de la comisión de 2 de junio de 2010 relativa al control de los niveles de acrilamida en los alimentos [aproximadamente 7 pantallas]. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:137:0004:0010:ES:PDF>
- ⁹ European commission [sede web]. Bruselas: Comisión Europea; 2013 [acceso el 18 de febrero de 2017]. Commission recommendation [aproximadamente 7 pantallas]. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_acrylamide_recommendation_10012011_food_en.pdf

- ¹⁰ OMS [sede web]. Suiza: Organización Mundial de la Salud; 2017 [actualizada en febrero de 2017; acceso el 25 de marzo de 2017]. Cáncer. Datos y cifras. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/es/>
- ¹¹ GreenFacts [sede web]. 2001 [actualizada en 2017; acceso el 12 de abril de 2017]. Standard IARC classification. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/glossary/ghi/iarc-classification.htm>
- ¹² Rice JM. The carcinogenicity of acrylamide. Mutat. Res. [revista en Internet]. 2005 [acceso el 10 de diciembre de 2016]; 580(1-2): 3-20. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15668103>
- ¹³ Valenzuela R, Ronco AM. Acrilamida en los alimentos. Rev. chil. nutr. [revista en Internet]. 2007 [acceso el 10 de diciembre de 2016]; 34(1): 8-16. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0717-75182007000100001&script=sci_arttext
- ¹⁴ Consejo superior de investigaciones científicas. DIGITAL.CSIC. [repositorio en Internet]. Madrid: Novais JA; 2008 [acceso el 15 de diciembre de 2016]. Morales F, Arribas G, Jiménez S, Jiménez P, Alarcón E, Borge J, et al. Actuaciones sobre la presencia de acrilamida en alimentos comercializados en España. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/49549/1/NOISI-14-2008-ALIMENTARIA-Acrilamida-IMSP-IF.pdf>
- ¹⁵ GreenFacts [sede web]. 2001 [actualizada en 2017; acceso el 19 de abril de 2017]. Adduct. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/glossary/abc/adduct.htm>
- ¹⁶ FAO/OMS. Consultas sobre la inocuidad de los alimentos. Consecuencias para la Salud de Acrilamida en los alimentos. Suiza: OMS; 2002. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=qtjEaKiNTOUC&pg=PA17&lpg=PA17&dq=como+medir+la+exposicion+a+la+acrilamida+en+humanos&source=bl&ots=Pclam4p7CL&sig=eTsJ9zcStu0O27okmBLWAj2DkBg&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi6htS52MnTAhWGWRQKHWi4BAcQ6AEINTAD#v=onepage&q=como%20medir%20la%20exposicion%20a%20la%20acrilamida%20en%20humanos&f=false>
- ¹⁷ Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Törnqvist M. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. J. Agric. Food. Chem. [revista en Internet]. 2002 [acceso el 15 de diciembre de 2016]; 50(17): 1998-5006. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12166997>
- ¹⁸ Capuano E, Fogliano V. Acrylamide and 5-hidroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. ELSEVIER [revista en Internet]. 2010 [acceso el 27 de enero de 2017]; 44(2011): 793-810. Disponible en: <http://files.instrument.com.cn/FilesCenter/20161023/%E4%B8%99%E7%83%AF%E9%85%B0%E8%83%BA%E5%92%8C5-%E7%BE%9F%E7%94%B2%E5%9F%BA%E7%B3%A0%E9%86%9B%EF%BC%88HMF%EF%BC%89>

[%E5%85%B3%E4%BA%8E%E4%BB%A3%E8%B0%A2%E6%AF%92%E6%80%A7%E5%9C%A8%E9%A3%9F%E5%93%81%E4%B8%AD%E7%9A%84%E5%8F%91%E7%94%9F%E5%92%8C%E7%BC%93%E8%A7%A3%E7%AD%96%E7%95%A5%E7%9A%84%E7%BB%BC%E8%BF%B0.pdf](#)

¹⁹ GENAGEN [sede web]. Valencia; 2010 [actualizado en 2014; acceso el 19 de febrero de 2017]. Esteban C. Herencia autosómica dominante. Disponible en: <http://www.genagen.es/area-pacientes/informacion-genetica-y-enfermedades-hereditarias/conceptos-genetica/tipos-de-herencia-genetica/herencia-autosomica-dominante/>

²⁰ LoPachin RM. The Changing View of Acrylamide Neurotoxicity. Neurotoxicology [revista en Internet]. 2004 [acceso el 27 de enero de 2017]; 25 (4): 617-30. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15183015>

²¹ Guibert J. Acrilamida. Rev. Digitales [revista en Internet]. 2011 [acceso el 2 de febrero de 2017]; 12(2): 1-7. Disponible en: http://www.ub.edu.ar/revistas_digitales/Ciencias/Vol12Numero2/Articulo_acrilamida.pdf

²² Procesado térmico y calidad del alimento: análisis y control. En: Philip Richardson. Tecnologías térmicas para el procesamiento de los alimentos. Zaragoza: ACRIBIA; 2001. p. 149-170.

²³ DidacForner [sede web]. DidacForner; 2010 [acceso el 15 de febrero de 2017]. Reacciones de Maillard, cuando la comida se convierte en poco saludable. Disponible en: <http://didacforner.net/reacciones-de-maillard/>

²⁴ Morning Advertiser [sede web]. Crawley: Ed Bedington; 2015 [acceso el 8 de mayo de 2017]. Robinson N. Government issues advice to limit “cancer-causing” toxin in food. Disponible en: <http://www.morningadvertiser.co.uk/Pub-Food/News/Avoid-acrylamide-in-food>

²⁵ Enríquez BE, Sosa ME. Acrilamida en alimentos: sus causas y consecuencias. Rev. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos [revista en Internet]. 2010 [acceso el 2 de febrero de 2017]; 4(2): 1-13. Disponible en: [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-2/TSIA-4\(2\)-Enriquez-Fernandez-et-al-2010.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No4-Vol-2/TSIA-4(2)-Enriquez-Fernandez-et-al-2010.pdf)

²⁶ FAO/OMS. Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos. CAC/RCP 67-2009. En: OMS. Codex Alimentarius. Prevención y Reducción de la Contaminación de los Alimentos y Piensos. Roma; 2012. p. 127-40. Disponible en: ftp://ftp.fao.org/codex/Publications/Booklets/Contaminants/CCCF_2012_ES.pdf

²⁷ U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION [sede web]. Maryland: FDA; 1996 [actualizado el 14 de marzo de 2016; acceso el 28 de abril de 2017]. Usted puede ayudar a reducir la acrilamida en su dieta. Disponible en: <https://www.fda.gov/ForConsumers/ConsumerUpdates/ucm375010.htm#tips>

²⁸ U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION [sede Web]. Maryland: FDA; 1996 [actualizado el 14 de marzo de 2016; acceso el 28 de abril de 2017]. Guidance for Industry. Acrylamide in Foods

[aproximadamente 37 pantallas]. Disponible en:
<https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ChemicalContaminantsMetalsNaturalToxinsPesticides/UCM374534.pdf>

²⁹ Foos Drink Europe [sede Web]. Bruselas: FDA; 2011 [actualizada en 2017; acceso el 1 de mayo de 2017]. Acrylamide Toolbox. [aproximadamente 47 pantallas]. Disponible en:
http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/Toolboxfinal260911.pdf

³⁰ Foos Drink Europe [sede Web]. Bruselas: FDA; 2011 [actualizada en 2017; acceso el 1 de mayo de 2017]. Una “caja de herramientas” para reducir la acrilamida en productos de bollería, galletería, pastelería y repostería [aproximadamente 2 pantallas]. Disponible en:
http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/biscuits-ES-final.pdf

³¹ Agencia española de consumo, seguridad alimentaria y nutrición [sede Web]. Madrid: AECOSAN [acceso el 1 de mayo de 2017]. ¿Cómo reducir la exposición de acrilamida en casa? [aproximadamente 1 pantalla]. Disponible en:
http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/publicaciones/seguridad_alimentaria/RECOMENDACIONES_ACRILAMIDA_2.pdf

10. ANEXOS

ANEXO 1

CLASIFICACIÓN DE LOS TÓXICOS ALIMENTARIOS³

- Agentes tóxicos naturalmente presentes en los alimentos
 - Leguminosas: glucósidos cianogénicos, inhibidores de tripsina, fitohemaglutininas, saponinas...
 - Cereales: micotoxinas, ácido fítico, inhibidores de amilasas
 - Bebidas estimulantes: cafeína, teofilina, teobromina.
 - Péptidos y proteínas tóxicas: anatoxina, falotoxina, toxina botulínica, toxina de *Staphylococcus*, toxinas de *Clostridium*...
 - Aminoácidos tóxicos.
 - Toxinas en mariscos y peces.
 - Tóxicos presentes en la miel de abejas.
 - Otros: gosispol, capsaicina, solanina, cicasina...
- Intencionales (aditivos):
 - Conservantes.
 - Colorantes.
 - Potenciadores del sabor (glutamato monosódico).
 - Antioxidantes.
 - Saborizantes y aromatizantes.
 - Edulcorantes.
 - Nitratos y nitritos.
 - Cloruro de sodio.
 - Sulfitos.
 - Ácidos orgánicos.
 - Gomas.
 - Antiaglomerantes.
 - Emulsificantes.
- Accidentales
 - Contaminantes biológicos
 - Plaguicidas.
 - Metales tóxicos.
 - Compuestos de radiólisis.
- Agentes tóxicos generados durante el procesamiento de los alimentos.
 - Uretano.
 - Hidrazinas.
 - Isotiocianato de alilo.
 - Alcaloides de la pirrolizidina.
 - Alquenil-bencenos.

- Taninos.
- Psoralenos.
- Carbamato de etilo.
- Etanol.
- Diacetilo.
- Flavonoides.
- Compuestos producidos al someter alimentos a altas temperaturas.
 - Reacción de Maillard.
 - Degradación de aminoácidos y proteínas.
 - Termodegradación de lípidos.
- Racemización de aminoácidos y formación de isopéptidos.
- Nitrosaminas.
- Fumigantes y disolventes.

ANEXO 2

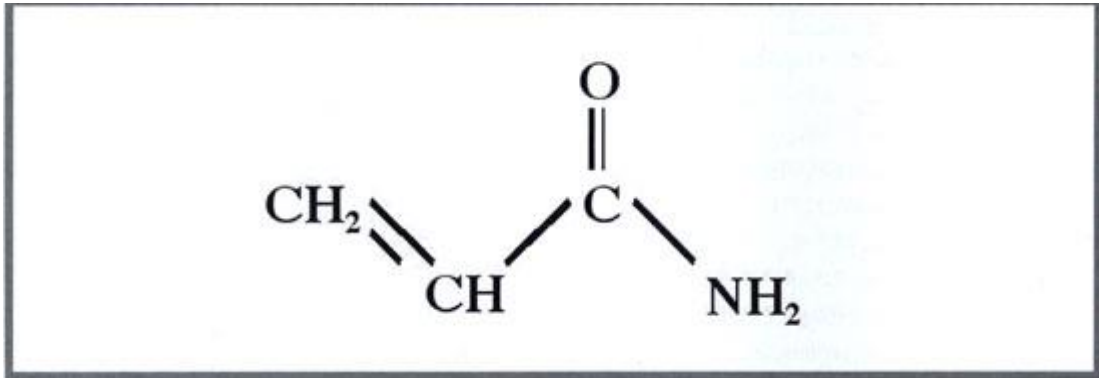


FIGURA 1. Estructura química de la acrilamida.¹³

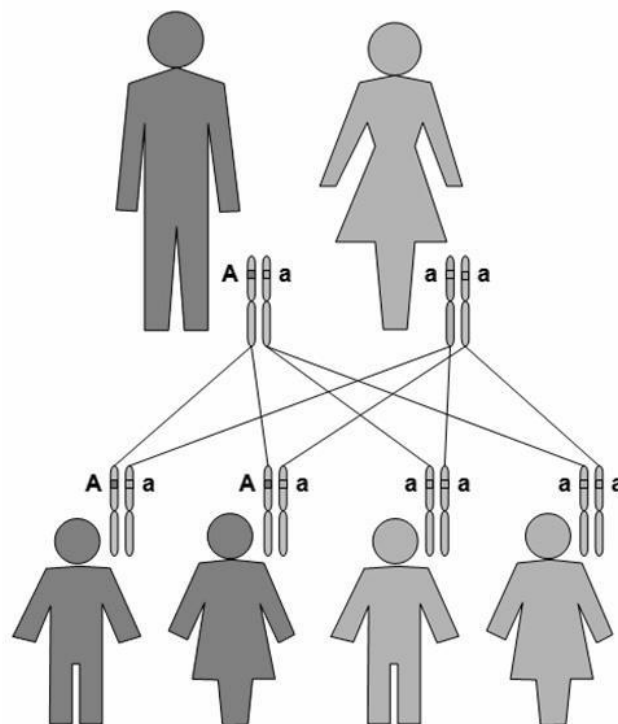


FIGURA 2. Mutación de carácter dominante¹⁹.

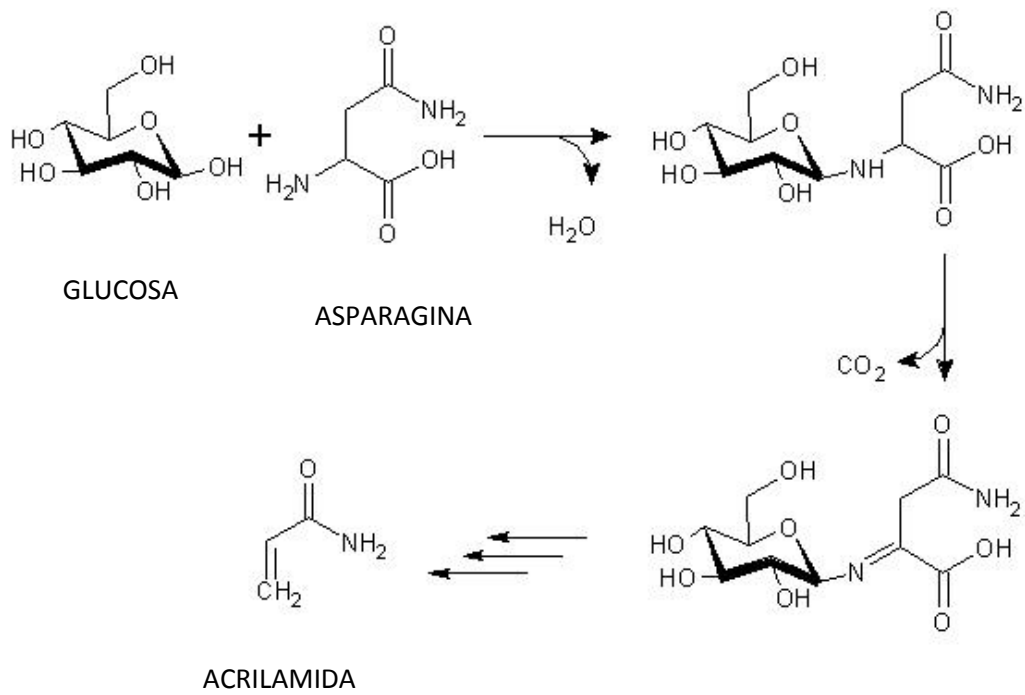


FIGURA 3. Reacción de Maillard²³.

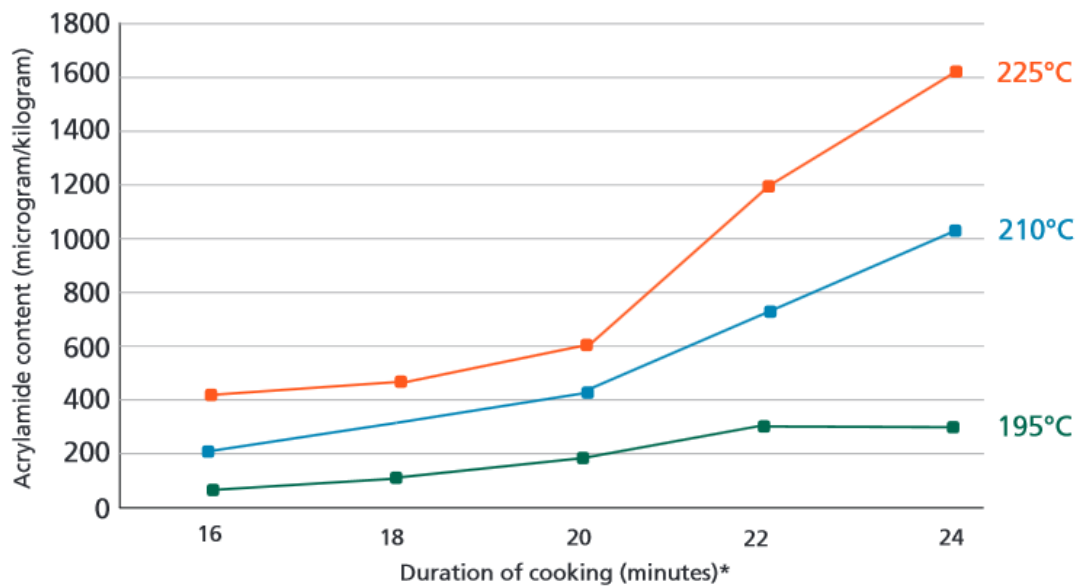


FIGURA 4. Influencia de la temperatura y del tiempo de cocinado en el contenido de acrilamida en las patatas fritas²⁴.

ANEXO 3

TABLA 1. Concentraciones de acrilamida en distintos alimentos¹³.

| Alimento/Producto Grupo | Niveles de Acrilamida (µg/kg) | | | Nº de muestras analizadas |
|---|-------------------------------|---------|---------------|---------------------------|
| | Promedio | Mediana | Mínimo-Máximo | |
| Crisps, papas/camote | 1312 | 1343 | 170 - 2287 | 38 |
| Chips, papas | 537 | 330 | <50 - 3500 | 39 |
| Productos a base de mantequilla | 36 | 36 | <30 - 42 | 2 |
| Productos de repostería | 112 | <50 | <50 - 450 | 19 |
| Galletas, tostadas, crisps | 423 | 142 | <30 - 3200 | 58 |
| Cereales | 298 | 150 | <30 - 1346 | 29 |
| Crisps, maíz | 218 | 167 | 34 - 416 | 7 |
| Pan | 50 | 30 | <30 - 162 | 41 |
| Productos desmenuzados batidos a base de pescados y productos del mar | 35 | 35 | 30 - 39 | 4 |
| Productos desmenuzados batidos a base de pollo | 52 | 52 | 39 - 64 | 2 |
| Bebidas instantáneas de malta | 50 | 50 | <50 - 70 | 3 |
| Chocolate en polvo | 75 | 75 | <50 - 100 | 2 |
| Café en polvo | 200 | 200 | 170 - 230 | 3 |
| Cerveza | <30 | <30 | <30 | 1 |

ANEXO 4

ICONOGRAFÍA DE LA EFSA³⁰

POTENTIAL HEALTH EFFECTS

Laboratory tests show that acrylamide in the diet causes **cancer** in animals. Scientists conclude that acrylamide in food potentially increases the cancer risk for consumers of all ages.

However, it is virtually impossible to eliminate acrylamide from cooked starchy foods. We can only try to **reduce** the amounts in food through more careful and varied cooking.

HOW TO CUT DOWN ON ACRYLAMIDE (TIPS)

National authorities in the EU offer advice to consumers tailored to national eating habits and culinary traditions. Also, a careful selection of raw materials and cooking practices can help limit acrylamide formation. A rule of thumb is: **“Don’t burn it, lightly brown it”**. Further examples of tips from national authorities:



During **frying**, follow recommended frying times and temperatures to avoid overcooking, excessive crisping and burning.



Toast bread to a golden yellow rather than brown colour.



Cook potato products like French fries and croquettes golden yellow rather than brown.



Do not store potatoes in the refrigerator as this increases sugar levels (potentially increasing acrylamide production during cooking). Keep them in a dark, cool place.

Consumers like you can help too by following a **balanced diet** and varying how your food is cooked. For more detailed information you can contact your national food safety agency.

For more detailed information you can contact your national food safety agency.

ANEXO 5

ICONOGRAFÍA DE LA AECOSAN ³¹



¿CÓMO REDUCIR LA EXPOSICIÓN DE ACRILAMIDA EN CASA?



**DORADO
PERO NO PASADO**

PRODUCTOS EN LOS QUE SE FORMA:

- Alimentos fritos a base de patata
- Galletas
- Pan
- Alimentos empanados

PROCESOS EN LOS QUE SE FORMA:

- Horneado
- Fritura
- Cocción
- Tostado

RECOMENDACIONES DE PREPARACIÓN Y COCINADO:

- ✓ Freír a 175°C máximo.
- ✓ El color dorado es preferible al marrón oscuro.
- ✓ Evitar tostarlo o quemarlo.
- ✓ Almacenar las patatas en lugar fresco y oscuro, nunca en nevera.





