

Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) sobre los criterios de seguridad que limiten la exposición a acrilamida producida por la fritura de patatas

Sección de Seguridad Alimentaria y Nutrición

Montaña Cámara Hurtado, María Pilar Conchello Moreno, Álvaro Daschner, Ramón Estruch Riba, Rosa María Giner Pons, María Elena González Fandos, Susana Guix Arnau, Ángeles Jos Gallego, Jordi Mañes Vinuesa, Olga Martín Belloso, María Aránzazu Martínez Caballero, José Alfredo Martínez Hernández, Alfredo Palop Gómez, David Rodríguez Lázaro, Gaspar Ros Berrueto, Carmen Rubio Armendáriz, María José Ruiz Leal, Pau Talens Oliag, Jesús Ángel Santos Buelga, Josep Antoni Tur Marí

Secretario técnico

Vicente Calderón Pascual

Número de referencia: AECOSAN-2017-007

Documento aprobado por la Sección de Seguridad Alimentaria y Nutrición del Comité Científico en su sesión plenaria de 20 de septiembre de 2017

Grupo de trabajo

Montaña Cámara Hurtado (Coordinadora)
Pilar Conchello Moreno
María Elena González Fandos
Jordi Mañes Vinuesa
David Rodríguez Lázaro
Gaspar Ros Berrueto
Pau Talens Oliag

Resumen

La acrilamida es un compuesto orgánico de bajo peso molecular, muy hidrosoluble, que se forma al cocinar determinados alimentos ricos en almidón a temperaturas superiores a 120 °C y con baja humedad (frituras, asados); esto es debido principalmente a la reacción de Maillard, que se produce entre ciertos aminoácidos, tales como la asparaguina libre, y los azúcares reductores (glucosa, fructosa y otros) y que confiere a los alimentos un color dorado, influyendo además en su sabor.

La acrilamida está clasificada por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) como probable carcinógeno en humanos (Grupo 2A) debido a que la acrilamida es biotransformada en el metabolito glicidamida con actividad genotóxica con especial afinidad por el sistema nervioso.

Hasta la fecha los resultados sobre experimentación en humanos no son concluyentes en cuanto a su toxicidad. Puesto que cualquier nivel de exposición a una sustancia genotóxica podría dañar de forma potencial el ADN y conllevar la aparición de cáncer, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha concluido que no se puede establecer una ingesta diaria tolerable (TDI) de acrilamida en alimentos. En su lugar EFSA ha estimado el rango de la dosis en el que la acrilamida presenta más probabilidad de causar una pequeña pero apreciable incidencia de tumores (llamado efecto neoplásico) u otros efectos adversos potenciales (neurológicos, en el desarrollo pre y post-natal y en la reproducción masculina). El límite mínimo de este rango (límite mínimo de confianza para la dosis de referencia, $BMDL_{10}$) ha sido determinado por EFSA en un $BMDL_{10}$ de 0,17 mg/kg peso corporal/día. Para otros efectos, los cambios neurológicos más relevantes que se observaron fueron aquellos con un $BMDL_{10}$ de 0,43 mg/kg peso corporal/día.

Aunque no se ha demostrado epidemiológicamente que la acrilamida sea un carcinógeno humano, el margen de exposición supone una preocupación respecto a efectos neoplásicos basados en evidencias en animales.

Por otra parte, las patatas fritas son uno de los alimentos que más aporta a la exposición a acrilamida en la población general.

El Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) ha valorado cuáles son las características de las patatas en cuanto a la materia seca de la materia prima, la presencia de azúcares reductores y al índice de color tras la fritura, que influyen en la exposición a la acrilamida generada como consecuencia de la fritura y las posibles medidas a adoptar para prevenir y reducir la formación de acrilamida en las patatas fritas, en el ámbito doméstico, tales como la temperatura de almacenamiento o el lavado de las patatas previo a la fritura.

En este sentido, en relación a las características de las patatas que influyen en la exposición a la acrilamida generada como consecuencia de la fritura el Comité Científico ha concluido que:

Considerando que el contenido de agua de la patata fresca oscila entre el 75-80 %, el contenido de materia seca de la materia prima no debe ser superior al 25 %.

Si bien el contenido de azúcares reductores puede variar considerablemente con el tiempo dependiendo de las condiciones de almacenamiento, se deben seleccionar variedades de patatas con un contenido en azúcares reductores bajo, no superior al 0,3 % de azúcares reductores.

El almacenamiento de patatas destinadas a freír se debe realizar a temperaturas en torno a 8 °C.

Para freír se deben seleccionar tubérculos grandes, de tamaño superior a 50 mm.

En relación a las recomendaciones para minimizar la producción de acrilamida en el cocinado de patatas en el ámbito doméstico el Comité Científico ha concluido que:

En la compra de patatas utilizar sólo patatas en el periodo óptimo de maduración, sin brotes ni zonas verdes.

En la conservación de patatas en el hogar: no almacenar las patatas a una temperatura inferior a 8 °C (no guardar las patatas en la nevera) y evitar el almacenamiento prolongado.

Antes de la fritura: optar por el corte de la patata más grueso en forma de cubo o tiras en lugar de rodajas finas; es recomendable lavar las patatas ya cortadas con abundante agua del grifo y posteriormente secar completamente las patatas con papel absorbente.

En el cocinado: cocinar las patatas preferentemente mediante cocción o en el microondas en lugar de freírlas. Evitar temperaturas de fritura superiores a 175 °C en todo momento. Observar el color desarrollado en la superficie del producto. Las patatas deben freírse hasta obtener un color amarillo dorado en vez de marrón dorado y rechazar las patatas más oscuras.

Palabras clave

Patata, acrilamida, exposición, fritura.

Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Consumers Affairs, Food Safety and Nutrition (AECOSAN) on safety criteria that limit exposure to acrylamide produced by frying potatoes

Abstract

Acrylamide is an organic compound with a low molecular weight, highly soluble in water, which is formed on cooking certain starchy foods with a low humidity at temperatures above 120 °C and with low moisture (deep-frying, roasting); this is mainly due to the Maillard reaction, which occurs between certain amino acids, including free asparagine, and reducing sugars (glucose, fructose and others), and which browns food, and also affects its taste.

Acrylamide is classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC) as a probable human carcinogen (Group 2A), as acrylamide is biotransformed into the metabolite, glycidamide, with genotoxic activity with a special affinity for the nervous system.

To date, results from studies on humans have been inconclusive as regards its toxicity. Given that any level of exposure to a genotoxic substance might damage DNA and lead to the appearance of cancer, the European Food Safety Authority (EFSA) is not able to establish a tolerable daily intake (TDI) for acrylamide in food. Instead, the EFSA have estimated the dose range within which acrylamide is most likely to cause a small but measurable incidence of tumours (known as the neoplastic effect) or other potential adverse effects (neurological, pre- and postnatal development and male reproduction). The lower limit of this range (Benchmark Dose Lower Confidence Limit, BMDL₁₀) has been established by the EFSA at a BMDL₁₀ of 0.17 mg/kg body weight/day. For other effects, the most relevant neurological changes observed were those with a BMDL₁₀ of 0.43 mg/kg body weight/day.

Although the epidemiological associations have not demonstrated acrylamide to be a human carcinogen, the margins of exposure indicate a concern for neoplastic effects based on animal evidence.

Fried potatoes are one of the foods that most contribute to exposure to acrylamide in the general population.

The Scientific Committee of the Spanish Agency for Consumer Affairs, Food Safety and Nutrition (AECOSAN) has assessed the characteristics of potatoes as regards the dry matter in the raw material, the presence of reducing sugars and the colour index after frying, which affect the exposure to acrylamide generated as a result of the frying process. In addition, it considers the possible measures to be taken to prevent and reduce the formation of acrylamide in fried potatoes in a domestic environment, including storage temperature or washing potatoes before frying them.

In this respect, regarding the characteristics of potatoes affecting the exposure to acrylamide generated as a result of frying, the Scientific Committee concludes that:

Given that the water content of a fresh potato ranges between 75-80 %, the content of dry matter in the raw material cannot be more than 25 %.

Although the content of reducing sugars may vary considerably over time depending on storage conditions, potato varieties with a low content of reducing sugars, no more than 0.3 %, should be selected.

Potatoes intended for frying must be stored at temperatures of around 8 °C.

Large tubers, measuring over 50 mm, should be selected for frying.

As regards the recommendations for minimising the production of acrylamide when cooking potatoes at home, the Scientific Committee concludes that:

When purchasing potatoes, only use potatoes at optimum ripeness, without green parts or sprouts.

When storing potatoes at home, do not store potatoes at temperatures below 8 °C (do not keep potatoes in the fridge) and avoid prolonged storage.

Before frying: cut the potato in thicker chunks or strips rather than thin slices; wash the potatoes after slicing under plenty of tap water and then dry thoroughly with kitchen paper.

When cooking: boil potatoes or cook them in the microwave rather than frying them. Avoid frying temperatures of more than 175 °C at all times. Observe the colour that appears on the surface of the product. Potatoes must be fried until they are a golden yellow colour rather than golden brown and darker coloured potatoes should be thrown away.

Key words

Potato, acrylamide, exposure, frying.

1. Introducción

La acrilamida es un compuesto orgánico de bajo peso molecular, muy hidrosoluble, que se forma al cocinar determinados alimentos ricos en almidón a temperaturas superiores a 120 °C y con baja humedad (frituras, asados); esto es debido principalmente a la reacción de Maillard, que se produce entre ciertos aminoácidos, tales como la asparagina libre, y los azúcares reductores (glucosa, fructosa y otros) y que confiere a los alimentos un color dorado, influyendo además en su sabor (EFSA, 2015).

La reacción de Maillard es una reacción de pardeamiento no enzimático que engloba una serie de reacciones químicas complejas mediante las cuales y bajo determinadas condiciones los azúcares reductores pueden reaccionar con un grupo amino libre, proveniente de un aminoácido o de una proteína y producir una serie de pigmentos de color pardo y modificaciones del olor y sabor que puede ser deseables en el caso de fritura, pero además pueden dar lugar a la formación de compuestos indeseables como la acrilamida. La formación de acrilamida por tanto depende de la presencia de los precursores (azúcares libres y el aminoácido asparagina principalmente) además de las variables tiempo, temperatura y humedad. Siendo su producción mayor al aumentar el tiempo de exposición del alimento a altas temperaturas (>120 °C) y bajos niveles de humedad.

Los principales alimentos que contribuyen significativamente a la exposición humana a la acrilamida son las patatas fritas, el pan, las galletas y el café. Además, la acrilamida se utiliza industrialmente (nº registro CAS 79-0601) desde los años 50 en la producción de poliacrilamidas que actúan como floculantes para aclarar el agua potable entre otras aplicaciones industriales.

1.1 Problemática de su ingesta-Evaluación del riesgo

La acrilamida fue evaluada en 1994 por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) y debido a los resultados de experimentación con animales fue clasificada como probable carcinógeno en humanos (Grupo 2A) debido a que la acrilamida es biotransformada en el metabolito glicidamida con actividad genotóxica (IARC, 1994) con especial afinidad por el sistema nervioso. Y por la Agencia Estadounidense de Protección Medioambiental (EPA) en la categoría B2, ambas sustancias definidas como "probablemente carcinogénica en humanos". Así, la *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) la clasifica en la categoría A3, definida como "carcinogénica en animales, desconocido en humanos". Hasta la fecha los resultados sobre experimentación en humanos no son concluyentes en cuanto a su toxicidad (Fuhr et al., 2006) (EFSA, 2015).

Puesto que cualquier nivel de exposición a una sustancia genotóxica podría dañar de forma potencial el ADN y conllevar la aparición de cáncer, los científicos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) concluyen que no pueden establecer una ingesta diaria tolerable (TDI) de acrilamida en alimentos. En su lugar, los expertos de la EFSA estimaron el rango de la dosis en el que la acrilamida presenta más probabilidad de causar una pequeña pero apreciable incidencia de tumores (llamado efecto neoplásico) u otros efectos adversos potenciales (neurológicos, en el desarrollo pre y postnatal y en la reproducción masculina). El límite mínimo de este rango se denomina límite mínimo de confianza para la dosis de referencia (BMDL₁₀).

- Para los tumores, los expertos seleccionaron un BMDL₁₀ de 0,17 mg/kg peso corporal/día.

- Para otros efectos, los cambios neurológicos más relevantes que se observaron fueron aquellos con un $BMDL_{10}$ de 0,43 mg/kg peso corporal/día.

Comparando el $BMDL_{10}$ con la exposición de los humanos a la acrilamida a través de la dieta, los científicos pueden indicar un “nivel de preocupación sanitaria” conocido como margen de exposición (MOE). Para los efectos neoplásicos de la acrilamida, los valores del MOE para la población general fueron de 425 (*lower-bound*) a 89 (*upper-bound*) y para los altos consumidores fue de 283 (*lower-bound*) y 50 (*upper-bound*). Estos valores del MOE son muy inferiores al valor de 10 000, que es el valor mínimo que EFSA ha considerado como seguro para sustancias que son genotóxicas y carcinógenas.

A nivel internacional, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) ha evaluado la acrilamida en 2005 y en 2010 y no ha podido establecer un valor de referencia toxicológico, a expensas de tener más resultados de carcinogénesis y neurotoxicidad a largo plazo de estudios que se están llevando a cabo, por lo que ha utilizado el mismo enfoque que la EFSA, el margen de exposición (MOE). El MOE calculado por JECFA para los efectos cancerígenos fue de 300 para la población general y de 75 para los altos consumidores, márgenes muy bajos, por lo que no se puede descartar el riesgo. En este sentido, JECFA recomienda reducir la presencia de acrilamida en los alimentos así como recoger datos de concentración de acrilamida en los alimentos listos para su consumo. El único valor legislado para acrilamida en alimentos es el límite máximo establecido para el agua potable preparada envasada, que es de 0,1 $\mu\text{g/l}$ de agua, según el Real Decreto 1799/2010 (BOE, 2010), igual al valor legislado para el agua de consumo humano en el Real Decreto 140/2003 (BOE, 2003).

Como continuación de trabajos anteriormente mencionados, EFSA ha realizado una evaluación del riesgo para la salud pública relacionada con la presencia de acrilamida en alimentos. En la evaluación de la exposición se consideraron más de 40 000 resultados analíticos de distintos alimentos aportados por los países miembros. En función de los resultados obtenidos, EFSA ha concluido que, aunque no se ha demostrado epidemiológicamente que la acrilamida sea un carcinógeno humano, el margen de exposición supone una preocupación respecto a efectos neoplásicos basados en evidencias en animales (EFSA, 2015).

Las mayores fuentes de acrilamida en la dieta de los adultos son las patatas fritas a nivel doméstico, las patatas fritas industriales y el café. La mayor exposición para lactantes, bebés y niños de corta edad son los alimentos infantiles a base de cereales y otros, mientras que para niños mayores de un año y adolescentes la mayor fuente de exposición a acrilamida son las patatas fritas a la inglesa tipo “chips”.

Una de las principales conclusiones a las que ha llegado EFSA en su opinión científica de 2015 es que las prácticas culinarias utilizadas en el cocinado casero tienen influencia en la exposición a acrilamida. Concretamente, las condiciones de fritura de las patatas en el ámbito doméstico pueden suponer un aumento de hasta un 80 % en la exposición total a acrilamida a través de la dieta.

1.2 Medidas establecidas para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos

Ante la preocupación de la EFSA por los niveles de exposición actuales a acrilamida y para lograr reducir dicha exposición a través de la dieta, la Comisión Europea como medida de gestión del riesgo ha aprobado recientemente, el establecimiento de unos Códigos de prácticas enfocadas a las industrias y a los sectores de la restauración. Dichos Códigos, de obligado cumplimiento para las empresas alimentarias, están además vinculados a unos niveles de acrilamida indicativos (UE, 2013) que se han de verificar para asegurar que todas las medidas de mitigación se están llevando a cabo de manera efectiva y así prevenir y reducir, tanto como sea posible, la formación de este compuesto. Los Códigos de prácticas son aplicables a las empresas alimentarias elaboradoras quedando, sin embargo, fuera de su alcance los alimentos que se presentan al consumidor final como materia prima, tal y como ocurre en el caso de las patatas.

Los niveles indicativos, entendidos como niveles habituales encontrados en esos alimentos en el conjunto de la Unión Europea y que no tienen relación con la salud, aplicables a las patatas son los siguientes:

- Patatas fritas listas para consumir: incluyendo aquellas fabricadas con patatas frescas o con masa de patatas.
 - Valor indicativo ($\mu\text{g}/\text{kg}$): 600 $\mu\text{g}/\text{kg}$.
 - Observaciones: Producto vendido listo para consumir, tal como se define en la parte C.1 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE (UE, 2010).
- Patatas fritas a la inglesa (*chips*): incluyendo aquellas fabricadas con patatas frescas o con masa de patatas.
 - Valor indicativo ($\mu\text{g}/\text{kg}$): 1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$.
 - Observaciones: Producto vendido, tal como se define en las partes C.2 y C.10 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE (UE, 2010).

Desde que en el año 2002, se demostrara por primera vez la formación no intencional de concentraciones relativamente elevadas de acrilamida en la transformación de patatas y productos a base de cereales, se está trabajando a nivel internacional para establecer medidas de gestión conducentes a reducir sus niveles en los alimentos transformados. A continuación se comentan, por orden cronológico, las principales herramientas desarrolladas por autoridades sanitarias u organizaciones industriales, dirigidas a la prevención y/o reducción de acrilamida en los alimentos.

1.2.1 *International Food Safety Authorities Network-Nota de información acrilamida (INFOSAN, 2005)*

La OMS (Organización Mundial de la Salud) y la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), en 2005, publicaron de forma conjunta una Nota de información INFOSAN que recogía las principales conclusiones de la evaluación del riesgo de acrilamida llevada a cabo por JECFA (FAO/OMS, 2005). En ella se incluyen pautas para las autoridades nacionales de inocuidad de los alimentos, especialmente en el ámbito de la comunicación, basadas en el intercambio internacional de información sobre las tecnologías y métodos de reducción de acrilamida

en alimentos. Con este fin la FAO/OMS había creado con anterioridad, en 2002, la red informática *Acrylamide Infonet* que sirve de inventario mundial de la investigación en curso sobre acrilamida en alimentos e incluye entre otros temas, información relacionada con las investigaciones para reducir los niveles.

1.2.2 HEATOX *Project-Guidelines to authorities and consumer organisations on home cooking and consumption* (HEATOX, 2007)

El informe final del Proyecto HEATOX (Toxinas alimenticias generadas por calor: identificación, caracterización y minimización del riesgo) financiado por la Comisión Europea, hace públicas las conclusiones obtenidas en el periodo 2003-2007 sobre los riesgos para la salud que supone la acrilamida entre otros compuestos que se forman con el tratamiento térmico de los alimentos. Los científicos participantes en el estudio concluyeron que aunque la contribución doméstica a la ingesta de acrilamida es en general escasa, se puede reducir aplicando medidas conocidas. Uno de los productos finales de dicho proyecto de investigación se ha traducido en un folleto en el que se detallan una serie de recomendaciones para minimizar la formación de acrilamida durante el cocinado de alimentos.

1.2.3 Comisión *Codex Alimentarius* (2009)-Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos

El Código de prácticas para la reducción de acrilamida en los alimentos (CAC/RCP 67-2009) adoptado por la Comisión del *Codex Alimentarius* en 2009 incluye prácticas recomendadas a la industria y otras partes implicadas para la elaboración de productos de patata y de productos a base de cereales durante todas las fases de producción. Las directrices incluyen estrategias para las materias primas, la adición de otros ingredientes, el procesado y el tratamiento térmico de los alimentos.

1.2.4 *Confederation of Food and Drink Industries of the EU-Caja de herramientas de acrilamida* (CIAA, 2013)

Esta herramienta de prevención y reducción de acrilamida en los alimentos, destinada a las industrias implicadas, ha sido elaborada por la *Food and Drink Europe* en colaboración con la Comisión Europea y se va actualizando de forma periódica. La última actualización en 2013, incluye cuatro categorías diferentes de alimentos: patatas fritas, pan (cereales de desayuno, galletas y productos de panadería), café (tostado y molido, instantáneo y sucedáneos de café) y alimentos infantiles (galletas y cereales infantiles y alimentos para lactantes). La herramienta detalla los métodos existentes para reducir la acrilamida en los alimentos y permite a los usuarios evaluar y seleccionar los métodos de reducción que deben utilizar en función de sus necesidades de fabricación. Para facilitar su aplicación han desarrollado diversos folletos (CIAA, 2013), uno de ellos dirigido a fabricantes de patatas fritas a la inglesa tipo "chips", que incluye las directrices para seleccionar las herramientas que mejor se adaptan al producto, método de elaboración y especificaciones de calidad del producto.

1.2.5 European Food Safety Authority-Opinión científica de acrilamida en alimentos (EFSA, 2015)

A partir del dictamen científico sobre acrilamida en alimentos emitido por el panel CONTAM en 2015, la EFSA publicó una Ficha informativa dirigida a los consumidores en la que explica de manera sencilla el riesgo al que puede estar sometida la población por ingesta de acrilamida, los alimentos que más contribuyen a esta ingesta y lo que puede hacer la población para reducir este consumo.

1.2.6 Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición-Recomendación sobre la acrilamida en los alimentos (AECOSAN, 2015)

La AECOSAN ha elaborado unas recomendaciones para el cocinado a nivel nacional destinadas a la reducción de acrilamida que incluye alimentos del ámbito doméstico, entre ellos, las patatas fritas.

1.2.7 Food and Drug Administration-Guidance for Industry Acrylamide in Foods (FDA, 2016)

Guía publicada por la *Food and Drug Administration* (FDA) en 2016 para que la industria alimentaria controle los niveles de acrilamida en los alimentos. Esta guía proporciona información para ayudar a productores, fabricantes y operadores del sector de la alimentación a reducir la acrilamida de ciertos alimentos (productos a base de patata, productos a base de cereales y otros productos como el café). Incluye recomendaciones que abordan las diferentes etapas de la producción, desde la selección de la materia prima, su almacenado, procesado hasta la comercialización, pero no establece valores máximos recomendados de acrilamida.

1.2.8 Food Standards Agency-Campaña "Go for Gold" (FSA, 2017)

Campaña impulsada por la *Food Standards Agency* (FSA) para concienciar a la población y minimizar el consumo diario de acrilamida asociado al consumo de patatas y otros alimentos ricos en almidón sometidos a altas temperaturas. Se explican cuatro maneras básicas de reducir la presencia de acrilamida, así como otras medidas preventivas adoptadas por la industria alimentaria.

1.2.9 Asociación Europea de Transformadores de la Patata-Regla de oro a la hora de freír (EUPPA, 2007)

Si bien todas las herramientas comentadas anteriormente son globales, ésta es la única para un producto específico. Es una herramienta destinada a profesionales y consumidores para reducir el contenido de acrilamida en las patatas fritas. Ha sido elaborada por la Asociación Europea de Transformadores de la Patata (EUPPA, 2007) e incluye recomendaciones y video sobre cómo cocinar mejor las patatas fritas.

1.2.10 Direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes (DG CCRF, 2017)

Al igual que el caso anterior, estas recomendaciones han sido establecidas muy recientemente en Francia para reducir la presencia de acrilamida en el cocinado casero de las patatas fritas, productos de panadería y bollería.

1.2.11 Comisión Europea, 2017

El pasado 19 de julio de 2017, los representantes de los Estados miembros de la Comisión Europea han aprobado un Reglamento sobre las medidas de mitigación y los niveles de referencia de acrilamida que incluye unos Códigos de prácticas (CoP) vinculantes que van encaminados a reducir los niveles de acrilamida de los productos que se ponen a disposición de los consumidores directamente para su consumo, o incluso para que estos últimos los cocinen en sus hogares. Una vez que entre en vigor esta medida, será obligatorio que los operadores económicos, tanto las industrias como los sectores del *catering*, hostelería y restauración colectiva, apliquen las medidas para mitigar la formación de acrilamida. El texto acordado será estudiado por el Parlamento Europeo y el Consejo quienes tendrán 3 meses para examinarlo antes de su adopción definitiva por parte de la Comisión. La entrada en vigor se prevé para la primavera de 2018 y durante este periodo intermedio estarán en vigor los niveles indicativos de la Recomendación 2013/647/UE.

Los nuevos niveles de referencia (según anexo IV del Reglamento 2017) que derogarán a los actuales son:

- Patatas fritas listas para consumir: presencia de acrilamida 500 µg/kg.
- Patatas fritas a la inglesa “chips”: 750 µg/kg.

La Comisión, en cuanto se haya adoptado dicho Reglamento, tiene también la intención de entablar conversaciones sobre medidas adicionales, como la fijación de niveles máximos de acrilamida en determinados alimentos, en la Unión Europea.

1.3 Condiciones para la venta de patatas

En España, las condiciones para la venta de las patatas están establecidas en el Real Decreto 31/2009, de 16 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad comercial para las patatas de consumo en el mercado nacional (BOE, 2009). La presente norma se refiere a los tubérculos de las variedades (cultivares) comerciales de patata obtenidos de «*Solanum tuberosum* L.» y de sus híbridos, destinados a su entrega en estado natural fresco al consumidor. Según su condición, se distinguen tres tipos comerciales de patata:

- “De Primor” (las que, además de ser cosechadas antes de su completa maduración natural, de modo que su epidermis o piel pueda desprenderse fácilmente por frotamiento, deben comercializarse en los días inmediatos a su recolección).
- “Nuevas” (las cosechadas en su completa maduración natural y comercializadas en las semanas inmediatas a su recolección sin más almacenamiento y/o conservación que el necesario para garantizar el desarrollo normal de su proceso comercializador).
- “De Conservación” (las cosechadas en su plena madurez, aptas para su comercialización después de pasar por un período de almacenamiento y/o conservación más o menos prolongado, sin merma de sus cualidades organolépticas).

En este Real Decreto se permite, facultativamente, indicar la utilización culinaria recomendada. En este sentido, se pueden encontrar en el mercado patatas etiquetadas con la mención “especial freír”.

En algunos Estados miembros de la Unión Europea como Francia, el sector reunido en el Comité Nacional Interprofesional de la Patata ha acordado que, para permitir el uso de la mención “especial freír”, las patatas deben cumplir previamente ciertos requisitos (CNIPT, 2016). Este acuerdo interprofesional, aplicable en dicho país hasta el año 2020, establece determinados criterios de aceptación para, entre otros, el índice de coloración tras un test de fritura o la tasa de glucosa en el jugo obtenido de la patata.

Es importante tener cuenta en que el artículo 36 del Reglamento (UE) N° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor establece que toda información voluntaria que se desee aportar debe estar basada, según proceda, en criterios científicos (UE, 2011).

Por todo ello, se solicita a la Sección de Seguridad Alimentaria y Nutrición del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) que valore cuáles serían las características de las patatas en cuanto al índice de color tras la fritura, la presencia de azúcares reductores y la materia seca de la materia prima, que influyen en la exposición a la acrilamida generada como consecuencia de la fritura. Esta valoración podrá conducir a establecer, como medida de gestión del riesgo, las condiciones en las que la mención “especial freír” pueda ser utilizada en el etiquetado de las patatas de forma adecuada, de manera que se evite una mayor exposición a la acrilamida generada como consecuencia de dicha práctica culinaria. Asimismo, y de cara a la preparación de material divulgativo para el consumidor sobre la acrilamida, se solicita a la Sección de Seguridad Alimentaria y Nutrición del Comité Científico de la AECOSAN que identifique las posibles medidas a adoptar para prevenir y reducir la formación de acrilamida en las patatas fritas, en el ámbito doméstico, tales como la temperatura de almacenamiento o el lavado de las patatas previo a la fritura.

2. Características técnicas de las patatas

2.1 El producto: la patata

2.1.1 Variedad de patata

Las patatas que no han sido sometidas a tratamiento térmico no contienen acrilamida, sin embargo aportan los precursores de la reacción de Maillard, habiéndose demostrado que la cantidad final de acrilamida en este producto está relacionada con los precursores asparagina, principal aminoácido libre presente en patatas (*Solanum tuberosum*) y azúcares reductores (Olsson et al., 2004) (Williams, 2005). Diversos estudios ponen de manifiesto que la concentración de azúcares reductores y asparagina, varía en función de la variedad de patata (Knutsen et al., 2009) (Marchettini et al., 2013), no obstante, De Wilde et al. (2006) a través del estudio de 16 variedades diferentes de patata, demostraron que sólo el contenido de azúcares reductores presenta correlación con la formación de acrilamida. Otros autores confirman también que la formación de acrilamida se asocia más al contenido de azúcares reductores que al contenido de asparagina (Mestdagh et al., 2008a) (Medeiros et al., 2010) (Marchettini et al., 2013). Además de los azúcares reductores, Kalita et al. (2013) concluyeron que las diferencias existentes en el contenido de polifenoles pueden influir también en el contenido de acrilamida obtenido a partir de diferentes variedades de patata. No

obstante, es importante tener en cuenta que el contenido de azúcares reductores no sólo depende de la variedad de patata, sino también de las condiciones de cultivo, de factores climáticos y variaciones estacionales y de las condiciones del almacenamiento postcosecha (Low et al., 2006).

2.1.2 Tamaño del tubérculo

Torres y Parreño (2009) apuntan que el tamaño del tubérculo influye también en la cantidad de azúcares reductores de manera que los de menor tamaño tienden a acumular (proporcionalmente) mayor contenido en azúcares reductores.

2.1.3 Grado de maduración

Otro factor a tener en cuenta en la selección del producto crudo es el grado de maduración determinado por el momento de siembra y cosecha y por la manipulación postcosecha, ya que se ha demostrado que los tubérculos inmaduros presentan un contenido mayor de azúcares reductores (De Wilde et al., 2006). Las patatas deben presentar el grado óptimo de maduración y evitar tubérculos inmaduros antes de su cocinado.

2.1.4 Irradiación de patatas

Algunas investigaciones señalan que la irradiación de las patatas con dosis de 60 Gy y posterior almacenamiento durante 6 meses en ambiente de temperatura de 4 y 14 °C, repercute en una reducción de acrilamida del 7-8 % en patatas *chips* (Mulla et al., 2011). Hay que destacar que este método de tratamiento no está autorizado en España.

2.1.5 Patatas modificadas genéticamente

Se ha estudiado la repercusión de la modificación genética de patata en la formación de acrilamida, con el resultado de una disminución significativa del 69 % en el contenido de acrilamida a partir de patatas modificadas genéticamente y almacenadas a 5 °C (Pinhero et al., 2012). Estados Unidos ha aprobado el cultivo de una variedad mejorada de patata a través de biotecnología (patata "Innate") para reducir el contenido de asparagina con lo que se consigue reducir en un 70 % la acrilamida que se genera en el proceso de fritura. Al igual que en el caso anterior este método de mejora genética aplicado a patatas no está autorizado en España.

2.2 Condiciones de almacenamiento

2.2.1 Temperatura

Existen evidencias científicas de que si las patatas se almacenan a una temperatura inferior a 8 °C antes de su procesamiento térmico, se incrementa la actividad enzimática sobre el almidón generando un incremento de la cantidad de azúcares reductores, lo cual facilitará la formación posterior de acrilamida en el cocinado, especialmente si se someten a un proceso de fritura u horneado (Dunovská et al., 2004) (Knutsen et al., 2009) (Viklund et al., 2008, 2010). Algunos autores señalan que el efecto sobre el contenido de azúcares reductores producido por el frío es reversible mediante un reacondicionamiento a 15 °C durante un periodo de 3 semanas previo al procesado

(De Wilde et al., 2005). También se ha demostrado que la conservación de las patatas en ambientes de temperatura inferiores a 10 °C no afecta a su contenido de asparagina (Olsson et al., 2004) (De Wilde et al., 2005). Para establecer directrices en el almacenamiento de las patatas hay que tener también en cuenta que la conservación a temperatura ambiente favorece la germinación, y dada la influencia que tiene este factor en el contenido de azúcares reductores, se recomienda una temperatura superior a 8 °C.

2.2.2 Otras condiciones (ventilación y oscuridad)

Además de la temperatura hay que considerar otros factores como la ventilación y condiciones de oscuridad para evitar la germinación.

3. Requisitos para la utilización de la mención “especial freír”

En relación a las patatas disponibles en nuestros mercados, Mesías et al. (2017) han realizado un estudio sobre la formación de acrilamida bajo condiciones controladas de manipulación y fritura realizado sobre diferentes lotes de patatas almacenadas identificadas como “especiales para freír”. Las muestras fueron obtenidas aleatoriamente de febrero a abril de seis minoristas de alimentos con el objetivo de evaluar cómo las características de las patatas frescas disponibles por los consumidores en el comercio minorista pueden influir en la exposición del usuario final a la acrilamida. Se encontró una correlación significativa entre los azúcares y la formación de acrilamida. Dependiendo del punto de compra, la exposición a acrilamida varió de 7,0 a 153 µg/persona/día. En consecuencia, según los autores, la etiqueta comercial “especial para freír” no es adecuada para guiar a los consumidores. Por tanto, se necesitan esfuerzos adicionales en la cadena de distribución de alimentos para proporcionar a los consumidores tubérculos de patata con las características necesarias para ayudar a mitigar la formación de acrilamida en el ambiente doméstico.

En algunos países se han fijado los requisitos que se deben cumplir para la utilización de la mención “especial freír” en la venta de patatas. Así en el acuerdo del *Comité National Interprofessionnel de la Pomme de Terre* de Francia (CNIPT, 2016), relativo a la utilización en el etiquetado de la declaración culinaria “para freír”, se especifican las características técnicas que deben cumplir estas patatas, entre ellas están:

- la materia seca, que debe estar comprendida entre 18,5 y 23 % con una tolerancia de $\pm 0,5$ %.
- la tasa de glucosa en el jugo utilizando un método comercial, siendo el criterio de aceptación un resultado inferior o igual a 0,40 % de glucosa en el jugo.
- el índice de coloración tras la fritura. estableciendo como método obligatorio para evaluarlo el protocolo “Test Frites” Arvalis/CNIPT (SPE003) y como criterios de aceptación un índice de coloración inferior o igual a 3,2.

3.1 Materia seca

La patata es un alimento rico en agua (75-80 %) cuando está fresca. Si tenemos en cuenta la materia seca, el 75 % de la patata está compuesta por almidón, hidrato de carbono complejo. La concentración de azúcares solubles es baja (0,1-0,7 %) siendo los más importantes la glucosa, fructosa y saca-

rosa. Para un uso industrial a mayor contenido de materia seca mayor rendimiento. Desde el punto de vista de la formación de acrilamida, esta se potencia al aumentar el contenido de materia seca.

3.2 Contenido en azúcares reductores (tasa de glucosa)

En patatas la reacción de Maillard tiene lugar entre azúcares reductores (glucosa y fructosa) y la asparagina. Para controlar la reacción de Maillard y en consecuencia reducir la formación de acrilamida en patatas fritas una alternativa es reducir sus precursores en las patatas, en concreto el contenido en azúcares reductores (Amrein et al., 2003). Entre los factores que influyen en el contenido en azúcares reductores en patata se incluyen: la variedad de patata, las condiciones climáticas durante su cultivo, el estado de maduración, el tamaño del tubérculo, la temperatura y la duración del almacenamiento (Hertog et al., 1997) (Tareke et al., 2002) (De Wilde et al., 2005, 2006) (Mojska et al., 2007) (Mestdagh et al., 2008a).

3.2.1 Variedad de patata

Las variedades con menor contenido en azúcares reductores se asocian a una menor producción de acrilamida durante la fritura, por ello si la patata se va a destinar a freír (tanto a nivel industrial como doméstico) se recomienda seleccionar variedades de patata con un bajo contenido en azúcares reductores (Palermo et al., 2016), en concreto un contenido en azúcar inferior al 0,3 % de peso fresco (Pedreschi, 2007). Algunos autores recomiendan un contenido en azúcares reductores incluso inferior en torno al 0,2 % de azúcares en patata fresca (Pedreschi, 2007) (Torres y Parreño, 2009) recomiendan usar variedades de patata con características diferentes para fritura tipo francesa (en tiras) o patatas fritas a la inglesa "chips".

3.2.2 Estado de maduración

Las patatas destinadas a freír no se deben recolectar hasta alcanzar su maduración máxima, para que así aumente la materia seca y el contenido en azúcares reductores sea reducido. No se deben recolectar patatas de pequeño tamaño pues se asocian a un mayor contenido en azúcares reductores y por tanto a un aumento de la formación de acrilamida durante la fritura (De Wilde et al., 2006) (Medeiros et al., 2012). De Wilde et al. (2006) han señalado que la concentración de azúcares reductores es mayor en tubérculos de tamaño inferior a 50 mm que en los de tamaño superior a 50 mm. Estos autores observaron concentraciones de azúcares reductores de 1,62 % en materia seca en tubérculos de tamaño inferior a 50 mm, mientras que en los tubérculos grandes (mayor de 50 mm) la concentración en azúcares reductores era del 0,19 % en materia seca. También observaron que el porcentaje de materia seca era mayor en tubérculos grandes (20,20 %) en comparación con los tubérculos pequeños (17,64 %). Por ello, el tamaño de las patatas destinadas a freír debe ser grande, se deben retirar los tubérculos pequeños.

3.2.3 Temperatura y tiempo de almacenamiento

La temperatura y tiempo de almacenamiento de las patatas influye en el contenido en azúcares reductores. La acumulación de azúcares viene favorecida por las temperaturas bajas y el enveje-

cimiento del producto. En patatas hay un equilibrio entre el contenido en almidón, y los azúcares reductores. El almacenamiento a temperaturas inferiores a 10 °C desplaza el equilibrio hacia la liberación de azúcares reductores que intervienen en la reacción de Maillard. Al aumentar el contenido en azúcares reductores en el proceso de fritura se formará mayor cantidad de acrilamida. El contenido en glucosa es cuatro veces mayor y el de fructosa es cinco veces mayor en patatas almacenadas a 3 °C que en patatas almacenadas a 10 °C (Olsson et al., 2004, 2005). Otros autores también han señalado un mayor contenido en azúcares reductores en patatas almacenadas a 4 °C en comparación con la almacenada a 8 °C (Amrein et al., 2003) (De Wilde et al., 2005). Por ello, se recomienda almacenar las patatas destinadas a freír a temperaturas por encima de 8 °C (Palermo et al., 2016), de esta forma se reduce al mínimo el efecto del endulzamiento por bajas temperaturas, a temperaturas más bajas se acumulan azúcares reductores, especialmente cuando el almacenamiento es prolongado (Sowokinos, 2001) (Mestdagh et al., 2008). Un periodo de almacenamiento a temperaturas superiores a 10 °C desplaza el equilibrio hacia la síntesis de almidón a expensas de los azúcares reductores. Por ello, las patatas que han sido almacenadas en refrigeración se deben reacondicionar a temperaturas más elevadas durante 3 semanas a 15 °C (De Wilde et al., 2005). Por otro lado, el almacenamiento a altas temperaturas puede ocasionar problemas, ya que cuanto más elevada es la temperatura de almacenamiento antes se produce la germinación. Se debe evitar la germinación ya que determina cambios en la calidad de los tubérculos, además se asocia con un incremento de los azúcares reductores.

A nivel industrial, en Estados Unidos la FDA (2016), recomienda a los fabricantes consultar con los servicios locales de extensión agraria para identificar variedades de patata con bajo contenido de azúcares reductores disponibles en su región y en las diferentes épocas del año, o pedir a sus proveedores que ofrezcan variedades con bajo contenido de azúcar reductor cuando sea posible. Debido a esta problemática en Estados Unidos se están desarrollando nuevas variedades de patata con menor contenido en azúcares reductores y mayor resistencia al endulzamiento inducido por el frío, al igual que se están desarrollando cultivares (tanto por mejora genética convencional como por ingeniería genética) con menores niveles de asparagina, precursor de acrilamida.

3.3 Índice de coloración

Durante la fritura de la patata se desarrollan las propiedades sensoriales deseadas, especialmente el color y el aroma como consecuencia de la reacción de Maillard. No obstante, si es excesiva la reacción se producen sabores amargos y colores oscuros que hacen que las patatas fritas sean poco atractivas para el consumidor. Es por ello que el color de las patatas fritas es un atributo de calidad de gran importancia, ya que determina la aceptabilidad por parte del consumidor. Además, numerosos estudios han puesto de manifiesto la importancia del color como indicador del contenido de acrilamida (Pedreschi et al., 2005, 2006, 2007) (Gökmen y Senyuva, 2006) (Viklund et al., 2007) (Mestdagh et al., 2008a) (Gökmen y Mogol, 2010) (Mesías y Morales, 2015). El color de las patatas fritas depende principalmente del contenido en azúcares reductores en las patatas utilizadas, con un contenido demasiado alto aparece un color marrón oscuro no deseable. Se ha observado que el contenido en acrilamida y el color en patatas fritas es función de la relación glucosa/fructosa

en la patatas. Un mayor contenido en fructosa en relación al contenido en glucosa estimula más la formación de acrilamida que el color desarrollado por la reacción de Maillard. El efecto contrario se ha observado si el contenido en glucosa es mayor que el de fructosa (Mestdagh et al., 2008a). La relación glucosa/fructosa depende de la actividad enzimática en la patata durante el cultivo y post-cosecha así como de la variedad de patata (Hertog et al., 1997).

El color de las patatas también depende de la temperatura de almacenamiento, ya que como se ha mencionado anteriormente, incide en el contenido de azúcares. Así, si se utilizan patatas almacenadas a 3 °C el color de las patatas fritas es más oscuro que si se utilizan patatas almacenadas a 10 °C (Olsson et al., 2004).

4. Medidas recomendadas a adoptar en el ámbito doméstico

Algunos autores indican que disminuir el tiempo de cocción, blanquear las patatas antes de freírlas (esto es, sumergirlas en agua hirviendo primero) y realizar un secado posterior (secar en horno de convección o de aire caliente después de freír) disminuye el contenido de acrilamida en algunos alimentos (Kita et al., 2004) (Skog et al., 2008).

4.1 Pretratamiento antes del cocinado

Los niveles de azúcares también se pueden reducir escaldando las patatas en agua templada o caliente o poniéndolas en remojo a temperatura ambiente antes de someterlas a fritura u horneado.

4.1.1 Lavado/remojo en agua

Diversas publicaciones avalan científicamente que el remojo de las patatas en agua previo al cocinado, reduce aproximadamente entre el 20 y el 30 % la formación de acrilamida durante el proceso de fritura (Mestdagh et al., 2008b) (Pedreschi et al., 2009) (Medeiros et al., 2010) (Viklund et al., 2010). Dicho efecto es explicado por la extracción de azúcares reductores y de aminoácidos de la superficie de la patata, lo que es positivo desde el punto de vista de la reducción de acrilamida, pero puede llegar a ser negativo desde el punto de vista organoléptico, ya que afecta a los componentes que determinan la calidad sensorial de las patatas (Masson et al., 2006).

Asimismo, se ha estudiado la influencia de la temperatura del agua y tiempo de inmersión concluyendo que tanto la eliminación de aminoácidos como de azúcares reductores aumenta al incrementarse la temperatura y el tiempo de pretratamiento en agua. Haase et al. (2003) señalan que la reducción del contenido de azúcares por escaldado podría reducir la concentración de acrilamida cerca de un 60 % en patatas tipo "chips". Mestdagh et al. (2008b) comprobaron una reducción de acrilamida del 65 y 96 % en patatas fritas tipo francesa (en tiras) o patatas fritas a la inglesa "chips", respectivamente, después de un escaldado a 70 °C durante 10-15 minutos, y señalan que la temperatura del agua ejerce un efecto mayor en la eficiencia de extracción de azúcares que el tiempo de escaldado. Por el contrario, Pedreschi et al. (2004) obtuvieron una reducción mayor en el contenido de acrilamida, superior al 90 %, después de un escaldado a 50 °C/70 minutos y a 70 °C/40 minutos, concluyendo que el tiempo de escaldado es un factor crítico.

4.1.2 Pretratamiento en solución de ácidos orgánicos

El pH del medio influye en la velocidad de reacción entre azúcares y aminoácidos, siendo óptima a pH poco ácido. Jung et al. (2003) demostraron que la acidificación del agua de lavado con ácido cítrico previa a la fritura reduce la formación de acrilamida en un 73 % en patatas para freír después de una fritura durante 6 minutos a 190 °C a presión atmosférica. Pedreschi et al. (2004) obtienen resultados similares en patatas fritas a 150 °C con un lavado previo en una solución de ácido cítrico de 10 y 20 g/l.

Otros autores (Kita et al., 2004) han comprobado que el tipo de ácido influye en la eficiencia de extracción de azúcares y asparagina dependiendo de la temperatura del agua de escaldado, a 20 °C es más eficiente el ácido cítrico mientras que a 70 °C lo es el ácido acético. No obstante, hay que tener en cuenta que el factor limitante de esta estrategia de control es la concentración de ácido compatible con las características organolépticas del producto, cuyo límite máximo ha sido establecido en una concentración del 1 % de ácido cítrico (Jung et al., 2003).

4.1.3 Pretratamiento con antioxidantes

El efecto de compuestos antioxidantes en la formación de acrilamida en patatas ha sido evaluado con resultados diversos (Kotsiou et al., 2010). Se ha comprobado a nivel experimental que la aplicación de extractos de compuestos antioxidantes (té verde, canela, orégano) en el proceso de remojo de las patatas previo a la fritura puede constituir una estrategia en el hogar para reducir el contenido de acrilamida sin afectar a las características organolépticas de patatas fritas (Morales et al., 2014).

4.1.4 Secado

Algunos autores (Gökmen et al., 2006) han comprobado una reducción de la formación de acrilamida en patatas sometidas a un secado previo a la fritura, relacionada con el acortamiento del tiempo de fritura necesario para obtener las características típicas de las patatas tipo francesa (en tiras).

4.1.5 Relación superficie/volumen

La formación de la acrilamida es considerada un fenómeno de superficie porque se da principalmente en la superficie del alimento, donde se alcanzan con mayor rapidez las temperaturas a partir de las cuales se forma la acrilamida. La distribución de la temperatura desde el exterior al interior de la patata está influida por la relación superficie/volumen, cuanto mayor es esta relación, mayor es la pérdida de humedad del producto y mayor la temperatura alcanzada en el centro, dos factores relacionados con un riesgo mayor de síntesis de acrilamida (Gökmen y Palazoglu, 2009). Por esta razón se recomienda disminuir la superficie cortando las patatas en rodajas más gruesas antes de freír u hornear y suprimir las más finas (trozos finos de patata) después del proceso culinario de fritura u horneado (Comisión *Codex Alimentarius*, 2009).

4.1.6 Descongelación de producto de patata en tiras

Tuta et al. (2010) demostraron experimentalmente que el contenido final de acrilamida en producto de patata congelado para freír disminuye significativamente, hasta en un 89 % en un proceso de

fritura a 180 °C, si previamente se realiza la descongelación del producto en microondas, dicha reducción se relaciona con un tiempo menor de fritura necesario para obtener características organolépticas similares al producto sin descongelar.

4.2 Condiciones de procesado

4.2.1 Temperatura y tiempo de procesado culinario

El efecto de la temperatura de procesado culinario en la cantidad de acrilamida formada ha sido ampliamente investigado con el resultado de que la temperatura influye directamente y de manera significativa en la cantidad de acrilamida y que los niveles de acrilamida en la preparación culinaria de las patatas se pueden reducir controlando la aplicación de calor, especialmente en el proceso de fritura.

La mayoría de las investigaciones señalan que la formación de acrilamida se genera a partir de una temperatura de 120 °C (Mottram et al., 2002) (Stadler et al., 2002) (Becalski et al., 2003) (Gökmen et al., 2006); algunos autores señalan que aumenta significativamente por encima de 150 °C; otros autores establecen la temperatura crítica alrededor de 175 °C (Gertz y Klostermann, 2002) (Yasuhara et al., 2003), y a temperaturas superiores (180-200 °C), el aumento drástico de los niveles de acrilamida es seguido por una rápida disminución de estos debido a las reacciones de degradación de la acrilamida (Sanny et al., 2010). Las investigaciones más recientes ponen de manifiesto que el efecto de la temperatura de fritura entre 150 y 190 °C sobre la formación de acrilamida, difiere en función de la variedad de patata de acuerdo a su contenido en azúcares y humedad, y concluyen que además de los azúcares reductores y asparagina hay otros factores dependientes de la variedad de patata, como el contenido en sacarosa que pueden tener relación con la formación de acrilamida durante el proceso de fritura (Yang et al., 2016). Todos los estudios coinciden en la existencia de un aumento lineal entre concentración de acrilamida y tiempo de calentamiento.

En cualquier caso el efecto de la temperatura y tiempo sobre el contenido de acrilamida está asociado a una pérdida de humedad y a un aumento de la velocidad de la reacción de Maillard (Dunovská et al., 2004). Por todo ello las recomendaciones durante el cocinado de las patatas se refieren al control de la temperatura y tiempo, para evitar que se alcancen los valores críticos de temperatura y de humedad en el producto durante el procesado térmico. La mayoría de las investigaciones se han focalizado al estudio del proceso de fritura que se analiza posteriormente.

4.2.2 Tipo de cocinado

La forma de cocinar los alimentos puede tener un impacto sustancial en el nivel de acrilamida en los alimentos. Las diferencias observadas en el contenido de este compuesto se atribuyen a la influencia que ejerce el tipo de cocinado en la humedad y en la temperatura interna que se alcanza en el producto.

En el proceso de fritura pueden alcanzarse temperaturas centrales superiores a 120 °C y humedad inferior al 2,5 %, y por tanto, las patatas fritas presentan niveles más elevados de acrilamida que las patatas cocinadas por cocción o asado. No obstante, Palazoğlu et al. (2010) evidenciaron que a temperatura de 170 °C las patatas horneadas presentaban un contenido mayor de acrilamida que las mismas sometidas a un proceso de fritura, mientras que a 180 y 190 °C ocurría lo contrario.

Al igual que en la fritura, en el proceso de horneado el 99 % de la acrilamida se forma en la corteza, ya que en el interior no se alcanzan temperaturas superiores a 100 °C (Sadd y Hamlet, 2005), y los niveles aumentan con el tiempo y la temperatura aplicada (Claus et al., 2008) (Keramat et al., 2011). Además se ha comprobado que en los hornos de convección la circulación del aire produce un secado más rápido e intenso en la superficie, incrementándose notablemente el contenido de acrilamida (Claus et al., 2008). En este tipo de cocinado se recomienda aplicar una temperatura máxima de 230 °C y mantener una humedad relativa alta durante el proceso de horneado (CIAA, 2013).

La fritura en microondas puede ser una alternativa a la fritura tradicional no sólo porque se logra una reducción importante de la temperatura y del tiempo de fritura sino también por el efecto protector que ejerce el flujo de vapor de agua desde el centro del producto, arrastrando tanto la acrilamida formada como sus precursores (Barutcu et al., 2009). Otros estudios ponen de manifiesto que el efecto del microondas en la reducción de acrilamida es mayor al aumentar la potencia aplicada. Sin embargo, su principal limitación en el proceso de fritura es la baja uniformidad en el calentamiento del medio y del producto, lo que se refleja en una mayor heterogeneidad de las características sensoriales del producto final. Sin embargo, la precocción de las patatas mediante microondas puede suponer, según algunos autores, una reducción de hasta un 60 % en el contenido de acrilamida después de la fritura de tiras de patata a 190 °C (Belgin, 2007) (Tuta et al., 2010).

En general se recomienda el cocinado de las patatas mediante cocción, microondas o asado en lugar de la fritura.

4.3 Condiciones de fritura

4.3.1 Temperatura del aceite y tiempo de fritura

Diversos estudios han puesto de manifiesto que pequeñas variaciones en la temperatura de fritura pueden tener grandes consecuencias en la concentración final de acrilamida de las patatas fritas y que la mayor parte de la acrilamida se forma al final de la fritura cuando el contenido de agua del producto alcanza valores críticos. Haase et al. (2003) comprobaron que disminuyendo la temperatura de 185 a 165 °C en el proceso de fritura de patatas es posible reducir a la mitad la formación de la acrilamida.

Por otra parte, se ha comprobado que después de un proceso de fritura a 150, 170 y 190 °C durante 9 minutos, el contenido de acrilamida es significativamente mayor en la superficie que en la parte interna de las patatas, debido a que el contenido de humedad disminuye rápidamente a nivel superficial por evaporación del agua a temperatura elevada, mientras que en el interior no se supera la temperatura de 103-104 °C (Gökmen et al., 2006). Asimismo, se ha demostrado que cuanto mayor es el tiempo de fritura menor es el contenido de humedad y mayor la formación de acrilamida en el producto. Gökmen y Palazoğlu (2009), entre otros autores, han comprobado que la concentración de acrilamida en patatas aumenta linealmente durante un tiempo de fritura de 5 minutos y Romani et al. (2008) demostraron que el tiempo de fritura de patatas "french" a 180 °C es un factor crítico a partir de 4 minutos. No obstante, en este tipo de cocinado, la posibilidad de reducir la temperatura y tiempo del proceso está condicionada por la aceptabilidad del producto por parte del consumidor,

debiéndose considerar en este caso, el compromiso entre la reducción de acrilamida durante el proceso de fritura y el mantenimiento de las propiedades organolépticas del producto.

Por debajo de 140 °C se alarga el tiempo de fritura y dado que la mayor parte de la acrilamida se forma al final de la fritura, la recomendación más generalizada para evitar un contenido alto de acrilamida es no sobrepasar la temperatura de 170-175 °C desde el inicio del proceso y disminuir la temperatura hacia el final del mismo.

También se han estudiado otros factores que pueden incidir en la cantidad de acrilamida presente en las patatas fritas. Gökmen y Palazoğlu (2009) comprobaron pérdidas de acrilamida por evaporación que aumentaban del 0,7 al 1,8 % con el incremento de la temperatura de fritura de 150 a 180 °C y con el aumento de la relación superficie/volumen del producto. Asimismo, mediante estudios de cinética Hui-Tsung et al. (2016) demostraron que la acrilamida formada durante la fritura de patatas se distribuye en tres fases: sólida (patatas fritas), líquida (aceite de fritura) y gaseosa (vapor de agua) y que el contenido de acrilamida aumenta gradualmente en las tres fases hasta alcanzar un valor estable. Aunque la cantidad que se pierde por evaporación es insignificante respecto a la que permanece en el producto, este hecho podría suponer un riesgo adicional de exposición a acrilamida por su acumulación en el ambiente de la cocina, por lo que se recomienda la ventilación de la cocina después de la fritura. Asimismo, la distribución de parte de la acrilamida formada en el aceite de fritura hace recomendable evitar la reutilización de éste.

4.3.2 Relación masa/aceite

En general, los niveles de acrilamida disminuyen a medida que aumenta la relación de masa entre el alimento y el aceite, ello es debido a la disminución de temperatura que experimenta el aceite al inicio del proceso cuando se introducen las patatas, con el consiguiente incremento del tiempo necesario para recuperar la temperatura de fritura. Esta relación masa/aceite debe ajustarse con el objeto de que la temperatura no baje de 140 °C y obtener así una calidad óptima en el producto (textura y sabor) a la vez que se reduce la concentración de acrilamida. Romani et al. (2009) demostraron que al margen de la relación masa/aceite, la capacidad térmica de la freidora es un factor determinante en la recuperación de la temperatura inicial, influyendo en la pérdida de humedad y en la cantidad de acrilamida en el producto final.

De acuerdo a la capacidad térmica de la freidora, la cantidad de patatas sumergidas en el aceite deberá tener como objetivo proporcionar una temperatura de cocción efectiva que comience a unos 140 °C y termine a unos 160 °C. Una reducción mayor de la temperatura después de haber incorporado las patatas incrementará la absorción de grasa, y una temperatura final más elevada se traducirá en un incremento en la formación de acrilamida (Comisión *Codex Alimentarius*, 2009).

4.3.3 Tipo y características del aceite de fritura

Según algunos autores el tipo de aceite, oliva o girasol, utilizado en el proceso de fritura, no parece estar relacionado con el contenido de acrilamida de patatas "chips" (Mesías y Morales, 2015). Sin embargo, otros autores observaron un contenido de acrilamida mayor en patatas fritas en aceite de

palma que en aceite de girasol o aceite de colza (Gertz y Klostermann, 2002) y también en aceite de oliva respecto al aceite de maíz (Becalski et al., 2003).

Las diferencias observadas entre diferentes tipos de aceite pueden estar relacionadas con su contenido en ácidos grasos poliinsaturados, los cuales estarían implicados en la formación de acrilamida por otras vías alternativas de la reacción de Maillard (Marchettini et al., 2013).

Napolitano et al. (2008) entre otros autores, han estudiado el efecto de la composición fenólica del aceite de oliva en la formación de acrilamida en patatas fritas, y Jin et al. (2013) tras una completa revisión de los resultados publicados, concluyen que el papel de los agentes antioxidantes presentes en el aceite de fritura en el proceso de formación de acrilamida es complejo y todavía no existen datos concluyentes.

Por otra parte, algunas investigaciones concluyen que el grado de oxidación del aceite, medido por el contenido de glicerol y de mono y diacilgliceroles, no influye significativamente en el contenido de acrilamida en patatas fritas (Mestdagh et al., 2007). Sin embargo, Dunovská et al. (2004) obtuvieron un incremento de acrilamida del orden de 10 veces en las patatas fritas, tipo inglesa "chips", a 150 °C en aceite usado en relación al mismo producto frito en aceite nuevo a la misma temperatura, y más recientemente Urbančič et al. (2014) demostraron, a nivel experimental, que el nivel de acrilamida se duplicaba en patatas fritas tipo francesa (en tiras) cuando el aceite había alcanzado un grado de oxidación crítico.

4.4 Recomendaciones de agencias de seguridad alimentaria u otros organismos internacionales

Distintas agencias de seguridad alimentaria u otros organismos internacionales han proporcionado recomendaciones para el consumidor con el fin de disminuir la exposición a acrilamida como consecuencia de prácticas culinarias domésticas.

Así, en Francia, en el mencionado acuerdo del CNIPT, se indica que conservar las patatas a temperaturas comprendidas entre 8 y 10 °C durante almacenamientos superiores a los 6 meses, ayuda a mantener el contenido en azúcares reductores en niveles similares a los observados en la recolección.

En Alemania, el Instituto Federal de Evaluación de Riesgos (BfR, 2011) recomienda a consumidores y restauración "*baking golden brown instead of charring*" (hornear dorado en vez de carbonizar) dado que el nivel de acrilamida se incrementa con la intensidad de pardeamiento.

En el Reino Unido, en enero de 2017, la *Food Standards Agency* (FSA), basándose en los resultados del estudio *Total diet study of inorganic contaminants, acrylamide & mycotoxins* ha lanzado la campaña *Go for Gold* para ayudar a los consumidores a entender cómo pueden minimizar la exposición a la acrilamida cuando cocinan en casa. Establece además la recomendación de no mantener las patatas crudas en la nevera si se tiene la intención de asar o freír, recomendando como almacenamiento ideal un lugar oscuro y fresco a temperaturas superiores a 6 °C (FSA, 2017).

La Comisión del *Codex Alimentarius* (2009) recomienda, para obtener reducciones importantes del contenido de acrilamida en las patatas fritas, que la temperatura del aceite al empezar a freír no debe ser superior a 170-175 °C y las patatas deben freírse hasta obtener un color amarillo dorado en vez de marrón dorado.

Conclusiones del Comité Científico

Características de las patatas que influyen en la exposición a la acrilamida generada como consecuencia de la fritura

Considerando que el contenido de agua de la patata fresca oscila entre el 75-80 %, el contenido de materia seca de la materia prima no debe ser superior al 25 %.

Se deben seleccionar variedades de patatas con un contenido en azúcares reductores bajo.

Las patatas con más de 0,3 % de azúcares reductores no se deben utilizar para freír ya que se asocian a una mayor formación de acrilamida. Si bien el contenido de azúcares reductores puede variar considerablemente con el tiempo dependiendo de las condiciones de almacenamiento.

El almacenamiento de patatas destinadas a freír se debe realizar a temperaturas en torno a 8 °C. Para freír se deben seleccionar tubérculos grandes, de tamaño superior a 50 mm.

Con respecto al método de análisis se podría considerar, además del método utilizado en Francia, la medida de glucosa en el zumo mediante el método volumétrico de medida de azúcares reductores Fehling o el método colorimétrico con la o-toluidina. En España, el INIA (2017) recomienda utilizar el método colorimétrico del dinitrosalicílico.

Recomendaciones para minimizar la producción de acrilamida en el cocinado de patatas en el ámbito doméstico

- Recomendación general:
 - Llevar una dieta variada y equilibrada.
- En la compra de patatas:
 - Utilizar sólo patatas en el periodo óptimo de maduración, sin brotes ni zonas verdes.
- En la conservación de patatas en el hogar:
 - No almacenar las patatas a una temperatura inferior a 8 °C: no guardar las patatas en la nevera.
 - Almacenar las patatas en ambiente seco y en lugar oscuro para evitar la germinación, ya que supone cambios en la calidad de los tubérculos, además se asocia con un incremento de los azúcares reductores.
 - Evitar el almacenamiento prolongado: consumir preferentemente las patatas adquiridas semanalmente.
- Antes de la fritura:
 - Optar por el corte de la patata más grueso en forma de cubo o tiras en lugar de rodajas finas.
 - Es recomendable lavar las patatas ya cortadas con abundante agua del grifo.
 - Secar completamente las patatas con papel absorbente apto para contacto alimentario.
- En el cocinado:
 - Cocinar las patatas preferentemente mediante cocción, tratamiento en horno, o en el microondas en lugar de freírlas.
 - Seguir las instrucciones del fabricante de patatas procesadas para cocinarlas de manera correcta y asegurar que se están cocinando ni demasiado ni a temperaturas muy altas.
 - Evitar temperaturas de fritura superiores a 175 °C en todo momento.
 - Reducir el tiempo de fritura cuando se cocinen cantidades pequeñas de patatas.

- Observar el color desarrollado en la superficie del producto. Las patatas deben freírse hasta obtener un color amarillo dorado en vez de marrón dorado.
- Rechazar las patatas más oscuras.
- Limitar la reutilización del aceite de fritura. Es preferible utilizar aceite nuevo para la fritura.
- Ventilar el ambiente de cocina después de la fritura.

Referencias

- AECOSAN (2015). Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición. Informe de AECOSAN sobre la acrilamida en los alimentos. Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/acrilamida.htm [acceso: 12-09-17].
- Amrein, T.M., Bachmann, S., Noti, A., Biedermann, M., Ferraz, M., Biedermann, S., Grob, K., Keiser, A., Realini, P., Escher, F. y Amadoã, R. (2003). Potential of Acrylamide Formation, Sugars, and Free Asparagine in Potatoes: A Comparison of Cultivars and Farming Systems. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, pp: 5556-5560.
- Barutcu, I., Sahin, S. y Sumnu, G. (2009). Acrylamide formation in different batter formulations during microwave frying. *LWT-Food Science and Technology*, 42, pp: 17-22.
- Becalski, A., Lau, B., Lewis, D. y Seaman, S. (2003). Acrylamide in foods: occurrence, sources and modelling. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, pp: 802-808.
- Belgin, E.S. (2007). Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, pp: 133-137.
- BfR (2011). Federal Institute for Risk Assessment. Acrylamid in Lebensmitteln-Opinion Nr. 043/2011. Disponible en: http://www.bfr.bund.de/de/a-z_index/acrylamid-4185.html [acceso: 12-09-17].
- BOE (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE N° 45 de 21 de febrero de 2003, pp: 7228-7245.
- BOE (2009). Real Decreto 31/2009, de 16 de enero, por el que se aprueba la norma de calidad comercial para las patatas de consumo en el mercado nacional y se modifica el anexo I del Real Decreto 2192/1984, de 28 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de aplicación de las normas de calidad para las frutas y hortalizas frescas comercializadas en el mercado interior. BOE N° 21 de 24 de enero de 2009, pp: 8175-8182.
- BOE (2010). Real Decreto 1799/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula el proceso de elaboración y comercialización de aguas preparadas envasadas para el consumo humano. BOE N° 17 de 20 de enero de 2011, pp: 6292-6304.
- CIAA (2013). Confederation of Food and Drink Industries of the EU. Acrylamide 'Toolbox' Revision 13. Disponible en: <http://www.fooddrinkurope.eu/publications/category/toolkits/> [acceso: 12-09-17].
- Claus, A., Mongili, M., Weisz, G., Schieber, A. y Carle, R. (2008). Impact of formulation and technological factors on the acrylamide content of wheat bread and bread rolls. *Journal of Cereal Science*, 47, pp: 546-554.
- CNIPT (2016). Comité National Interprofessionnel de la Pomme de Terre. Accord Interprofessionnel relatif à l'utilisation de l'allégation culinaire "frites" seule ou associée à d'autres allégations culinaires sur les lots de pommes de terre de conservation. Disponible en: <http://www.cnipt.fr/accord-interprofessionnel-pour-les-pommes-de-terre-frire/> [acceso: 12-09-17].
- Comisión *Codex Alimentarius* (2009). Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos (CAC/RCP 67-2009), pp: 1-8.
- De Wilde, T., De Meulenaer, B., Mestdagh, F., Govaert, Y., Vandeburie, S. y Ooghe, W. (2005). Influence of storage practices on acrylamide formation during potato frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, pp: 6550-6557
- De Wilde, T., De Meulenaer, B., Mestdagh, F., Govaert, Y., Ooghe, W. y Fraselle, S. (2006). Selection criteria for

- potato tubers to minimize acrylamide formation during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp: 2199-2205.
- DG CCRF (2017). Direction générale de la concurrence de la consommation et de la répression des fraudes. Disponible en: <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/contamination-des-aliments-par-certains-composes-neoformes-2016> [acceso: 12-09-17].
- Dunovská, L., Hajlová, J., Hájková, T., Holadová, K. y Hájková, K. (2004). Changes of acrylamide levels in food products during technological processing. *Czech Journal Food Science*, 22 Special Issue, pp: 283-286.
- EFSA (2015). European Food Safety Authority. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on acrylamide in food. *EFSA Journal*, 13 (6): 4104.
- EUPPA (2007). Asociación Europea de Transformadores de la Patata. Entrance control for raw material (potatoes) currently used in the french fries industry. Disponible en: www.euppa.eu [acceso: 12-09-17].
- FAO/OMS (2005). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud. Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives: Summary and Conclusions Report from Sixty-fourth Meeting, Rome, 8-17 February 2005. (Rep. No. JECFA/64/SC).
- FDA (2016). Food and Drug Administration. Guidance for Industry Acrylamide in Foods. Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ChemicalContaminantsMetalsNaturalToxinsPesticides/UCM374534.pdf> [acceso: 12-09-17].
- Fuhr, U., Boettcher, M., Kinzig-Schippers, M., Weyer, A., Jetter, A., Lazar, A., Taubert, D., Tomalik-Scharte, D., Pournara, P., Jakob, V., Harlfinger, S., Klaassen, T., Berkessel, A., Angerer, J., Sörgel, F. y Schömig, E. (2006). Toxicokinetics of acrylamide in humans after ingestion of a defined dose in a test meal to improve risk assessment for acrylamide carcinogenicity. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, 15 (2), pp: 266-271.
- FSA (2017). Food Standards Agency. Campaña "Go for Gold". Disponible en: <https://www.food.gov.uk/science/research/chemical-safety-research/env-cont/fs102081> [acceso: 12-09-17].
- Gertz, C. y Klostermann, S. (2002). Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 104, pp: 762-771.
- Gökmen, V. y Senyuva, H.Z. (2006). Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat our and potato chips during heating. *Food Chemistry*, 99, pp: 238-243.
- Gökmen, V. y Palazoglu, T.K. (2009). Measurement of evaporated acrylamide during frying of potatoes: Effect of frying conditions and surface area-to-volume ratio. *Journal of Food Engineering*, 93, pp: 172-176.
- Gökmen, V. y Mogol, B.A. (2010). Computer vision-based image analysis for rapid detection of acrylamide in heated foods. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2, pp: 203-207.
- Haase, U.N., Matthaus, B. y Vosmann, K. (2003). Acrylamide formation in foodstuffs-Minimising strategies for potato crisps. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 99 (3), pp: 87-90.
- HEATOX (2007). Heat-generated food toxicants: Identification, characterisation and risk minimisation. Lund, Sweden: Lund University. Disponible en: <http://heattox.org/> [acceso: 12-09-17].
- Hertog, M.L.A.T., Putz, B. y Tijskens, L.M.M. (1997). The effect of harvest time on the accumulation of reducing sugars during storage of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers: Experimental data described, using a physiological based, mathematical model. *Potato Reserach*, 40, pp: 69-78.
- Hui-Tsung, H., Ming-Jen, C., Tzu-Ping, T., Li-Hsin, C., Li-Jen, H. y Tai-Sheng, Y. (2016). Kinetics for the distribution of acrylamide in French fries, fried oil and vapour during frying of potatoes. *Food Chemistry*, 211, pp: 669-678.
- INIA (2017). Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Métodos de valoración para las patatas. Disponible en: <http://www.sp.inia.es/Investigacion/OtrasUni/DTEVPF/Unidades/CentrosEnsayo/EstacionEnsayos/Documents/M%C3%A9todospatata.pdf> [acceso: 12-09-17].
- INFOSAN (2005). International Food Safety Authorities Nota de información Acrilamida. Disponible en: <http://www.acrylamide-food.org/> [acceso: 12-09-17].

- Jin, C., Wu, X. y Zhang, Y. (2013). Relationship between antioxidants and acrylamide formation: a review. *Food Research International*, 51, pp: 611-620.
- Jung, M.Y., Choi, D.S. y Ju, J.W. (2003). A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in french fries. *Journal of Food Science*, 68, pp: 1287-1290.
- Kalita, D., Holm, D.G. y Jayanty, S. (2013). Role of polyphenols in acrylamide formation in the fried products of potato tubers with colored flesh. *Food Research International*, 54, pp: 753-759.
- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C. y Safari, M. (2011). Acrylamide in Baking Products: A Review Article. *Food and Bioprocess Technology*, 4, pp: 530-543.
- Kita, A., Brathen, E., Knutsen, S.H. y Wicklund, T. (2004). Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (23), pp: 7011-7016.
- Knutsen, S.H., Dimitrijevic, S., Molteberg, E.L., Segtnan, V.H., Kaaber, L. y Wicklund, T. (2009). The influence of variety, agronomical factors and storage on the potential for acrylamide formation in potatoes grown in Norway. *LWT-Food Science and Technology*, 42, pp: 550-556.
- Kotsiou, K., Tasioula-Margari, M., Kukurov, K. y Ciesarov, Z. (2010). Impact of oregano and virgin olive oil phenolic compounds on acrylamide content in a model system and fresh potatoes. *Food Chemistry*, 123, pp: 1149-1155.
- Low, M.Y., Koutsidis, G., Parker, J.K., Elmore, J.S., Dodson, A.T. y Mottram, D.S. (2006). Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp: 5976-5983.
- Marchettini, N., Focardi, S., Guarnieri, M., Guerranti, C. y Perra, G. (2013). Determination of acrylamide in local and commercial cultivar of potatoes from biological farm. *Food Chemistry*, 136, pp: 1426-1428.
- Masson, L., Romero, N., Castro, J., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Muñoz, J., y Robert, P. (2006). Informe de avance Proyecto HEATOX 506820. Graz, Austria.
- Medeiros, R., Mestdagh, F., De Muer, N., Van Peteghem, C. y De Meulenaer, B. (2010). Effective quality control of incoming potatoes as an acrylamide mitigation strategy for the french fries industry. *Food Additives and Contaminants Part A. Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 27, pp: 417-425.
- Medeiros, R., Mestdagh, F. y De Meulenaer, B. (2012). Acrylamide formation in fried potato products. Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, 133, pp: 1138-1154.
- Mesías, M. y Morales, F.J. (2015). Acrylamide in commercial potato crisps from Spanish market: Trends from 2004 to 2014 and assessment of the dietary exposure. *Food and Chemical Toxicology*, 81, pp: 104-110.
- Mesías, M., Holgado, F., Márquez-Ruiz, G. y Morales, F.J. (2017). Impact of the characteristics of fresh potatoes available in-retail on exposure to acrylamide: Case study for French fries. *Food Control*, 73, Part B, pp: 1407-1414.
- Mestdagh, F., De Meulenaer, B. y Van Peteghem, C. (2007). Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in french fries. *Food Chemistry*, 100, pp: 1153-1159.
- Mestdagh, E., Wilde T.D., Castelein, P., Nemeth, O., Van Peteghem, C. y Meulenaer, B. (2008a). Impact of the reducing sugars on the relationship between acrylamide and Maillard browning in French fries. *European Food Research and Technology*, 227, pp: 69-76.
- Mestdagh, F., De Wilde, T., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroot, J.M., et al. (2008b). Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *Lwt-Food Science and Technology*, 41, pp: 1648-1654.
- Mojska, H., Gielecinska, I. y Szponar, L. (2007). Acrylamide content in heat-treated carbohydrate-rich foods in Poland. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 58 (1), pp: 345-349.
- Morales, G., Jiménez, M., García, O., Mendoza, M.R. y Beristain, C.I. (2014). Effect of natural extracts on the formation of acrylamide in fried potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, 58, pp: 587-593.
- Mottram, D.S., Wedzicha, B.L. y Dodson, A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419 (6906), pp: 448-449.
- Mulla, M.Z., Bharadwaj, V.R., Annature, U.S. y Singhal, R.S. (2011). Effect of formulation and processing param-

- eters on acrylamide formation: A case study on extrusion of blends of potato flour and semolina. *LWT-Food Science and Technology*, 44 (7), pp: 1643-1648.
- Napolitano, A., Morales, F., Sacchi, R. y Fogliano, V. (2008). Relationship between virgin olive oil phenolic compounds and acrylamide formation in fried crisps. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 56, pp: 2034-2040.
- Olsson, K., Svensson, R. y Roslund, C. (2004). Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: variation by variety, year, storage temperature and storage time. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 84, pp: 447-458.
- Olsson, K., Svensson, R. y Roslund, C.A. (2005). Variation in tuber components affecting acrylamide formation and color in fried potato. *Acta Horticulturae*, 684, pp: 159-164.
- Palazoğlu, T.K, Savran, D. y Gökmen, V.J. (2010). Effect of cooking method (baking compared with frying) on acrylamide level of potato chips. *Food Science*, 75 (1), pp: E25-E29.
- Palermo, M., Gökmen, V., De Meulenaer, B., Ciesarová, Z., Zhang, Y., Pedreschi, F. y Fogliano, V. (2016). Acrylamide mitigation strategies: critical appraisal of the Food Drink Europe toolbox. *Food & Function*, 7, pp: 2516-2525.
- Pedreschi, F., Kaack, K. y Granby, K. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *LWT-Food Science and Technology*, 37 (6), pp: 679-685.
- Pedreschi, F., Moyano, P., Kaack, K. y Granby, K. (2005). Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*, 38, pp: 1-9.
- Pedreschi, F., Kaack, K. y Granby, K. (2006). Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Research International*, 39, pp: 40-46.
- Pedreschi, F. (2007). The canon potato science: 49. Acrylamide. *Potato Research*, 50, pp: 411-413.
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R. y Kaack, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips. *Journal of Food Engineering*, 79, pp: 786-793.
- Pedreschi, F., Travisany, X., Reyes, C., Troncoso, E. y Pedreschi, R. (2009). Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. *Journal of Food Engineering*, 91, pp: 443-447.
- Pinhero, R., Pazhekattu, R., Kyly, W., Marangoni, A.G., Liu, Q. y Yada, R.Y. (2012). Effect of genetic modification and storage on the physico-chemical properties of potato dry matter and acrylamide content of potato chips. *Food Research International*, 49, pp: 7-14.
- Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P. y Rosa, M.D. (2008). Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *European Food Research and Technology*, 226 (3), pp: 555-560.
- Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P. y Rosa, M.D. (2009). Influence of frying conditions on acrylamide content and other quality characteristics of French fries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, pp: 582-588.
- Sadd, P. y Hamlet, C. (2005). The formation of acrylamide in UK cereal products. *Advances in experimental medicine and biology*, 561, pp: 415-429.
- Sanny, M., Luning, P.A., Marcelis, W.J., Jinap, S. y Van Boekel, M.A.J.S. (2010). Impact of control behaviour on unacceptable variation in acrylamide in French fries. *Trends in Food Science and Technology*, 21 (5), pp: 256-267.
- Skog, K., Viklund, G., Olsson, K. y Sjöholm, I. (2008). Acrylamide in home-prepared roasted potatoes. *Molecular Nutrition and Food Research*, 52 (3), pp: 307-312.
- Sowokinos, J.R. (2001). Biochemical and molecular control of cold-induced sweetening in potatoes. *American Journal of Potato Research*, 78, pp: 221-236.
- Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J. y Guy, P.A. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419, pp: 449-450.
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S. y Tornqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (17), pp: 4998-5006.
- Torres, M.D.A. y Parreño, W.C. (2009). Thermal processing and quality optimization. En libro: *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Singh, J. y Kaur, L. Elsevier Ed., pp: 163-219.

- Tuta, S., Palazoğlu, T. y Gökmen, V. (2010). Effect of microwave pre-thawing of frozen potato strips on acrylamide level and quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 97, pp: 261-266.
- UE (2010). Recomendación de la Comisión de 2 de junio de 2010, relativa al control de los niveles de acrilamida en los alimentos (2010/307/UE). DO L 137 de 3 de junio de 2011, pp: 4-10.
- UE (2011). Reglamento (UE) N° 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. DO L 304 de 22 de noviembre de 2011, pp: 1-72.
- UE (2013). Recomendación de la Comisión de 8 de noviembre de 2013, relativa a la investigación de los niveles de acrilamida en los alimentos (2013/647/UE). DO L 301 de 12 de noviembre de 2013, pp: 15-17.
- UE (2017). Proyecto de Reglamento (UE) de la Comisión, por el que se establecen medidas de mitigación y niveles de referencia para reducir la presencia de acrilamida en los alimentos. SANTE/11059/2016 Rev.2.
- Urbančič, S., Kolar, M.H., Dimitrijevic, D., Demsar, L. y Vidrih, R. (2014). Stabilisation of sun ower oil and reduction of acrylamide formation of potato with rosemary extract during deep-fat frying. *LWT–Food Science and Technology*, 57, pp: 671-678.
- Viklund, G., Mendoza, F., Sjöholm, I. y Skog, K. (2007). An experimental set-up for studying acrylamide formation in potato crisps. *LWT-Food Science and Technology*, 40, pp: 1066-1071.
- Viklund, G., Olsson, K., Sjöholm, I. y Skog, K. (2008). Variety and storage conditions affect the precursor content and amount of acrylamide in potato crisps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, pp: 305-312.
- Viklund, G.A.I., Olsson, K.M., Sjöholm, I.M. y Skog, K.I. (2010). Acrylamide in crisps: effect of blanching studied on long-term stored potato clones. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, pp: 194-198.
- Williams, J. (2005). Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chemistry*, 90, pp: 875-881.
- Yang, Y., Achaerandio, I. y Pujolà, M. (2016). Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries. *Food Control*, 62, pp: 216-223.
- Yasuhara, A., Tanaka, Y., Hengel, M, y Shibamoto, T. (2003). Gas chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 51 (14), pp: 3999-4000.