

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

## **Departamento de Tecnología de Alimentos**



### **EL PAPEL DEL CONSUMIDOR EN LA EXPOSICIÓN AL RIESGO POR LA PRESENCIA DE ACRILAMIDA EN LAS PATATAS FRITAS**

**MÁSTER EN GESTIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA**

**Presentada por:**

**María José Sáez Garrido**

**Dirigida por:**

**Dra. Eva Doménech Antich**

**Codirigida por:**

**Dra. Isabel Escriche Roberto**

**Valencia, Julio 2012**

# EL PAPEL DEL CONSUMIDOR EN LA EXPOSICION AL RIESGO POR LA PRESENCIA DE ACRILAMIDA EN LAS PATATAS FRITAS

Sáez Garrido, María José, Doménech Antich, Eva <sup>(1)</sup>, Escriche Roberto, I. <sup>(1)</sup>

## RESUMEN

En Abril del 2002, la EFSA añadió a la lista de tóxicos alimentarios la acrilamida, sustancia catalogada como probable carcinógeno. Esta sustancia se forma a partir de la Reacción de Maillard entre los azúcares reductores y el aminoácido asparagina encontrados en alimentos ricos en carbohidratos cuando se someten a un tratamiento térmico en condiciones de baja humedad. Las patatas fritas son uno de los alimentos de riesgo. En los últimos años, los estudios se han dirigido a analizar cuáles son los factores que más influyen en la formación y como determinadas operaciones pueden reducir este peligro. El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar el papel del consumidor en la exposición al riesgo por el consumo de acrilamida procedente del consumo de patatas fritas, y de cómo este riesgo puede variar en función de los hábitos de preparación previos a la fritura. Con esta finalidad, el primer paso fue realizar una pequeña encuesta con el fin de conocer cuáles son las practicas normales de manejo de este producto por parte de los consumidores. En segundo lugar se plantearon cuatro escenarios distintos para comprobar el efecto individual y el combinado, para ello se realizo una simulación por el método de Montecarlo. Los resultados obtenidos muestran que el escaldado es el pretratamiento más efectivo. Por otra parte, la simulación mostró en el escenario más desfavorable una posible formación de 0.106 y 0.264 µg/kg peso corporal y día para hombres y mujeres respectivamente, estos valores estarían dentro de los límites FAO/WHO, no obstante, solo se ha considerado el consumo de un tipo de producto.

Este trabajo constituye el primer paso en la estimación al riesgo y de análisis de posibles medidas de gestión a aplicar en los hogares. No obstante, en un futuro, con la finalidad de particularizar mas el riesgo al que está expuesto el consumidor, habrá que añadir información sobre el consumo combinado de productos que contengan acrilamida, cantidad ingerida, grupo de edad y peso de las personas.

Palabras clave: Acrilamida, seguridad alimentaria, consumidor, azúcares reductores, fritura, epidemiología, chips de patata.

## RESUM

A l'abril del 2002, l'EFSA va afegir a la llista de tòxics alimentaris l'acrilamida, substància catalogada com a probable carcinogen. Aquesta substància es forma a partir de la Reacció de Maillard entre els sucres reductors i l'aminoàcid asparagina trobats en aliments rics en carbohidrats quan se sotmeten a un tractament tèrmic en condicions de baixa humitat. Les creïlles fregides són un dels aliments de risc. En els últims anys, els

---

<sup>(1)</sup> Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD), Departamento de Tecnología de Alimentos (DTA). Universidad Politécnica de Valencia, España.

estudis s'han dirigit a analitzar quins són els factors que més influeixen en la formació i com determinades operacions poden reduir aquest perill. L'objectiu d'aquest treball ha sigut estudiar el paper del consumidor en l'exposició al risc pel consum d'acrilamida procedent del consum de creïlles fregides, i de com aquest risc pot variar en funció dels hàbits de preparació previs al fregit. Amb aquesta finalitat, el primer pas va ser realitzar una xicoteta enquesta per tal de conèixer quines són les pràctiques normals de maneig d'aquest producte per part dels consumidors. En segon lloc es van plantejar quatre escenaris diferents per comprovar l'efecte individual i el combinat, per a això es va realitzar una simulació pel mètode de Montecarlo. Els resultats obtinguts mostren que l'escaldat és el pretractament més efectiu. D'altra banda, la simulació va mostrar en l'escenari més desfavorable una possible formació de 0.106 i 0.264 µg/kg pes corporal i dia per a homes i dones respectivament, aquests valors estarien dins dels límits FAO/WHO, però, només s'ha considerat el consum d'un tipus de producte.

Aquest treball constitueix el primer pas en l'estimació al risc i d'anàlisi de possibles mesures de gestió que cal aplicar a les llars. No obstant això, en un futur, amb la finalitat de particularitzar més el risc a què està exposat el consumidor, caldrà afegir informació sobre el consum combinat de productes que tinguen acrilamida, quantitat ingerida, grup d'edat i pes de les persones. Paraules clau: Acrilamida, seguretat alimentària, consumidor, sucres reductors, fregit, epidemiologia, xips de creïlla.

#### **ABSTRACT**

In April 2002, EFSA added to the list of toxic food acrylamide, a substance classified as a probable carcinogen. This substance is formed from the Maillard reaction between the reducing sugars and the amino acid asparagine found in foods rich in carbohydrates when subjected to heat treatment under conditions in low humidity. The fries are a food risk. In recent years, studies have focused on analyzing the factors that influence the formation and as certain operations can reduce this risk. The aim of this study is to investigate the role of consumer exposure to risk from acrylamide by the consumption of chips, and how this risk may vary according to preparation habits before frying. To this end, the first step was to conduct a small survey to know what the normal practice of using this product by consumers. Secondly propose of four different scenarios to test the individual and combined effect, for it was performed a simulation by the Monte Carlo method. The results show that blanching is the most effective pretreatment. Moreover, the simulation showed in the worst scenario possible formation of 0,106 and 0,264 µg/kg bw/day for men and women respectively, these values would be within the limits FAO/WHO, however, is only considered consumption of a product type.

This work constitutes the first step in estimating the risk analysis and possible management measures to be applied at home. However, in the future, in order to particularize more risk you are exposed to the consumer, will have to add information about the combined use of products containing acrylamide, amount consumed, age and weight of people.

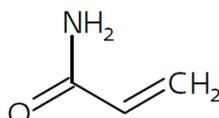
Keywords: Acrylamide, food safety, consumer, reducing sugars, frying, epidemiology, potato chips.

## 1. INTRODUCCIÓN

### La acrilamida y su formación química

En Abril de 2002, la Administración Nacional de Alimentos Sueca (SNFA) junto con la Universidad de Estocolmo (WHO 2002), añadieron una nueva sustancia en la lista de tóxicos con potencial carcinógeno (SCF, 2002): la acrilamida.

La acrilamida ( $\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2$ ) es una molécula reactiva, soluble en agua y en disolventes polares, tales como acetona, metanol y etanol. Es una sustancia sólida inodora, de color blanco cristalino con un punto de fusión de  $84,5\text{ }^\circ\text{C}$  y una masa molecular de 71,08. La estructura química de la acrilamida se muestra en la Figura 1 (Knol, 2008).



**FIGURA 1.** Estructura química de la acrilamida.

La acrilamida se forma en los alimentos ricos en carbohidratos a temperaturas superiores a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  mediante la reacción de Maillard entre el aminoácido asparagina y azúcares reductores, precursores de la reacción de la formación de acrilamida en productos con baja humedad (Koutsidis, et al., 2007; De Vleeschouwer, 2009). De hecho, el esqueleto carbonílico de la acrilamida procede de la asparagina, pero se necesita de la presencia del azúcar para que se produzca la transformación (De Vleeschouwer, 2009).

En 2007, Koutsidis, et al. propusieron otras rutas de formación, mediante la vía acroleína, ácido acrílico o 3-aminopropionamida. Aunque la reacción de Maillard se considera el principal mecanismo de reacción para la formación de acrilamida en alimentos. Mediante la reacción de Maillard se forman sustancias que inciden en la calidad de los alimentos formando color, sabor o aroma característico. La formación de acrilamida implica la reacción de un compuesto carbonílico con la asparagina resultando el N-glicosil conjugado y la base de Schiff. A partir de aquí, se dan a cabo una serie de reacciones con diferentes productos intermedios altamente reactivos formando la acrilamida (Medeiros Vinci, et al., 2012).

La fase de retraso es aquella en la que la formación de acrilamida es insignificante, aunque se le aplique un tratamiento térmico. Cuando la superficie del producto es baja (tipo chips) y se usan tiempos cortos de fritura, por ejemplo, 20 segundos a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  la formación de acrilamida es muy elevada. En productos de mayor superficie (tipo tira de patata) este tiempo es de aproximadamente 10 minutos, formándose la acrilamida a temperaturas superiores de los  $140\text{ }^\circ\text{C}$ . La eliminación de acrilamida solo es

relevante cuando las temperaturas de fritura son muy elevadas, no a las que se suele freír (Alvarez y Morillo, 2000).

Esta sustancia puede aparecer en alimentos a base de patatas (patatas fritas y chips de patata), café y pan que han sido sometidos a altos tratamientos térmicos de fritura u horneado, por el contrario, las concentraciones de acrilamida son nulas en alimentos crudos y hervidos (Claeys, et al., 2005). También se puede encontrar en otros productos, tales como: galletas, sucedáneos de café, cereales de desayuno, alimentos para bebés a base de cereales, potitos y otros productos (EFSA, 2009).

La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) la clasifica en el grupo 2A o probable carcinógeno (basado en resultados positivos con bioensayos en roedores) (SCF, 2002). Además de ser neurotóxica, también puede dar problemas de fertilidad (observado en ratas machos, debido a efectos sobre el conteo y movilidad del espermatozoide), esto también es observado en sistemas modelo experimentales *in vivo* e *in vitro* (Erdreich y Friedman, 2004). La posible carcinogenicidad y genotoxicidad se debe especialmente a la glicidamida, su metabolito epóxido, que podría ser formada en los alimentos procesados (WHO 2002), lo cual, da lugar a una gran preocupación.

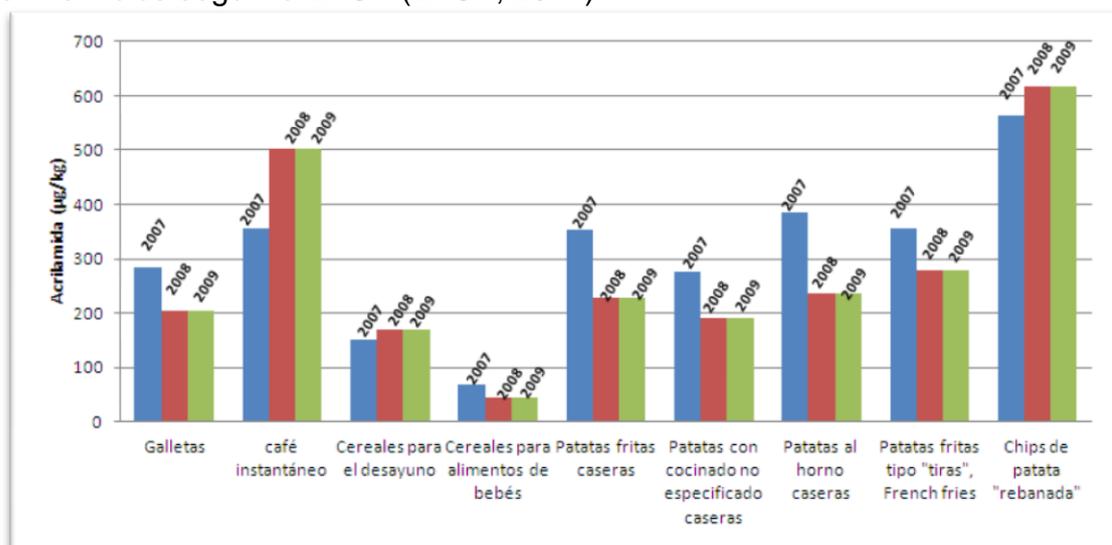
A partir de ese momento, se iniciaron investigaciones por parte de las autoridades nacionales, la industria de alimentos e institutos de investigación para encontrar formas de controlar y reducir al mínimo la formación de acrilamida y evaluar los riesgos potenciales para la salud de la acrilamida en la dieta con la participación de la FAO, la OMS, y un Comité Científico sobre Alimentos para investigar la formación, la ingesta y la toxicidad de la acrilamida en alimentos.

En 2006, la Confederación de Industrias de Alimentos y Bebidas de la UE (CIAA) inició la confección de una base de datos común, denominada Caja de Herramientas (toolbox) en la que se van añadiendo todos los trabajos e investigaciones relacionados con la formación y reducción de esta sustancia, con la finalidad de avanzar más rápido sobre su estudio y control. (Codex Alimentarius Commission, 2009). Entre la información que se recoge, se encuentran los datos sobre los niveles de acrilamida en alimentos durante un periodo de 3 años (2007-2009) en toda la Comunidad Europea. No obstante, en 2009, la EFSA realizó un informe en el que se concluyó que era necesario seguir trabajando, que los resultados no eran tan buenos como los deseados, aunque sí se había observado una tendencia a la baja de los valores de acrilamida en 2008 respecto a 2007 en algunos productos (EFSA, 2009), tal como se muestra en la Tabla 1.

Según los datos de la EFSA del 2011, para los países europeos, el rango de ingesta media de acrilamida en la dieta (para adultos mayores de 18 años) es de 0.31-1.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día y el percentil 95 se encuentra entre 0.58-2.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día, para este grupo de edad los alimentos que más contribuyen a su exposición son: patatas fritas, pan y café tostado. En el caso de los adolescentes (11-17 años), el rango de ingesta media de acrilamida es de 0.43-1.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día y el percentil 95 se encuentra entre 0.94-3.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día, siendo los alimentos que más contribuyen a su exposición: patatas fritas, pan, galletas

y chips de patata (aperitivos). En niños (3-10 años), la ingesta media de acrilamida se encuentra en un rango de entre 0.7-2.05  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día y el percentil 95 se encuentra entre 1.5-4.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , peso corporal/día. En niños pequeños (1-3 años) la ingesta media de acrilamida se encuentra en un rango de entre 1.2-2.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día y el percentil 95 se encuentra entre 2.4-6.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día. En el caso de los niños los alimentos que más contribuyen a la exposición de acrilamida son: las patatas fritas, el pan y las galletas (EFSA, 2011).

**TABLA 1.** Niveles de Acrilamida ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) en diferentes productos alimenticios según la EFSA (EFSA, 2011).



La organización mundial de la salud estima un rango de entre 1 y 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día, correspondiéndose a cinco órdenes de magnitud inferior a cuando aparecen los efectos tóxicos (WHO 2002).

### Factores que afectan a la formación de acrilamida en patatas fritas.

La composición de la patata y las variables del proceso son los principales factores que intervienen en la formación de la acrilamida (Masson, et al., 2007). La patata aporta los precursores (azúcares reductores y asparagina) que a su vez dependen de la variedad de la patata, las condiciones del suelo, el periodo de cosecha o las condiciones de almacenamiento post-cosecha (temperatura y tiempo) (Low, et al., 2006). También influyen otros factores como el pH, el ratio área-volumen, la actividad de agua, la capilaridad o la porosidad de la patata.

Las variables del proceso a considerar son, básicamente, la temperatura del aceite de fritura y el tiempo (Masson, et al., 2007), aunque los tratamientos prefritura como el remojo, escaldado, tratamiento con asparaginasa, precocido o acidificación también influyen en la formación de la acrilamida.

El tipo de patata también es importante, entre las variedades que se estudian para ver cómo se comporta la formación de acrilamida son: Saturna (bajos contenidos en azúcares reductores), Hulda (altos niveles asparagina) y SW 91 102 (bajos niveles de asparagina). Los precursores varían entre variedades, pero también, entre patatas de la misma especie (Viklund, et al., 2010).

Disminuyendo los azúcares reductores antes de la fritura, se disminuirá la concentración de acrilamida, sin embargo, los azúcares son necesarios para conseguir cualidades organolépticas. Se pueden elegir variedades de patata seleccionadas con menor contenido en azúcares reductores. Por ejemplo, la variedad Bintje tiene un elevado contenido en azúcar (Koutsdis, et al., 2007).

Aunque el tipo de azúcar (glucosa, fructosa y sacarosa) unido a la asparagina no tiene ningún efecto considerable en los parámetros cinéticos (energía de activación para la formación y eliminación de acrilamida) que describen la reacción de formación de acrilamida, la fase de retardo es mayor en la sacarosa que en los monosacáridos porque debe efectuar la hidrólisis. En condiciones de humedad, ocurre que la glucosa es más reactiva químicamente que la fructosa. En cambio, en condiciones de baja humedad, se producen cambios de fusión. El comportamiento de fusión de los precursores determina la formación de acrilamida, la fructosa (cetosa) con bajo punto de fusión es más reactiva que la glucosa (aldosa) (De Vleeschouwer, 2009). Por tanto, es interesante reducir la concentración de azúcares antes del calentamiento, por ejemplo, controlando el almacenamiento.

Según Koutsdis, et al., 2007 a temperaturas más bajas de almacenamiento hay más cantidad de azúcares reductores ya que se produce un mecanismo de protección para la patata en respuesta a las temperaturas frías.

Durante la brotación se produce la hidrólisis del almidón, después del almacenamiento prolongado disminuye el poder de hinchazón del almidón y cambia su tamaño, el tamaño es menor a temperaturas más bajas de almacenamiento (Viklund, et al., 2010).

Según Medeiros Vinci, et al., 2012 en las primeras 8 semanas de almacenamiento no difiere la formación de acrilamida entre distintas temperaturas de almacenamiento y variedades de patata. Aunque, en la industria, el almacenamiento se prolonga más tiempo y a partir de la semana 8, la cantidad de acrilamida aumenta significativamente y difieren entre variedades y temperatura de almacenamiento. El almacenamiento de las patatas por debajo de 8 °C puede aumentar los niveles de azúcares reductores (Koutsdis, et al., 2007). Por lo que se debe evitar condiciones frías de almacenamiento, de hecho, a 8 °C sin escaldado se produce la misma concentración de acrilamida que a 4 °C cuando posteriormente se hace un escaldado (Viklund, et al., 2010). Estas prácticas, las puede realizar el consumidor pero, a nivel industrial existe un problema del almacenamiento a largo plazo y poder mantener el abastecimiento de patata, ya que las condiciones deben evitar la brotación, y esto, se consigue con temperaturas frías o utilizando tratamientos químicos supresores de la brotación, aunque su uso no siempre es el deseado por el consumidor y algunos no están

permitidos (Koutsdis, et al., 2007). Cuando se almacena a temperaturas más elevadas (8°C), la patatas se tratan con un inhibidor CIPC que baja el metabolismo de los carbohidratos, en este caso, a medida que aumenta el tiempo se va reduciendo la concentración de acrilamida, la temperatura de almacenamiento no afecta al contenido de asparagina (Viklund, et al., 2010). La cantidad de asparagina solo se ve influenciada por las condiciones de cultivo, según los fertilizantes añadidos (Cummins, et al., 2008).

La acrilamida se forma cuando el contenido de humedad del alimento se reduce durante la cocción, el agua presente en el producto a freír actúa como inhibidor de acrilamida, por lo que, la relación entre el agua, la temperatura del aceite de fritura y la temperatura interna de la patata durante la fritura es relevante. La evaluación de los efectos de la humedad en la cinética de formación presenta dificultades porque los parámetros humedad-tiempo-temperatura durante el cocinado no han sido caracterizados (Koutsdis, et al., 2007).

Algunos pretratamientos pueden reducir la formación de acrilamida. Después de cortar las patatas, se pueden reducir azúcares, mediante el remojo de la patata en agua destilada reduciendo la concentración de acrilamida hasta un 24.9% (Jung, et. Al., 2003). Otros autores indican que no se produce reducción de acrilamida simplemente con el lavado (Williams, 2005). En cuanto a la asparagina no se ve afectada por el remojo.

Existen más precursores de acrilamida en aquellas muestras de mayor ratio área-volumen, ya que, se expone la superficie a temperaturas superiores (aumentando la concentración de acrilamida) y el volumen total se calienta más rápido. Pero, si se hace un pretratamiento, como el escaldado en el caso de las patatas en forma de rebanadas tienen menor concentración de acrilamida frente a las patatas fritas tipo palitos, ya que se extraen más azúcares durante el escaldado. Esto, es debido a la mayor lixiviación de azúcares en aquellas muestras que tienen mayor superficie de contacto. Según Mestdagh, et al., 2008, en el caso de las patatas tipo tiras, durante el escaldado se reduce hasta el 67% de los azúcares reductores y esto hace que se reduzca la formación de acrilamida en un 65%, pero en el caso de las patatas en forma de rebanada o tipo chips la reducción de los azúcares reductores durante el escaldado asciende al 86% y la formación de acrilamida se reduce en un 86% después de la fritura.

La reducción del pH bloquea la reacción de formación de acrilamida, ya que, mediante la acidificación, se produce el cambio de la amina no protonada a amina protonada, aunque no excluye otros posibles mecanismos de formación. Sin embargo, puede causar problemas de sabor ácido si el procedimiento que se sigue no es adecuado. Sumergiendo la tira de patata en agua destilada acidificada con un 1% de ácido cítrico durante una hora (pH 5.2) se reduce un 73.1%, si se aumenta hasta un 2% de ácido cítrico durante el mismo tiempo (pH 4.9) se reduce la formación de acrilamida 79.7%. El problema es que la inmersión con un 2% de ácido cítrico muestra diferencias significativas en cuanto al sabor y textura respecto a las muestras sin inmersión. Con el 1% de ácido cítrico no existen estas diferencias por lo que se le considera el nivel límite para el pretratamiento (Jung, et. Al., 2003). Otros autores, también afirman que un

inconveniente de la inmersión de productos alimenticios en una solución de ácido cítrico es el posible cambio en el color y la textura si no se sigue un procedimiento preciso (Koutsdis, et al., 2007). Otras formas de reducir el pH (que favorecerá la reducción de la formación de acrilamida) es mediante el uso de ácidos orgánicos o por la fermentación del ácido láctico (Anese, et al., 2009). Se puede reducir hasta un 86% la formación de acrilamida mediante la fermentación con ácido láctico durante 120 minutos consiguiendo un pH 5.7 y sin mostrar diferencias organolépticas (no afecta a la acidez perceptible en el producto final), aunque existen diferencias en cuanto al color deseado para las patatas fritas (Baardseth, 2006). Además, el pretratamiento de fermentación del ácido láctico en presencia de glicina da como resultado concentraciones de acrilamida significativamente menores, aunque a nivel productivo se precisa de una adecuada gestión biotecnológica, con este pretratamiento se consigue un color más intenso (apreciado sensorialmente) que la fermentación realizada sin glicina (Medeiros Vinci, et al., 2012).

La adición de aminoácidos, como la glicina, puede ayudar a mitigar la formación de acrilamida, debido a, que compiten con la asparagina y forman otros compuestos (Koutsdis, et al., 2007). Los efectos de tratamientos combinados de acidificación mediante ácido cítrico y de adición de glicina o de proteína de soja hidrolizada reducen los niveles de acrilamida en los sistemas modelo (Koutsdis, et al., 2007).

Las medidas para reducir la cantidad de acrilamida en el producto final incluyen el cambio en las recetas y formulaciones que actualmente se están investigando (la adición de proteínas, aminoácidos y acidulantes, iones de calcio, ciclodextrina, antioxidantes naturales y extractos de antioxidante, sustitución de azúcares reductores con sacarosa y de bicarbonato de amonio por bicarbonato de sodio) o cambiar las condiciones del proceso (cambio de tiempo-temperatura). Una herramienta para controlar el contenido de acrilamida en los alimentos tratados con calor es la adición de la enzima asparaginasa. El uso de esta enzima es una opción para interrumpir la interacción de asparagina con los azúcares reductores (Medeiros Vinci, et al., 2012, Capuano y Fogliano, 2011).

El escaldado reduce significativamente el contenido de precursores, además mediante este pretratamiento se mejora la textura y se reduce la absorción de grasa debido a la gelatinización del almidón parcial, obteniendo un color más uniforme después de la fritura e inactivando enzimas. En cambio, si se recicla el agua de escaldado disminuye la eficiencia hasta un 10%, ya que, el agua reutilizada tendrá mayor concentración en azúcares solubles (Mestdagh, et al., 2008), por lo que no se recomienda el reutilizado del agua, esta práctica no es habitual a nivel doméstico pero si puede serlo a nivel industrial.

Es importante determinar la temperatura mas adecuada de escaldado. La alta temperatura durante un corto periodo de tiempo llega a conseguir una mayor extracción de azúcares, que si se emplea mas tiempo a baja temperatura (Mestdagh, et al., 2008). Cuando se escaldan a 80 °C ( $\pm$ 1) durante 3 minutos (100 g de patata/10 L de agua), el escaldado reduce del

51-73% de acrilamida y entre un 17-66% los precursores (Viklund, et al., 2010).

Por otro lado, la acrilamida se forma también en cantidades considerables durante la fritura de los chips fabricados, donde los tiempos de fritura están por debajo de los 60 segundos. Los altos niveles de acrilamida derivados de tiempos cortos de cocción se explica desde otro punto de vista, ya que, durante la fritura, en los productos con bajo contenido de agua inicial y de forma delgada, la temperatura aumenta rápidamente (hasta los 120 °C) después de la inmersión en el aceite caliente, donde comienza la formación de acrilamida a partir de los 20 segundos como máximo (Koutsdis, et al., 2007). Para los chips de patata, la fritura se realiza a una temperatura inicial de 180 °C bajando hasta 160 °C durante 3 minutos (90 g patata/4 l de aceite) (Viklund, et al., 2010). A partir de 180 °C la acrilamida empieza a eliminarse, ya que, se va degradando la glucosa y la asparagina. Entre los 180 °C y 200 °C y durante 9 y 5 minutos respectivamente la pérdida de glucosa es completa (aunque se forma la fructosa a partir de la glucosa), la asparagina necesita entre 30 y 9 minutos para 180 y 200 °C respectivamente, para que sea eliminada, igual que la fructosa. La concentración mayor de acrilamida se produce sobre este rango de temperaturas porque se corresponde cuando la glucosa y fructosa llegan a 0, aunque aún quede algo de Asparagina, esto explica que el aminoácido sin la fuente de carbonilo no puede formar la acrilamida (Knol, 2008).

En cuanto al aceite de fritura no parece influir excesivamente en el contenido final de acrilamida, aunque si se han visto diferencias cuando este aceite se reutiliza. Un estudio de Masson et al., 2007, obtuvo diferencias cuando el aceite para freír patatas tipo chips se usaba 10 veces a 150 °C si se comparaba con otro producto frito en aceite no reutilizado.

Aunque su impacto sobre las prácticas de fabricación y calidad de los alimentos aún no se ha establecido claramente, la técnica de vacío permite trabajar en condiciones bajas de temperatura sin afectar las propiedades sensoriales y nutricionales (Capuano y Fogliano, 2011), la comisión europea en 2003 recomendó no usar este método, ya que, aumentaba la permeabilidad del producto debido a la eliminación del agua, lo que aumenta potencialmente la formación de acrilamida. Aunque estudios posteriores contradicen la recomendación de la comisión, evidenciando una reducción, ya que, se usan temperaturas más bajas y tiempos cortos de cocinado posteriores (Tuta, et al, 2011).

Teniendo en cuenta todos estos factores, y que las distintas condiciones modifican los valores de acrilamida, el objetivo del trabajo es estudiar el papel del consumidor de cara a la reducción del riesgo al que está expuesto por el consumo de patatas fritas, teniendo en consideración distintos hábitos de cocinado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Escenarios

En este trabajo se han considerado cuatro escenarios, con diferentes combinaciones de tratamientos que se realizan con anterioridad a la fritura, Tabla 2.

**TABLA 2.** Escenarios

| Escenarios | Lavado | Escaldado | Fritura |
|------------|--------|-----------|---------|
| 1          | X      | X         | X       |
| 2          | X      |           | X       |
| 3          |        | X         | X       |
| 4          |        |           | X       |

En el escenario 1 se realiza con la finalidad de ver el efecto de la combinación de etapas de lavado y escaldado. El escenario 2 pretende estudiar el efecto individual del lavado. En el escenario 3 se quiere comprobar el efecto del escaldado, y por último en el escenario 4 solo se fríen las patatas, ni se lavan ni se escaldan, siendo la practica más habitual en los hogares.

### 2.2. Encuesta

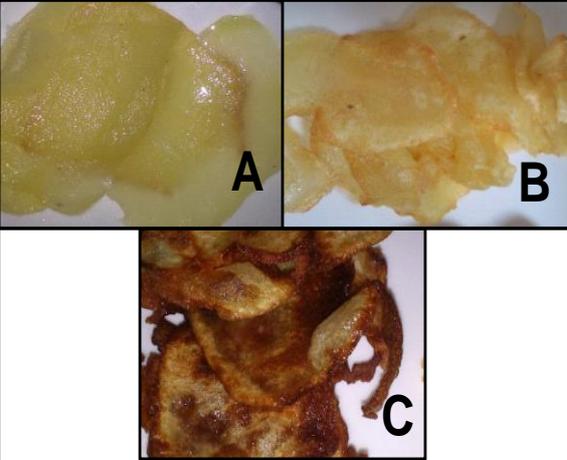
Se realizó un preestudio a través de una encuesta realizada a un total de 40 personas que residen en la provincia de Valencia, la distribución de la población muestral por edades y sexo se indica en la Tabla 3.

**TABLA 3.** Muestra de la población por edad y sexo

|         | 16-34 AÑOS | 35-64 AÑOS | 65-99 AÑOS |
|---------|------------|------------|------------|
| HOMBRES | 6          | 11         | 3          |
| MUJERES | 6          | 9          | 5          |
| TOTAL   | 12         | 20         | 8          |

Con la finalidad de conocer cuál es el comportamiento habitual a la hora de cocinar las patatas chips en casa, se hizo la encuesta, cuyas preguntas se muestran en la Tabla 4.

**TABLA 4** Encuesta “Hábitos de fritura de patatas tipo chips”

|  | SI  | NO |
|--|---|----|
| 1. ¿Lava las patatas después de cortarlas?   |   |    |
| 2. ¿Pone a remojo las patatas?   |   |    |
| aproximadamente el tiempo (minutos) de remojo y si añade algo al agua de remojo (gotas de limón...)  |   |    |
| 3. ¿Escalda las patatas antes de freírlas?   |   |    |
| 3. A. En caso afirmativo indique el tiempo (minutos) y temperaturas (si llega a hervir el agua o está a punto de alcanzar el hervor)   |   |    |
| 4. ¿Cuál de estas tres fotografías se corresponde con las patatas que fríe en casa?<br>A. <input type="checkbox"/><br><br>B. <input type="checkbox"/><br><br>C. <input type="checkbox"/> |  |    |

### 2.3. Condiciones de las etapas

En la Tabla 5 se muestran los valores de distribución de las distintas condiciones consideradas para la simulación de la formación de acrilamida en los distintos escenarios planteado.

El almacenamiento no se tiene en cuenta en ningún escenario, porque según Medeiros Vinci, et al., 2012 no hay diferencias significativas de formación de acrilamida en las primeras 8 semanas. Además, el consumidor almacena las patatas a temperatura ambiente y no las almacena durante tanto tiempo. A nivel industrial, si que se debería tener en cuenta, ya que se almacenan en cámaras a temperaturas entre 6 y 8 °C, además, se suelen tratar con inhibidores de la brotación (Viklund, et al., 2010), introducir este factor en un escenario no sería una aproximación real a la preparación de las patatas en casa.

**TABLA 5. Condiciones**

| Condición                                | Cod   | Distribución                      |
|--|-------|-----------------------------------|
| Azúcares reductores iniciales            | S     | Uniform(87;2550)                  |
| Tiempo fritura                           | $t_f$ | Triang(1,8589;3;3,62)             |
| Temperatura fritura                      | $T_f$ | Triang(1,73126;180;185)           |
| Fracción de reducción con el lavado      | $F_L$ | Uniform(0.11;0.40)                |
| Fracción de reducción con el escaldado   | $F_E$ | BetaGeneral (3.10;2.05;0.17;0.89) |
| Azúcares reductores previos a la fritura | $T_s$ | $S*(1- F_L)* (1- F_E)^{(a)}$      |
| Posible influencia de otros azúcares     | IP    | Uniform(0;60)                     |
| Relación de formación según t/T fritura  | $Y_2$ | $1,057* T_s - 2,85$               |
| Pendiente                                | m     | $IP - Y_2/0 - T_s$                |
| Acrilamida ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )   | AA    | $M* T_s + IP$                     |
| Ingesta diaria hombres                   | Ih    | Lognorm(6;12)                     |
| Ingesta diaria mujeres                   | Im    | Lognorm(11;16)                    |
| Peso hombres adultos                     | Ph    | Normal(80;10)                     |
| Peso mujeres adultas                     | Pm    | Normal(60;10)                     |
| Exposición al riesgo hombres             | Eh    | $(AA* I_h)/(1000* P_h)$           |
| Exposición al riesgo mujeres             | Em    | $(AA* I_m)/(1000* P_m)$           |

<sup>(a)</sup> Se aplicará la reducción según las etapas que apliquen

## 2.4. Simulación de la cadena

La simulación de la cadena se ha realizado por el método de Monte Carlo, con el programa informático @Risk (Palisade) y muestreo Latin Hiper cubo con 10000 iteraciones y 10 repeticiones con puntos aleatorios de muestreo.

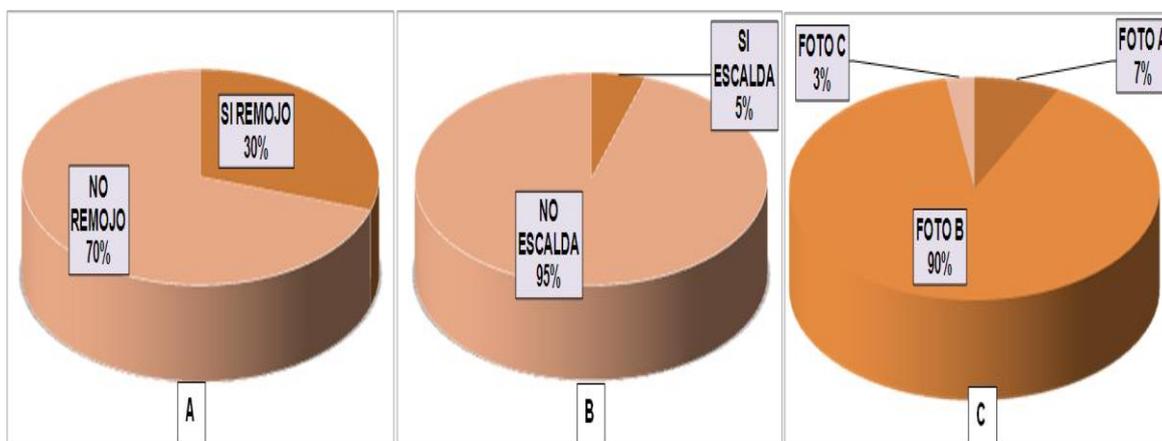
## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Resultados de la encuesta

Al analizar los datos de la encuesta, se observa que el 100% lava las patatas después de cortarlas, el 70% las lava bien y el 30% llega a dejarlas un poco en remojo después de cortarlas para utilizarlas un poco después y evitar el oscurecimiento. En cuanto al remojo, el 100% no le ponen nada al agua. Por lo que la acidificación en el medio no se tendrá en cuenta en la simulación aunque sea una práctica que puede reducir la cantidad de acrilamida en el producto final, Figura 2.

En cuanto al escaldado, solo el 5% escalda y generalmente es porque las corta más gruesas y evita que queden duras en el interior.

El 90% elige la foto B de la encuesta, las patatas de la cual han sido fritas a una temperatura de 160 °C durante 3 minutos.



**FIGURA 2.** Distribución de la muestra. A: remojo. B: escaldado. C: foto.

### 3.2. Resultados de la simulación

Los resultados de la simulación se muestran en la Tabla 6. En ella se muestran los valores mínimos, medios y máximos obtenidos de acrilamida para cada uno de los escenarios. El valor mínimo, es aquella cantidad de acrilamida formada con la realización más adecuada de cada uno de los tratamientos, y el valor máximo, es el extremo contrario en el que son las peores condiciones. Siendo los valores medios los más normales a encontrar en los hogares.

**TABLA 6.** Cantidad de acrilamida formada ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) según escenario

| Escenarios | Mínima | Media   | Máxima  | % Reducción de Acrilamida |
|------------|--------|---------|---------|---------------------------|
| 1          | 6,30   | 399,45  | 1677,50 | 71.31                     |
| 2          | 53,97  | 1033,50 | 2373,24 | 25.69                     |
| 3          | 10,563 | 538,16  | 2018,16 | 60.31                     |
| 4          | 89,23  | 1390,80 | 2692,39 | -                         |

El % de reducción de acrilamida es en función de si solo se hace la fritura en el que la reducción será nula y esto se considera porque las temperaturas de fritura doméstica no son tan altas como pueden ser a nivel industrial ya que a temperaturas muy elevadas la acrilamida empieza a degradarse tal y como afirman Alvarez y Morillo, 2000.

El escenario 1 o más favorable (en el que se ha realizado un previo remojo y escaldado) es el que menos concentración de acrilamida media presenta (399.45  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) frente al escenario 4 o menos favorable (en el que no se ha realizado tratamiento alguno) que muestra una cantidad de acrilamida media de 1390,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Esto demuestra la importancia de la realización de pretratamientos domésticos a la hora de freír patatas para evitar la concentración de acrilamida, tal y como demuestran autores como

Koutsdis, et al., 2007, Viklund, et al., 2010, Koutsdis, et al., 2007, Jung, et al., 2003 y Mestdagh, et al., 2008. Además, estos resultados muestran que se pierden precursores tanto en el escaldado como en el remojo y esto repercute posteriormente en una bajada de la formación de acrilamida.

En el escenario 2 en el que se hizo un previo remojo se reduce la concentración de acrilamida en un 25.69%, este resultado evidencia los estudios de Jung, et al., 2003, presentaban una reducción de acrilamida de un 24.9%, Tanto los estudios de Jung, et al., 2003 como los de la simulación que se presentan en este estudio contradicen lo que dice Williams, 2005 que indica que no se produce una reducción de acrilamida simplemente con el lavado (Williams, 2005).

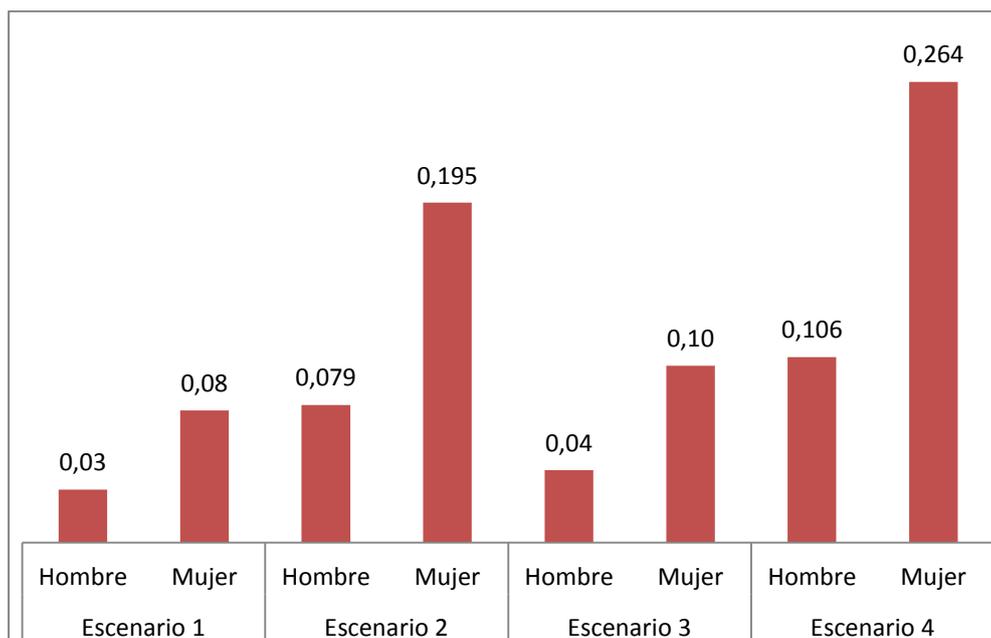
El valor que más se acerca al escenario 1 (el óptimo) es el escenario 3 en el que solo se ha hecho un escaldado. La cantidad de acrilamida media formada es de 538,16  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y la reducción de acrilamida es de 60.31%, lo que demuestra lo mismo que otros autores que han analizado la cantidad de acrilamida cuando se hace un previo escaldado, como en el caso Viklund, et al., 2010 en el que se muestra una reducción de acrilamida de entre un 51 y un 73%, también coincide con los de Mestdagh, et al., 2008 en el que se reduce la formación de acrilamida en un 65% para patatas tipo tiras, este mismo autor mostraba una reducción de un 86% pero en el caso de las patatas tipo chips.

Aunque en el peor de los casos se haga un escaldado inadecuado (temperatura y tiempo insuficiente) la cantidad de acrilamida es de 2018.16  $\mu\text{g}/\text{kg}$  frente a 2692,39  $\mu\text{g}/\text{kg}$  que tiene los valores peores del escenario 4 en el que no se ha hecho ningún pretratamiento, esto supone una reducción de 25.04%, frente al 60.31% de reducción de acrilamida si el escaldado es el óptimo.

En el caso en el que las prácticas tanto de pretratamiento como de fritura sean extraordinarias, la cantidad de acrilamida formada es de tan solo un 6.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , esto es comparable con la cantidad formada en el caso en el que la fritura sea la extraordinaria, que es el caso del escenario 4, en donde, la acrilamida formada es de 89.23%.

La exposición al riesgo diario en función del sexo se muestra en la Figura 3. Si es hombre o mujer difiere debido a la diferencia de peso entre sexos. La Organización Mundial de la Salud estima un rango máximo de ingesta entre 1 y 10  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día.

Si se hacen los pretratamientos correspondientes (Escenario 1) la cantidad de acrilamida es de 0.03 y 0.08  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día en hombres y mujeres respectivamente. En el escenario 4 en el que no se hace ni remojo ni escaldado la cantidad de acrilamida es de 0.106 y 0.264  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal y día para hombres y mujeres respectivamente.



**FIGURA 3.** Cantidad de acrilamida ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día) por escenario y sexo.

Estos valores son muy inferiores a los presentados por la WHO. Estos datos coinciden con las investigaciones de Cummins, et al., 2008.

Se debe tener en cuenta, que los valores presentados, son solo para el consumo de patatas tipo chips, y como se explicó anteriormente, la acrilamida está presente en muchos otros alimentos que se ingieren diariamente como el café tostado, las galletas o el pan, ya que el consumo diario de patatas fritas para una mujer adulta si se siguen las prácticas del escenario 4, se encuentra dentro del rango presentado por la EFSA del 2011. Según los datos de la EFSA del 2011, para los países europeos, el rango de ingesta media de acrilamida en la dieta (para adultos mayores de 18 años) es de  $0.31-1.1 \mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día.

Por lo que se debería estimar la cantidad de acrilamida y el consumo medio diario en cada alimento, de este modo, se podrá obtener una ingesta diaria total de acrilamida. Esta cantidad, será la que se podrá comparar con los valores de la Organización Mundial de la Salud y por tanto, valorar el riesgo potencial de este carcinógeno.

Además, en el caso de niños, se debe considerar la toxicidad debido a que el peso es mucho menor y en muchos casos, el consumo de alimentos tipo snacks o galleta es elevado y por tanto, la toxicidad puede ser muy elevada.

#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo constituye un primer paso en la estimación del riesgo por la generación de acrilamida en patatas fritas y del análisis de posibles medidas de gestión a aplicar en los hogares para reducir su presencia. De este modo,

se ha visto que la práctica más habitual en el hogar a la hora de elaborar patatas chips es lavar las patatas después de cortarlas y a continuación freír. No obstante hay un 30% de los encuestados que dejan las patatas en remojo antes de freírlas para evitar el oscurecimiento y un 5% las escaldan para favorecer su textura.

El estudio de los distintos factores y etapas que influyen en la formación o reducción de acrilamida, permite establecer una pautas de buenos hábitos de elaboración en el hogar, de este modo se aconseja que se elijan variedades de patata con poco almidón, hoy en día vendidas como “para freír”, no almacenarlas en la nevera, cortarlas, lavarlas y dejarlas unos minutos a remojo para que suelten almidón, a continuación realizar un breve escaldado y finalmente freírlas con aceite nuevo cada vez sin dejar que se requemen.

La simulación de los distintos escenarios ha permitido comprobar que incluso en el supuesto más desfavorable, que por otra parte es el más común en los hogares, es decir cortado, enjuagado y fritura, los valores obtenidos de acrilamida se encuentran dentro de los límites recomendados por la FAO/WHO. No obstante, en un futuro, con la finalidad de particularizar más el riesgo al que está expuesto el consumidor, habrá que añadir información sobre el consumo combinado de productos que contengan acrilamida, cantidad ingerida, grupo de edad y peso de las personas.

## 5. REFERENCIAS

- Alvarez, M.D. y Morillo, M.J. 2000. Characterization of the frying process of fresh and blanched potato strips using response surface methodology. *Eur Food Res Technol*, 211:326-335.
- Anese, M., Bortolomeazzi, R., Manzocco, L., Manzano, M., Giusto, C., Nicoli, M.C. 2009. Effect of chemical and biological dipping on acrylamide formation and sensory properties in deep-fried potatoes. *Food Research International* 42: 142–147.
- Baardseth, P., Blom, H., Skrede, G., Mydland, L.T., Skrede, A., Slinde, E. 2006. Lactic Acid Fermentation Reduces Acrylamide Formation and Other Maillard Reactions in French Fries. *Journal of Food Science. Food Chemistry and Toxicology*. 71: 28-33.
- Capuano, E. y Fogliano, V. 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT. Food Science and Technology*. 44: 793-810.
- Claeys, W.L., De Vleeschouwer, K., Hendrickx, M. E. 2005. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: Acrylamide. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 181–193.
- Codex Alimentarius Commission, 2009. Code of Practice for the reduction of acrylamide in foods (CAC/RCP 67-2009).
- Cummins, E., Butler, F., Gormley, R., Brunton, N. 2008. A methodology for evaluating the formation and human exposure to acrylamide through fried potato crisps. Elsevier. *LWT*, 41: 854-867.
- De Vleeschouwer, K., Van der Plancken, I., Van Loey, A., Hendrickx, M., 2009. Role of precursors on the kinetics of acrylamide formation and elimination under low moisture conditions using a multiresponse approach - Part I: Effect of the type of sugar. *Food Chemistry*, 114: 116-126.
- E.C., Health and Consumer Protection Directorate-General (2003). Note of the meeting of experts on industrial contaminants in food: Acrylamide Workshop, 20-21 October 2003. Dirección URL: [\[http://europa.eu.int/comm/food/food/chemicalsafety/contaminants/acryl\\_guidance.pdf\]](http://europa.eu.int/comm/food/food/chemicalsafety/contaminants/acryl_guidance.pdf)

- EFSA (European Food Safety Authority), 2009. Results on the monitoring of acrylamide levels in food. EFSA Scientific Report, 285, 1-26.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2011. Results on acrylamide levels in food from monitoring years 2007-2009 and exposure assessment. EFSA Journal, 9(4):2133.
- Erdreich, L.S. y Friedman, M.A. 2004. Epidemiologic evidence for assessing the carcinogenicity of acrylamide. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 39: 150–157.
- Jung, M.Y., Chol, D.S., 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. Food Chemistry and Toxicology*. 68: 4, 1287-1290.
- Knol, J.J. 2008. Kinetic modeling of acrylamide formation in aqueous reaction systems and potato crisps. Tesis Doctoral. Wageningen University, The Netherlands, 172 pp.
- Koutsidis, G., Wedzicha, B.L., Taylor, A.J., Channell, G., Mottram, D.S. 2007. Mechanism of the Formation of Acrylamide in Cooked Foods and Factors affecting its Formation during Thermal Treatment. *Food Standards Agencies' library*.
- Low, M. Y., Koutsidis, G., Parker, J.K., Elmore, S., Dodson, A.T., 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: 5976-5983.
- Masson, L., Muñoz, J.R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J., Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: Revisión actualizada. *Grasas y aceites*, 58 (2): 185-193.
- Medeiros Vinci, R., Mestdagh, F., De Meulenaer, B. 2012. Acrylamide formation in fried potato products – Present and future, a critical review on mitigation strategies. *Food Chemistry*, 133: 1138-1154.
- Mestdagh, F., De Wilde, T., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroodt, J.M. Verhe, R., Van Peteghem, C., De Meulenaer, B. 2008. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *LWT. Food Science and Technology* 41: 1648-1654
- SCF, 2002. Opinion of the scientific committee on food on new findings regarding the presence of acrylamide in food. European Commission, (2002).
- Tuta, S., Palazoglu, K., Gokmen, V. 2011. Effect of Microwave Blanching on Acrylamide Content and Quality Attributes of French Fries. 11th International Congress on Engineering and Food. *Food Process Engineering in a Changing World. Volume III*. Athens, Greece.
- Viklund, G.A. J., Olsson, K.M., Sjöholm, I.M., Skog, K.I., 2010. Acrylamide in crisps: Effect of blanching studied on long-term stored potato clones. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 194-198.
- WHO (2002). FAO/WHO consultation on the health implications of acrylamide in food. Geneva, Switzerland. 25–27, June 2002.
- Williams, J.S.E. 2005. Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chemistry* 90: 875–881