



**FACULTAD DE FARMACIA**  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**RIESGOS Y ALERTAS ALIMENTARIAS:**  
**LA ACRILAMIDA**

Autor: Leticia Rúa Tavira

Tutora: María Dolores Tenorio Sanz

Convocatoria: Junio de 2016

## ÍNDICE

---

<b>RESUMEN.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>4</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>5</b>
EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	5
1. <i>¿Qué es la acrilamida?</i> .....	5
2. <i>Síntesis de acrilamida</i> .....	6
3. <i>Absorción, distribución y excreción</i> .....	6
4. <i>Toxicidad</i> .....	7
5. <i>Nivel de exposición</i> .....	8
6. <i>Valores de referencia</i> .....	9
GESTIÓN DE RIESGOS.....	10
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>19</b>

## Resumen

---

La acrilamida se considera un agente tóxico para la reproducción, con propiedades tanto mutagénicas como carcinogénicas y está clasificada como un cancerígeno en humanos de clase 2A, según la IARC. Además, su exposición a bajos niveles puede provocar daños a nivel del sistema nervioso. En abril del 2002 un grupo de investigadores suecos demostró la presencia de elevados niveles de acrilamida en ciertos alimentos ricos en almidón que eran procesados a altas temperaturas. Otros investigadores descubrieron que la acrilamida se forma en los alimentos durante la reacción de Maillard. Estos resultados fueron rápidamente confirmados por la OMS, la FAO y el Comité Científico sobre Aditivos Alimentarios, impulsándose la realización de estudios para identificar la presencia de acrilamida en los alimentos, su mecanismo de formación, métodos de análisis, toxicología, niveles de exposición, etc, dada la preocupación por el margen de seguridad a este compuesto a través de la dieta. Actualmente, desde el ámbito institucional e industrial, se han propuesto una serie de recomendaciones para la reducción de su formación en la preparación tecnológica o culinaria de los alimentos.

**Palabras clave:** Acrilamida, Azúcares reductores, Salud, Seguridad Alimentaria, Fritura, Tostado

## Introducción y Antecedentes

---

El tratamiento térmico es una práctica muy común durante el procesado, cocinado e, incluso, conservación de alimentos. Los tratamientos de horneado, fritura o tostado, pueden llegar a alcanzar temperaturas de hasta 220°C. Dichos procesos llevan intrínsecos una serie de transformaciones en el alimento que permiten la formación de nuevos compuestos con incidencia sobre la aceptabilidad del producto por parte del consumidor. Sin embargo, en algunos casos, el uso de altas temperaturas, asociado a otros factores externos del alimento, puede llevar consigo la reducción del valor nutritivo o incluso la producción de algunos compuestos tóxicos, que afectan a la seguridad de los mismos. Estas sustancias tóxicas se denominan contaminantes químicos de procesado.

Este tipo de contaminantes responden a compuestos que no estaban presentes en el alimento fresco y cuya formación está directamente relacionada con el proceso culinario aplicado. La mayoría de estos compuestos están asociados a actividades mutagénicas, teratogénicas o carcinogénicas en organismos vivos y, por ello, deben evaluarse y aplicarse las medidas de control necesarias por parte de las Agencias de Seguridad Alimentarias correspondientes.

Se conocen una serie de contaminantes químicos de procesado, como pueden ser las aminas heterocíclicas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, N-nitrosaminas, monocloropropanodiolos o la acrilamida, en la que se va a basar este trabajo.

En Abril del 2002, la Autoridad Sanitaria Sueca de los Alimentos (Swedish National Food Authority), junto a un grupo de investigadores de la Universidad de Estocolmo, anunciaron que habían encontrado niveles considerables de acrilamida en ciertos alimentos ricos en almidón que se procesaban a altas temperaturas (más de 120°C), como las patatas fritas o asadas, panes y galletas. La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (International Agency for Cancer Research, IARC) clasificó a la acrilamida como un probable cancerígeno en humanos, clase 2A, y observó que la exposición a bajos niveles de acrilamida, además de causar daños a nivel del sistema nervioso, tenía propiedades mutagénicas y carcinogénicas que se han demostrado en estudios en mamíferos *in vivo* e *in vitro*.

Posteriormente, diferentes grupos de investigadores descubrieron que la acrilamida se forma en los alimentos durante el tratamiento térmico mediante la reacción de Maillard, o de pardeamiento no enzimático que provee a los alimentos de un agradable sabor, olor y color

Más recientemente, se ha demostrado que la principal vía de formación de acrilamida en los alimentos involucra la participación de los azúcares reductores y del aminoácido asparagina. Este conocimiento abrió el camino para estudiar la variabilidad en su formación a partir de modelos cinéticos (relación temperatura/tiempo de formación de acrilamida) y para establecer la asociación entre la formación de acrilamida y la forma de procesar los alimentos.

## Objetivos

---

Analizar los aspectos toxicológicos, exposición dietética y niveles de acrilamida en los alimentos para establecer la evaluación del riesgo de este compuesto de cara a la protección del consumidor.

Examinar las estrategias y actuaciones tanto a nivel Institucional, como a nivel de la industria orientadas a la reducción del contenido de acrilamida en los alimentos y limitar sus efectos tóxicos en el organismo.

## Metodología

---

Se ha realizado una búsqueda en las bases bibliográficas Sciencedirect y Pubmed utilizando distintas palabras clave: *acrylamide, cancer, risk assessment, health, toxicity, dietary intake...* La revisión se hizo sobre estudios publicados a partir del año 2002 hasta la actualidad, con la finalidad de recopilar los avances más recientes. Se ha complementado con el tratado específico de Toxicología y Seguridad Alimentaria de Cameán<sup>5</sup>. También se consultaron las páginas web de la EFSA y AECOSAN para contrastar el estado actual de las opiniones científicas sobre la acrilamida en relación con la salud humana.

## Resultados y discusión

---

### *Evaluación de riesgos*

#### 1. ¿Qué es la acrilamida?

La acrilamida es un intermediario químico usado en la síntesis de poliacrilamidas. Este monómero, también conocido como etilcarboxiamida, vinil-amida o 2-propenamida, se presenta en forma de cristales blancos. Su peso molecular es de 71,09 y su número de registro CAS es 79-0601. Es soluble en etanol, metanol, dimetiléter y acetona e insoluble en heptano y benceno<sup>1</sup>.

Dicho compuesto tiene un gran número de aplicaciones industriales. Sus principales usos son como floculante en la clarificación de aguas y en la fabricación de papel. También se utiliza para la elaboración de pegamentos, colas, como estabilizante de suelos, como aditivo en cosméticos y en la preparación de muestras en laboratorios biotecnológicos. Tampoco se puede olvidar el hecho de que se encuentra en el humo del tabaco y en los gases vertidos por los tubos de escape de los automóviles<sup>2</sup>.

Antes de descubrirse la presencia de altos niveles de acrilamida en alimentos cocinados a altas temperaturas, el agua de bebida y el humo del tabaco eran consideradas las principales fuentes de esta sustancia.

La acrilamida también es un contaminante químico que se genera espontáneamente durante el cocinado o procesado térmico de los alimentos a partir de la reacción de Maillard<sup>3</sup>. Recientes publicaciones muestran que en la formación de acrilamida están implicados varios factores, como las altas temperaturas, tipos y cantidad de carbohidratos y aminoácidos (en particular el aminoácido asparagina) y otros factores, parte de ellos todavía desconocidos. Esta sustancia se ha encontrado sobre todo en alimentos fritos y horneados que se consumen de forma continua y regular en nuestra dieta, como las patatas fritas, las patatas chips y el pan, así como en galletas y cereales de desayuno. No se ha encontrado presencia de acrilamida en alimentos hervidos<sup>4</sup>.

Actualmente, y de acuerdo con la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN), la acrilamida es una sustancia química que se crea de forma natural en productos alimenticios que contienen almidón, durante procesos de cocción cotidianos a altas temperaturas y baja humedad (fritura, cocción, asado, horneado...).

## 2. Síntesis de acrilamida

La acrilamida se forma cuando algunos alimentos, en particular los de origen vegetal (por su elevada proporción de hidratos de carbono y baja de proteínas), se cocinan a temperaturas superiores a 120°C. Parece ser, además, que el contenido de azúcares reductores se correlaciona fuertemente con la formación de la acrilamida, por lo que algunos autores postulan que se forma a partir de aminoácidos libres y otros azúcares reductores<sup>5</sup>.

La formación de acrilamida a partir de aminoácidos libres, concretamente de la asparagina, se debe principalmente a la reacción de Maillard, también conocida como glucosilación no enzimática de proteínas, en la que dichos aminoácidos reaccionan con los azúcares reductores (particularmente glucosa y fructosa) durante el proceso de calentamiento. A partir de la asparagina y de los azúcares reductores, se forma una base de Schiff, la cual puede reaccionar mediante distintos mecanismos hasta formarse la acrilamida. Esta reacción da lugar al pardeamiento u oscurecimiento de los alimentos, haciéndolos más sabrosos.

Es importante recalcar dos puntos. Por un lado, la reacción de Maillard no debe confundirse con la caramelización, donde no es necesaria la presencia de aminoácidos, y, por otro lado, para que dicha reacción se lleve a cabo, se necesita la presencia de altas temperaturas junto con un ambiente relativamente seco<sup>15</sup>.

La formación de la acrilamida se da principalmente en la superficie del alimento, donde se alcanzan con mayor rapidez las temperaturas a partir de las cuales se forma ésta. El interior de los alimentos no alcanza dichas temperaturas porque el tiempo de cocción no es el suficiente.

Por todo ello, se puede afirmar que la cantidad de acrilamida formada dependerá de varios factores:

- La temperatura final de cocción/fritura/tostado
- Tiempo de cocción/fritura/tostado
- Cantidad de asparagina y de azúcares reductores en la materia prima (patatas o cereales)

## 3. Absorción, distribución y excreción

Estudios recientes en humanos<sup>7</sup> y en cerdos<sup>16</sup>, han confirmado que, a parte de algunas diferencias en el metabolismo, la absorción, distribución y excreción de la acrilamida son similares entre los humanos y los animales de laboratorio<sup>7</sup>. Tras la administración oral, la acrilamida se absorbe rápida y extensamente a lo largo del tracto gastrointestinal, se metaboliza y se elimina por orina en forma de metabolitos. Estudios experimentales con animales han demostrado que la acrilamida se distribuye ampliamente por todos los tejidos, llegando incluso al feto y a la leche materna<sup>17</sup>. La exposición interna a glicidamida, metabolito primario de la acrilamida, es mayor tras una

administración a través de la dieta que tras una administración intravenosa. Esto sucede como consecuencia del efecto del primer paso hepático, que transforma la acrilamida en glicidamida. Tanto la acrilamida como sus metabolitos, son rápidamente expulsados por la orina, debido a su conjugación con glutatión para formar derivados del ácido mercaptúrico. La biodisponibilidad oral de la acrilamida se encuentra entre el 23-48% en roedores, para una dosis de 0,1 mg/kg de peso corporal/día, administrada a través de la dieta durante un periodo de 30 minutos<sup>8</sup>.

#### 4. Toxicidad

La acrilamida no ocasiona mutaciones génicas en las bacterias, sin embargo, la glicidamida, su metabolito epóxido, sí aumenta la probabilidad de desarrollar mutaciones genéticas y tumores en ausencia de activación metabólica. Cuando se realizaron ensayos con la acrilamida para comprobar si se producían mutaciones génicas en las células de mamíferos, los resultados fueron dudosos, negativos o débilmente positivos. La acrilamida ocasiona anomalías cromosómicas, micronúcleos, intercambios entre cromátidas hermanas, poliploidía, aneuploidía y otras alteraciones mitóticas en células de mamíferos y en ausencia de activación metabólica. La acrilamida fue incapaz de provocar la síntesis de ADN no programado en hepatocitos de ratas, mientras que la glicidamida sí produjo dicha síntesis, tanto en células mamarias humanas como en los hepatocitos de ratas<sup>9</sup>.

En cuanto a la acción neurotóxica, en las ratas a las que se había suministrado 20mg/kg de peso corporal al día, se desarrollaron lesiones graves en los nervios periféricos, mostrando signos de neuropatía periférica y de toxicidad en otras zonas: atrofia en testículos y músculos esqueléticos y disminución en los parámetros relacionados con los eritrocitos. En el caso de los monos, a los que se administraron 10mg/kg de peso corporal al día, durante 12 semanas, aparecieron signos clínicos de neuropatía periférica junto con evidentes efectos visuales<sup>10</sup>.

En estudios sobre el efecto sobre la fertilidad llevados a cabo con ratas y ratones, en los que se expuso a las ratas a concentraciones de 15 mg/kg de peso corporal/día y a los ratones a concentraciones de 45 mg/kg de peso corporal/día, aparecieron signos leves de toxicidad durante el desarrollo, asociados a la toxicidad presente en la madre durante el principal período de organogénesis<sup>9</sup>.

La acrilamida se encuentra clasificada como “probable carcinógeno para los humanos” (Grupo 2A) por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC), en base a los estudios realizados con animales. En este momento, no está claro que estos resultados puedan extrapolarse al hombre<sup>11</sup>.

La AECOSAN ha enviado a la EFSA, al igual que el resto de Estados Miembros, los datos que se han recopilado de los controles oficiales llevados a cabo entre 2007 y 2010 por las autoridades competentes de las CCAA en base a las recomendaciones citadas. A partir de estos informes, la

EFSA ha evaluado en 2015 el riesgo de la presencia de acrilamida en los alimentos, y basándose en estudios en animales, confirma que la acrilamida en los alimentos puede aumentar el riesgo de desarrollar cáncer en consumidores de todas las edades. Además de cáncer, se ha demostrado que la acrilamida tiene efectos neurotóxicos, aunque la EFSA ha determinado que los niveles actuales de exposición a través de la dieta no son preocupantes con respecto a estos efectos.

### 5. Nivel de exposición

La acrilamida, tal y como afirma la AECOSAN<sup>18</sup>, se ha detectado tanto en alimentos elaborados industrialmente como en los cocinados en el hogar, y su exposición varía en función de la edad:

- **Adultos:** los productos derivados de las patatas (incluyendo las patatas fritas y las asadas) representan hasta el 49% de la exposición media en adultos, el café un 34% y el pan de molde un 23%, seguidos de las galletas (dulces y saladas), pan crujiente y otros derivados de patatas.
- **Niños (a partir de 1 año) y adolescentes:** los productos derivados de las patatas fritas (excepto las chips de bolsa y los aperitivos) representan hasta el 51% de toda la exposición a través de la dieta. El pan de molde, los cereales de desayuno, las galletas y otros derivados, pueden llegar a contribuir hasta con un 25%. Los productos de bollería representan un 15% para niños y adolescentes, mientras que un 11% pertenece a las patatas chips y los aperitivos, en adolescentes. En cuanto a los alimentos procesados para bebés con cereales, la cifra ronda el 14%.
- **Bebés (menos de 1 año):** los alimentos que no son elaborados a base de cereales, los que han sido elaborados a base de cereales (galletas) y otros productos derivados de las patatas, contribuyen con un 60%, 30% y 48% respectivamente.

Es necesario destacar que, aunque algunas categorías de alimentos, como las patatas fritas o los aperitivos y los sucedáneos del café, contienen niveles relativamente elevados de acrilamida, su contribución global a la exposición a través de la dieta es limitada si se sigue una dieta normal y variada.

## 6. Valores de referencia

A nivel internacional, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) ha evaluado la acrilamida en 2005 y 2010 y no ha podido establecer un valor de referencia toxicológico, a expensas de tener más resultados sobre la carcinogénesis y neurotoxicidad a largo plazo de estudios que se están llevando a cabo, por lo que ha utilizado el enfoque del Margen de Exposición (MOE). Recomiendan reducir su presencia en los alimentos así como recoger datos de concentración de acrilamida en todos los alimentos listos para su consumo<sup>5</sup>.

En la Evaluación de los riesgos asociados con las sustancias químicas de 2011, la JECFA indicó que la exposición media de acrilamida en la población general era de 0,001 mg/kg de peso corporal/día, mientras que la de los consumidores extremos se aproximaba a 0,004 mg/kg/día. Así mismo, estableció que el nivel en el cual no se observaban efectos adversos (NOAEL) se encontraba en 0,2 mg/kg/día, por lo que el MOE para la población en general y los consumidores extremos, era del 200 y 50 respectivamente<sup>8</sup>.

En la 64ª reunión de la JECFA, se llegó a la conclusión de que los efectos adversos neurológicos eran muy poco frecuentes a la exposición media de acrilamida, mientras que las alteraciones morfológicas en el sistema nervioso eran más frecuentes en aquellos individuos con una elevada exposición a la acrilamida a través de la dieta<sup>11</sup>.

## **Gestión de riesgos**

### **A. A nivel institucional**

En este sentido, en la Unión Europea se han llevado a cabo diversas iniciativas aún vigentes para la reducción de acrilamida durante el procesado y la transformación de los alimentos en las industrias alimentarias. Por tanto, la gestión de riesgos de la acrilamida en alimentos fritos, se centra principalmente en las acciones voluntarias de la industria alimentaria para reducir los niveles de acrilamida en sus productos. Sin embargo, un punto clave para conseguir esta disminución de la exposición reside en los productos cocinados en la esfera doméstica. Por ello, las autoridades nacionales proveen información a la población, mediante campañas informativas, para optimizar el método de cocinado

En la consulta FAO/OMS realizada en junio de 2002, se llegó a la conclusión de que la presencia de acrilamida en los alimentos era un problema serio y se recomendó aumentar la investigación sobre aspectos como los mecanismos de formación y la toxicidad. En la consulta se recomendó continuar con una alimentación equilibrada rica en frutas y verduras, y se aconsejó no cocinar los alimentos excesivamente, es decir, durante demasiado tiempo o a temperaturas demasiado elevadas. Se indicó, no obstante, que era importante calentar bien todos los alimentos, especialmente la carne y los productos cárnicos con el fin de destruir los agentes patógenos de transmisión alimentaria (bacterias, virus, etc.) que podrían estar presentes<sup>9</sup>.

La Comisión del Codex Alimentarius ha realizado un Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos, con el objetivo de *“dar a las autoridades de los países y a los fabricantes, así como a otros organismos pertinentes orientación para prevenir y reducir la formación de acrilamida en productos de patata y de cereales<sup>9</sup>”*.

El antiguo Comité Científico de Alimentación Humana (CCAH) de la Comisión Europea publicó en 2011 unas recomendaciones dirigidas a las industrias de alimentos, a los restaurantes y a los consumidores para conseguir la reducción de esta sustancia en los alimentos susceptibles de contenerla. En ellas, recomienda que los Estados Miembros realicen investigaciones en aquellos casos en los que los niveles de acrilamida en alimentos, excedan en ciertos valores indicativos, para luego reportarlos a la Comisión<sup>12</sup>.

Según la AECOSAN, a partir de los estudios realizados por la EFSA, no se puede establecer una ingesta diaria tolerable (TDI) de acrilamida en alimentos. Aún así, los científicos han estimado el rango de la dosis en el que la acrilamida presenta una mayor probabilidad de causar una pequeña, pero apreciable, incidencia de tumores (efecto neoplásico) u otros efectos adversos potenciales (neurológicos, en el desarrollo pre y postnatal y en la reproducción masculina)<sup>8</sup>.

**Valores indicativos de acrilamida basados en los datos de control de la EFSA 2007-2012<sup>13</sup>**

<b>Alimento</b>	<b>Valor Indicativo (µg/kg)</b>	<b>Observaciones</b>
Patatas fritas listas para consumir	600	Producto vendido listo para consumir, tal como se define en la parte C.1 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Patatas fritas <i>chips</i> fabricadas con patatas frescas y con masa de patatas	1000	Producto vendido, tal como se define en las partes C.2 y C.10 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Pan de molde a) Pan de molde a base de trigo b) Otro pan de molde	80 150	Producto vendido, tal como se define en la parte C.4 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Cereales para el desayuno (a excepción del <i>porridge</i> ) - productos de salvado y cereales integrales - productos de trigo y centeno - productos de maíz, avena, espelta, cebada y arroz	400 300 200	Producto vendido, tal como se define en la parte C.5 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Galletas y barquillos	500	Producto vendido, tal como se define en la parte C.6, del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Galletas saladas	500	
Pan crujiente	450	
Pan de especias	1000	
Café tostado	450	Producto vendido, tal como se define en la parte C.7.1 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Café instantáneo (soluble)	900	Producto vendido, tal como se define en la parte C.7.2 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Sucedáneos del café a) a base de cereales, principalmente b) otros sucedáneos del café	2000 4000	Producto vendido, tal como se define en la parte C.7.3 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Alimentos infantiles, distintos de los elaborados a base de cereales a) sin ciruelas pasas b) con ciruelas pasas	50 80	Producto vendido, tal como se define en la parte C.8 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Galletas y bizcochos para lactantes y niños de corta edad	200	Producto vendido, tal como se define en la parte C.9.1 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE
Alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños de corta edad excluidos galletas y bizcochos	50	Producto vendido, tal como se define en la parte C.9.2 del anexo de la Recomendación 2010/307/UE

Se debe seguir el principio ALARA, acrónimo del concepto “*As Low As Reasonably Achievable*” (tan bajo como sea razonablemente posible). Esto significa que el operador de la industria alimentaria debe tomar las medidas apropiadas para reducir al mínimo la presencia de un contaminante determinado, en este caso la acrilamida, teniendo en cuenta el riesgo que éste presenta. Además, debe tener en cuenta otras consideraciones legítimas como, por ejemplo, el riesgo potencial de otros contaminantes, las propiedades organolépticas y de calidad del producto final y la viabilidad y eficacia de los controles<sup>14</sup>.

A nivel de las prácticas del consumidor, las autoridades nacionales y locales advierten que se deben evitar calentamientos excesivos de las patatas y los alimentos elaborados a base de cereales cuando utilicen procedimientos de cocción a altas temperaturas (Figura 1). Esta recomendación incluye aconsejar que las patatas fritas y las patatas asadas se preparen hasta obtener un color amarillo dorado, en vez de tostado, a la vez que se aseguren de que el alimento esté completamente cocido. Lo mismo pasaría con el pan, ya que se debería recomendar al consumidor que a la hora de tostar pan y productos relacionados, se trate de obtener un color marrón claro.

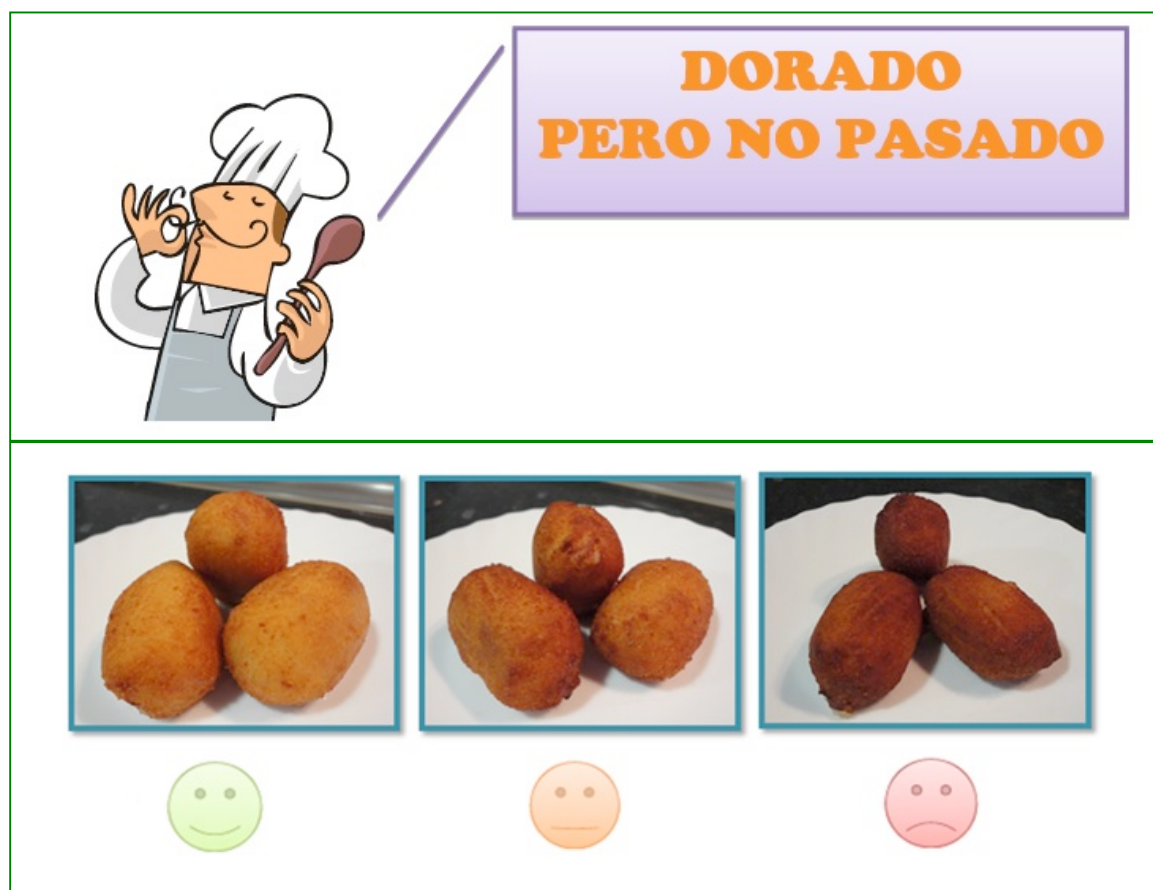


Figura 1: Recomendaciones de la AECOSAN<sup>18</sup>

## B. A nivel industrial

En cuanto a las industrias alimentarias, en la Unión Europea se consideró que la aplicación de buenas prácticas durante el procesado de determinados alimentos debería ser efectiva y reducir la formación de acrilamida en el producto final, de modo que la Comisión Europea avaló una serie de medidas voluntarias para la industria, de cara a tenerlas en cuenta en sus sistemas de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC). Para ello se creó la *caja de herramientas*, elaborada por la asociación europea FDE en colaboración con las autoridades nacionales y la Comisión Europea y actualizada por última vez en el 2013.

- **Estrategias para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos**

No se pueden tomar medidas para reducir la concentración de acrilamida sin tener en cuenta otras consideraciones. Es necesario impedir que se comprometa la calidad nutricional, o la inocuidad química y microbiológica de los alimentos, así como sus características organolépticas y la consiguiente aceptación del consumidor.

Cabe señalar que el margen de formación de acrilamida puede ser muy variable, por ejemplo en un mismo lote elaborado en la misma planta de producción o entre plantas que utilizan el mismo procedimiento, los mismos ingredientes y formulaciones. Además, los fabricantes deben tener en cuenta que la variabilidad de las materias primas y los tratamientos térmicos deficientemente controlados, pueden comprometer los ensayos de las estrategias de reducción, ocultando cambios en los niveles de acrilamida<sup>19</sup>.

Se han propuesto diferentes estrategias para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos, tales como<sup>20</sup>:

1. Eliminación o reducción de los reactantes

Siempre que haya un bajo contenido de algún reactante (asparagina o glucosa), se produce una disminución de la formación de acrilamida. En el caso de los cereales se ha demostrado que, manteniendo unos niveles de azufre adecuados en los cultivos, se disminuye la concentración de asparagina en los mismos. En cambio, los niveles de azúcares presentes en los granos verdes de café (Robusta o Arábica), no muestran correlación con la cantidad de acrilamida formada durante el tostado.

Al realizar las posibles modificaciones para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos, debe prestarse mucha atención a las posibles repercusiones sobre las características nutricionales y organolépticas. Así, por ejemplo, la disminución de la temperatura de fritura de las patatas puede reducir el contenido de acrilamida, al mismo tiempo que aumenta el contenido de grasas. Algo parecido sucede con los cereales de desayuno, ya que la adición de algunos componentes como

Hidróxido Sódico (NaOH), al incrementar el pH, reducen la formación de acrilamida afectando a su vez, al color y al sabor del producto final.

## 2. Interrupción de la reacción

La modificación de la temperatura y del tiempo de cocción influye en el contenido de acrilamida en los alimentos. Cuando la temperatura del alimento supera los 120°C, la velocidad de formación de la acrilamida aumenta rápidamente en proporción de la temperatura dentro de un determinado intervalo. A su vez, en estudios llevados a cabo, también se ha demostrado que el contenido de acrilamida disminuye a temperaturas iguales o superiores a 170°C.<sup>20</sup> Otro factor decisivo es el pH, cuyo valor óptimo para dicha formación es de 7, por lo que a pH significativamente inferiores, se inhibe la formación de acrilamida.

## 3. Eliminación de la acrilamida tras su formación

Hasta el momento, los intentos de reducir el contenido de acrilamida en los alimentos mediante tratamientos con luz ultravioleta y extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico no han tenido éxito<sup>9</sup>.

- **La caja de herramientas**<sup>14</sup>

La caja de herramientas proporcionada por la asociación FDE refleja el resultado de más de 8 años de estudios, llevados a cabo entre la industria alimentaria y las autoridades nacionales de la Unión Europea, para investigar las diferentes vías de formación de acrilamida y los métodos posibles para prevenir y reducir su exposición. Está pensada, en particular, para asistir a fabricantes individuales y pequeñas y medianas empresas con pocos recursos de I+D, para asesorar y evaluar en qué determinados pasos del proceso de fabricación se pueden aplicar las medidas para reducir la formación de acrilamida. Además, la mayor parte de las herramientas son útiles en el contexto doméstico e, incluso, a nivel de establecimientos de comida, donde el riguroso control de las condiciones de cocinado es más difícil.

Esta *caja de herramientas*, en versiones anteriores, contenía 14 parámetros (o *herramientas*) diferentes, agrupados en cuatro grandes categorías (o *compartimentos*) que los productos de alimentación pueden utilizar de forma selectiva, conforme a sus necesidades específicas, a fin de reducir los niveles de acrilamida en sus productos. Estos 4 compartimentos hacen referencia a los factores agronómicos, la receta del alimento, su transformación y su preparación final. En esta última revisión de la caja se ha reestructurado alrededor de las tres principales categorías de productos con mayor riesgo de formación de acrilamida: patatas, cereales y café. Éstas a su vez, están subdivididas en compartimentos y herramientas individuales.

### a) Cumplimiento del principio de ALARA

Para asegurar el cumplimiento del principio ALARA, los operadores de la industria alimentaria deben monitorizar la eficacia de las medidas puestas en práctica y deben revisarlas cuando sea necesario.

En el contexto de la acrilamida y otros contaminantes de procesado, que son el resultado de reacciones químicas en alimentos por calentamiento y que no tienen establecidos niveles de seguridad específicos, ALARA significa que el operador de la industria alimentaria debe poner todo su empeño (en base a su grado de conocimiento) en reducir los niveles en el producto final, con el fin del reducir la exposición en el consumidor.

### b) Definición de los parámetros y categorías

De forma genérica, se han descrito 14 herramientas para la reducción de la acrilamida, en función de la fase de la producción:

<p><b>A. Selección de materias primas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Azúcares reductores</li> <li>• Asparagina</li> </ul>
<p><b>B. Receta (Control/adición de otros ingredientes)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agentes fertilizantes y fermentadores</li> <li>• Otros ingredientes minoritarios (Glicina, cationes divalentes...)</li> <li>• pH</li> <li>• Reprocesado</li> <li>• Dilución/reducción tamaño</li> <li>• Fermentación</li> </ul>
<p><b>C. Diseño del proceso</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control temperatura y humedad</li> <li>• Asparaginasa</li> <li>• Pretratamiento</li> <li>• Color del producto final</li> <li>• Textura y sabor</li> </ul>
<p><b>D. Preparación final</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información para el consumidor</li> </ul>

Figura 2: Tabla de herramientas

Las principales categorías y subcategorías definidas dentro de la Caja de Herramientas son:



Figura 3: Categorías de alimentos

### • Reducción de acrilamida en alimentos

Las siguientes *herramientas* han sido utilizadas con éxito para reducir el contenido de acrilamida en los distintos alimentos más vulnerables. En esta revisión se expone el ejemplo práctico de las patatas fritas. Se aconseja a los fabricantes seleccionar las *herramientas* que mejor se adapten a su producto, método de elaboración y especificaciones de calidad de producto.

#### 1. Azúcares reductores

Los azúcares reductores son uno de los principales componentes de para la formación de acrilamida, por lo que su contenido es directamente proporcional a la concentración de acrilamida.

- Es importante seleccionar cultivares con niveles de azúcares reductores tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta la variabilidad regional y estacional.
- Hay que evitar utilizar patatas almacenadas a menos de 6°C. Para ello es necesario controlar las condiciones de almacenamiento y evitar que las patatas estén al exterior (sin protección) a bajas temperaturas durante largos periodos de tiempo (toda la noche).
- Para prevenir el desarrollo de brotes, se recomienda utilizar Carbamato de isopropilo o equivalentes.
- Eliminar los tubérculos inmaduros, ya que contienen mayor cantidad de azúcares reductores.

- Comprobar los lotes de patatas que llegan a la planta, realizando test de color de fritura y otras herramientas que sirvan para medir los niveles de azúcares reductores.

## 2. Asparagina (Asn)

La Asn es el otro componente principal para la formación de la acrilamida, siendo el aminoácido más abundante en las patatas (20-60% del total de aminoácidos).

- De momento no se han controlado los niveles de Asn en patatas, pero algunas medidas potenciales se basan en cultivar especies de patatas con menor contenido en Asn o con mayor contenido en otros aminoácidos.

## 3. Otros ingredientes minoritarios: Aminoácidos y sales de calcio

- La incorporación de aminoácidos que puedan competir con la Asn, favorece la reducción de la formación de acrilamida.
- El uso de sales de calcio (lactato cálcico), en cantidades inferiores al 0,3%, ha demostrado ser una herramienta de reducción eficaz.
- La adición de ciertos ingredientes (tales como la melaza, especias o algunos saborizantes), tienen el potencial de provocar un aumento de los niveles de acrilamida en el producto final.

## 4. pH

- El hecho de agregar ácido cítrico o ascórbico ha resultado ser satisfactorio para reducir la formación de acrilamida, aunque a veces haya provocado la aparición de sabores más fuertes.
- La combinación de ácido cítrico y Glicina (ambos al 0,39%) tiene un efecto aditivo en cuanto a la reducción de la concentración de acrilamida. El ácido cítrico inhibe la formación de ciertos sabores, pero se compensa con la incorporación de Glicina, ya que favorece la formación de compuestos volátiles.

## 5. Dilución y reducción de tamaño de partícula

- Se recomienda cortar las patatas más gruesas, ya que éstas contienen menos acrilamida que las patatas fritas cortadas más finas debido al efecto de la relación superficie/volumen.

## 6. Fermentación

- Se ha propuesto el uso de *Lactobacillus* para la fermentación de patatas, ya que este proceso reduce los niveles de los principales compuestos además de reducir el pH.

## 7. Asparaginasa

- La adición de Asparaginasa ha demostrado ser eficaz para la reducción de los niveles de acrilamida en productos fabricados a base de patatas. Sin embargo, es importante recalcar el hecho de que el exceso de esta enzima puede producir aspártico y amonio en suficiente cantidad como para dar sabor.

## 8. Control de la temperatura y humedad

El contenido de humedad tiene una gran influencia en el proceso de tostado y de formación de acrilamida. A menor humedad relativa, la energía de activación para la formación de acrilamida es mayor en comparación con la necesaria para el tostado. Esto explica el porqué la última fase del proceso de fritura es crítica y debe ser controlada a baja temperatura para optimizar el proceso de tostado y minimizar la formación de acrilamida.

- Es importante el control de la temperatura, de los tiempos de fritura y de las características del equipo (sartenes, freidoras,...)

## 9. Pretratamiento

- La herramienta más importante para reducir los niveles de azúcares reductores, es el blanqueado en agua de la patata antes de freírla.
- Si se añade Difosfato Disódico justo después del blanqueado, se consigue reducir los niveles de acrilamida por efecto del pH.

## 10. Información para el consumidor

- Se recomienda incluir instrucciones claras de preparación en el envase, tales como: freír a un máximo de 175°C, evitar cocer en exceso, freír hasta conseguir un ligero color dorado (Figura 4), cuando cocine pequeñas cantidades reduzca el tiempo de fritura,...
- Comparar el producto final con el color de la especificación del producto tras la fritura, tal y como se indica en las instrucciones de preparación.

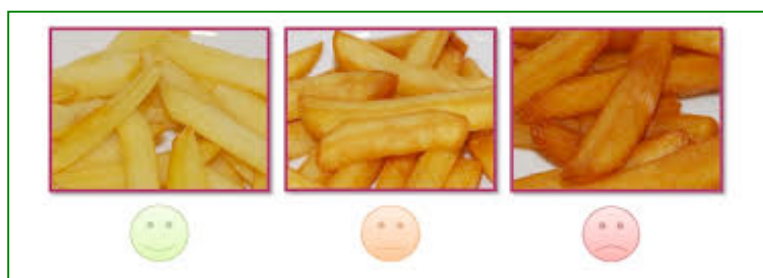


Figura 4: Recomendación de la AECOSAN sobre las patatas fritas<sup>18</sup>

## CONCLUSIONES

---

Los antecedentes expuestos permiten concluir que se puede formar acrilamida en ciertos tipos de alimentos, especialmente en aquellos ricos en azúcares reductores sometidos a altas temperaturas. Si bien los resultados de estudios *in vivo* e *in vitro* han demostrado que la exposición a acrilamida puede producir neurotoxicidad en seres humanos, otros efectos como la carcinogénesis, problemas reproductivos o genotoxicidad, sólo se han comprobado en animales.

Actualmente, los contaminantes de procesado no admiten límites máximos en cuanto a los niveles de exposición, si no que se ajustan en recomendaciones basadas en las buenas prácticas a nivel industrial y en la práctica culinaria a nivel del consumidor. Por este motivo, la comunicación entre las agencias y la industria, al igual que la de las agencias y el consumidor, debe ser eficaz.

El desafío actual consiste en tomar medidas tanto a nivel del consumidor, como a nivel industrial, implementándose métodos que permitan su reducción sin afectar a las características de calidad del producto y establecer el daño real que la exposición a la acrilamida puede producir en la salud de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. European Chemichals Agency. <http://echa.europa.eu>
2. Guibert Read, J. Acrilamida. 2012.
3. Morales, F J.; Rufián Henares, JA.; Jiménez S. Incidencia de acrilamida en patatas fritas comercializadas en la Comunidad de Madrid. *Revista Alimentaria*. 2005; 367: 30-35  
<http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=422983>
4. Valenzuela R, Ronco AM. Acrilamida En Los Alimentos. *Rev. chil. nutr.* 2007; 34(1): 8-16.  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071775182007000100001&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071775182007000100001&lng=es).
5. Cameán A, Moreno I, Gutiérrez A, Hardisson T, Rubio A. La acrilamida, contaminante químico de procesado: Revisión. *Revista de Toxicología*. 2007; 243:1-9.  
<http://agricola-www.redalyc.org/articulo.oa?id=91924101>
6. Blank A. Current status of acrylamide research in food: Measurement, safety assessment, and formation. *Ann NY Acad Sci*. 2005; 1043: 30-40
7. Fennell et al. Kinetics of elimination of urinary metabolites of acrylamide in humans. *Toxicol Sci*. 2006; 93(2): 256-257  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16870689>
8. World Health Organization. *Safety evaluation of certain contaminants in food*. WHO Food Additives Series N°: 63. 2011. FAO Food and Nutrition Paper.

9. Comisión del Codex Alimentarius. Documento de debate sobre la acrilamida. 2003; (15): 11  
[ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFAC/ccfac36/fa36\\_34s.pdf](ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFAC/ccfac36/fa36_34s.pdf)
10. Dybing E, et al. Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food. *Food Chem Toxicol.* 2005; 43: 365-410
11. IARC, International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Industrial Chemicals. Acrylamide. 1999; 60: 389-433
12. Commission recommendation of 2011 on investigation into the levels of acrylamide in food  
[http://ec.europa.eu/food/safety/docs/cs\\_contaminants\\_catalogue\\_acrylamide\\_recommendation\\_10012011\\_food\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/food/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_acrylamide_recommendation_10012011_food_en.pdf)
13. Evaluación de la Junta FAO/OMS del Comité Experto en Aditivos Alimentarios (JECFA). Acrilamida. 2010  
<http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfadatabase/chemical.aspx?chemID=5198>
14. Food Drink Europe. Acrylamide Toolbox. 2011  
[http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications\\_documents/Toolboxfinal260911.pdf](http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/Toolboxfinal260911.pdf)
15. Fiselier K, Bazzocco D, Gama-Baumgartner F, Grob K. Influence of the frying temperature on acrylamide formation in french fries. *Eur Food Res Technol.* 2006; 222(3-4):414
16. Aureli F, Di Pasquales M, Luccheltti D, Aureli P, Coni E. An absorption study of dietary administered acrylamide in swine. *Food Chem Toxicol.* 2007; 45(7):1202-1209
17. Sörgel F et al., Acrylamide: increased concentrations in homemade food and first evidence of its variable absorption from food, variable metabolism and placental and breast milk transfer in humans. *Chemotherapy.* 2002; 48: 267-274
18. AECOSAN  
[http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad\\_alimentaria/subdetalle/acrilamida.shtml](http://www.aecosan.mssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/acrilamida.shtml)
19. FAO. Código de Prácticas para reducir el contenido de Acrilamida en los alimentos. 2009
20. Brown R. Formation, Occurrence and Strategies to Address Acrylamide in Food. FDA Food Advisory Committee Meeting on Acrylamide. 2003, University of Maryland  
<http://www.cfsan.fda.gov/~dms/acrybrow.html>
21. Grob K et al., French fries with less than 100 µg/kg acrylamide. A collaboration between cooks and analysts. *European Food Research and Technology.* 2003; 217 (3):185-194
22. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Health Organization. Summary report of the 64<sup>th</sup> meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives(JECFA).2008  
[http://www.who.int/entity/ipcs/food/jecfa/summaries/summary\\_report\\_64\\_final.pdf](http://www.who.int/entity/ipcs/food/jecfa/summaries/summary_report_64_final.pdf)