



## **Acrilamida en alimentos: sus causas y consecuencias**

B. E. Enríquez - Fernández\* y M. E. Sosa - Morales

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Fundación Universidad de las Américas Puebla. Sta. Catarina Mártir, Cholula, Puebla. C.P.72820. México.*

---

### **Resumen**

La acrilamida es un monómero utilizado ampliamente en la industria química y textil. Su relevancia en la industria alimentaria surgió luego de un estudio en 2002 en el cual se encontró la presencia de este compuesto en alimentos cocinados a altas temperaturas como papas fritas y galletas, entre otros. A partir de entonces diversos estudios han sido realizados con el propósito de conocer más sobre éste compuesto, sus características y potenciales riesgos. Esta revisión presenta estudios experimentales acerca del contenido de acrilamida en diversos alimentos, sus métodos de análisis, así como sus mecanismos de formación más estudiados, los métodos que permiten disminuir su formación clasificándolos con base en sus propósitos, y estudios realizados para determinar sus daños a la salud, con objetivo de dar un panorama general sobre el conocimiento actual de este compuesto, y las alternativas que existen a nivel industrial y como consumidor de disminuir su ingesta.

**Palabras clave:** acrilamida, procesamiento de alimentos, seguridad de alimentos, disminución, toxicidad.

### **Abstract**

Acrylamide is a monomer widely used in the chemical and textile industries. In the food industry, it became important since 2002, when an investigation showed the presence of this compound in food cooked under high temperatures, such as potato chips, and cookies. Thereafter, several studies have been developed with the purpose to understand the characteristics and behavior of this compound, as well as its potential risks. This review summarizes some experimental studies about the acrylamide content in foods, the most reliable and studied formation mechanisms, methods to reduce this content, classified according to their purpose, and several studies to determine the potential risk to people. The objective is to present a general overview about the actual knowledge of this compound, and alternatives for the industry and consumers to diminish acrylamide intake from food.

**Keywords:** acrylamide, food processing, food security, reduction, toxicity.

---

### **Introducción**

La acrilamida ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$ ) es un monómero utilizado a nivel industrial desde

los años 50's, está presente en el humo del tabaco, y es usado en la síntesis de poliacrilamida para su utilización en procesos como purificación de agua, separación de proteínas para bioquímica analítica y acondicionamiento de suelos (Allan, 2002). Su descubrimiento se origina a partir de

\*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos  
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727  
Dirección electrónica: blancae.enriquezfz@udlap.mx

resultados de la formación de un aducto específico entre ésta y la hemoglobina humana (Masson *et al.*, 2007).

Es un compuesto muy reactivo y se ha estudiado por los daños que puede provocar luego de exposiciones prolongadas. Al estudiar acerca de la presencia de acrilamida en la sangre, y encontrarla en personas que nunca habían estado expuestas directamente, Tareke *et al.* (2002) evaluaron diferentes alimentos, encontrando niveles desde moderados a altos de este compuesto en algunos de ellos. De esta manera, surgió el interés por evaluar la acrilamida en los alimentos, así como su origen y los daños que su ingesta puede ocasionar en el organismo humano.

Diversos estudios comprobaron la presencia de acrilamida en alimentos, particularmente en aquellos con alto contenido de carbohidratos (El-Ziney *et al.*, 2009). Posteriormente los estudios fueron encaminados hacia los mecanismos mediante los cuales pudiera ocurrir la formación de acrilamida, conociéndose actualmente que el mecanismo más probable es mediante la reacción de Maillard, particularmente la que ocurre entre la glucosa y la asparagina (Mottran *et al.*, 2002; Stadler *et al.*, 2002). Una vez conocidos sus mecanismos de formación, el énfasis ha estado en encontrar métodos o ingredientes que permiten la disminución del contenido final de acrilamida en alimentos, desde la modificación en las materias primas, hasta su inactivación y eliminación una vez que ha sido formada. Sin embargo, muchos de ellos no son muy recomendables ya que modifican las características de calidad y sensoriales de los productos (Anese *et al.*, 2009).

Así mismo, debido a que se conoce que la exposición prolongada a la acrilamida a través de la piel puede provocar daños desde entumecimientos hasta carcinogénesis, diversos estudios han evaluado los riesgos que

conlleva la ingesta de acrilamida a través de los alimentos, realizando pruebas en animales y analizando a pacientes con cáncer, para determinar si la acrilamida fue un factor de riesgo (Friedman, 2003).

Esta revisión pretende dar un panorama general del conocimiento actual respecto a la acrilamida, resumiendo sus características generales, enumerando los alimentos que la contienen en mayor concentración, presentando los métodos más comunes y más confiables para su detección, y los estudios que han buscado determinar su riesgo a la salud, y finalmente presentando los métodos que permiten la reducción del contenido final de acrilamida.

## Revisión Bibliográfica

### 1. Aspectos generales de la acrilamida

La acrilamida (2-propanamida) es un compuesto altamente soluble en agua y su peso molecular es bajo (71.09 g/mol). Es un monómero vinílico que se usa tanto a nivel industrial como en procesos de laboratorio. Su uso más importante es la producción de poliacrilamida de alto peso molecular, utilizada para proporcionar a los materiales propiedades iónicas (El-Ziney *et al.*, 2009). Algunas de las aplicaciones más comunes de esos polímeros son: tratamiento de agua para beber, procesamiento de petróleo, papel, minerales, concreto y textiles, en la industria de los cosméticos, en cirugías oftálmicas, en plásticos, en lentes de contacto, y en emulsiones y adhesivos, además de estar presente en el humo del tabaco (Sharma *et al.*, 2008).

A nivel comercial se produce por hidrólisis catalítica del acrilonitrilo. Puede encontrarse tanto en estado sólido o cristalino, como líquido o acuoso. El monómero sólido es

incoloro y es un cristal soluble en agua, metanol, etanol, acetona y dimetil éter, e insoluble en benceno y heptano (Sharma *et al.*, 2008).

La acrilamida es absorbida por los animales y los seres humanos, vía ingestión, inhalación o a través de la piel. Tiene dos sitios reactivos, el grupo amida y el doble enlace conjugado, éste último puede participar en reacciones nucleofílicas con grupos funcionales que tengan hidrógeno activo como los grupos SH de la cisteína, homocisteína y el glutatión, o los radicales R-NH<sub>2</sub> de aminoácidos libres y proteínas. La exposición de la acrilamida a pH muy alto o bajo provoca su hidrólisis a ácido acrílico y amoníaco (Friedman, 2003).

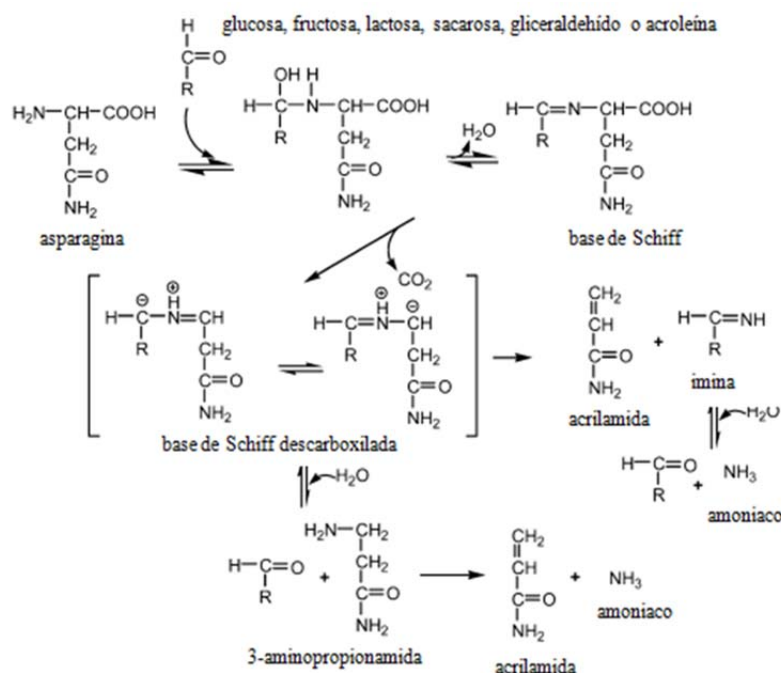
## 2. Acrilamida en alimentos

Desde el 2002 se ha demostrado que la acrilamida se forma en algunos alimentos, especialmente aquellos que involucran durante su procesamiento el uso de altas temperaturas como el freído, horneado o secado (El-Ziney *et al.*, 2009). Tomando en cuenta que entre

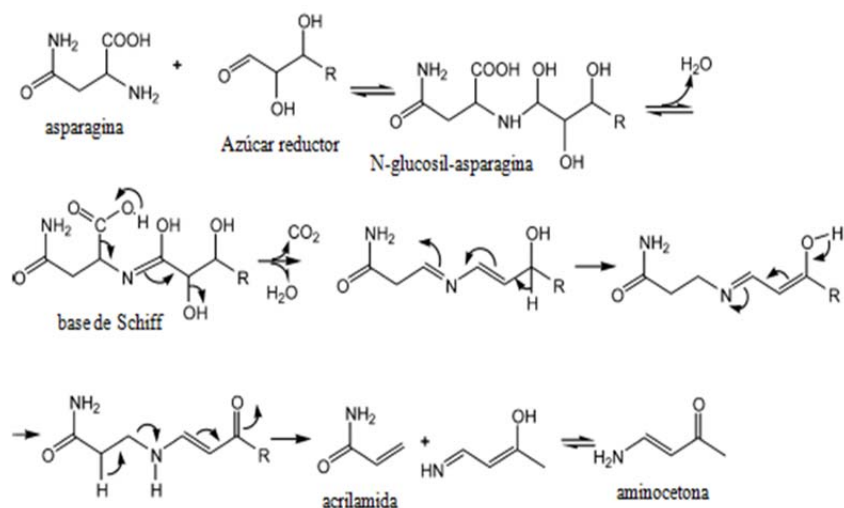
mayor concentración de acrilamida por cada kg de peso corporal se tiene un mayor riesgo, los niños están en mayor peligro que los adultos. En el caso de los bebés, Sorgel *et al.* (2002) encontraron que de 10 a 50% de la acrilamida consumida en la dieta de las mujeres embarazadas, es transferida vía sangre a los fetos, además de transferirse a través de la leche materna. Por tanto, se recomienda a mujeres embarazadas no consumir o reducir el consumo de alimentos con alto contenido de acrilamida.

### 2.1. Formación de acrilamida en alimentos

Desde que se detectó la presencia de acrilamida en alimentos, ha sido sumamente estudiado su mecanismo de formación. Entre las hipótesis de su formación, la reacción de Maillard de pardeamiento, que involucra la reacción a altas temperaturas entre los aminoácidos libres (especialmente la asparagina) y azúcares reductores como la glucosa o fructosa, ha sido de las más estudiadas (Mottran *et al.*, 2002; Stadler *et al.*,



**Fig. 1.** Mecanismo de formación de acrilamida. (Adaptada de Friedman y Levin, 2008).



**Fig. 2.** Mecanismo de formación de acrilamida directamente mediante el flujo de electrones (Adaptada de Friedman y Levin, 2008).

2002). Además es necesario considerar que otros aminoácidos que producen bajas cantidades de acrilamida son: alanina, arginina, ácido aspártico, cisteína, glutamina, metionina, treonina y valina (Masson *et al.*, 2007).

La reacción de Maillard se ilustra mediante las Fig. 1 y 2, donde se aprecia la reacción entre la asparagina y un azúcar reductor mediante dos mecanismos, el primero (1) con la transformación de la asparagina y el azúcar a una base de Schiff descarboxilada, que posteriormente es transformada a acrilamida con 3-aminopropionamida como intermediario; mientras que en el mecanismo 2, el flujo de electrones lleva directamente a la acrilamida sin la formación del intermediario 3-aminopropionamida (Friedman y Levin, 2008).

Además del mecanismo anterior, se ha investigado el mecanismo de formación de acrilamida a partir de lípidos (Ehling *et al.*, 2005), identificando al ácido acrílico como un precursor potencial. Esta teoría ha provocado estudios sobre la influencia del aceite de freído

en el contenido final de acrilamida, pues se ha observado que la acroleína (formada por la rancidez oxidativa) puede reaccionar por oxidación para dar ácido acrílico, o formar un radical acrílico intermedio, ambos compuestos en presencia de nitrógeno y bajo condiciones de reacción favorables, pueden dar lugar a la formación de acrilamida (Taeymans *et al.*, 2004). Dicha formación puede ocurrir cuando la acroleína (producto de la oxidación de los ácidos grasos) es directamente transformada a acrilamida por una reacción con  $\text{NH}_3$  para luego oxidarse a acrilamida, o la acroleína puede reaccionar con asparagina directamente y formar un N-glicósido, que posteriormente se transforma a acrilamida (Friedman, 2003). Por su parte, en su estudio acerca del mecanismo de formación de acrilamida en alimentos, Zyzak *et al.* (2003) evaluaron diferentes compuestos carbonílicos (D-glucosa, 2-desoxiglucosa, ribosa y gliceraldehído) para observar la reacción con asparagina y el mecanismo de formación de acrilamida, confirmando mediante la presencia de espectrometría de masas, la presencia de los intermediarios de la reacción.

## 2.2. Métodos de análisis

Debido a la alta solubilidad y reactividad y la carencia de un grupo cromóforo, la acrilamida no es fácilmente detectable (Mottran *et al.*, 2002). Sin embargo, existen diversos métodos utilizados para su detección, inicialmente para agua, fluidos biológicos, y alimentos no cocinados, la mayoría de ellos basados en cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o cromatografía de gases. Sin embargo, debido a la complejidad de los sistemas alimenticios, ha sido necesario ir desarrollando otros métodos con alta sensibilidad. Los métodos posteriores se enfocaron en una combinación de cromatografía líquida o cromatografía de gases, con espectrometría de masas (LC-MS, o GC-MS, respectivamente, por sus nombres en Inglés) (Taeymans *et al.*, 2004; Tareke *et al.*, 2002). La ventaja de los métodos basados en LC-MS es que la acrilamida puede analizarse sin necesidad de realizar una derivatización previa, simplificando el análisis (Masson *et al.*, 2007). Otro método es la Reacción de Transferencia de Protones seguida de espectrometría de masas (PTR-MS), el cual es un método conveniente por sus rápidas mediciones (Masson *et al.*, 2007).

Los estudios realizados han mostrado que la extracción incompleta es la causa más probable de error en la determinación de acrilamida, ya sea porque el alimento no se dividió correctamente, se usaron solventes orgánicos en la extracción, o el tiempo es corto y la temperatura baja durante la extracción. Otra causa de error ha sido la destrucción de la acrilamida durante la extracción. Por tanto, un reto existente es el desarrollo de métodos confiables y aplicables a diferentes sistemas, que permitan el análisis de alimentos complejos, ya que actualmente los métodos han mostrado gran variabilidad de una muestra a otra y no existe un método confiable y con alto umbral de detección aplicable a todos los

alimentos (Taeymans *et al.*, 2004). Además, su análisis se complica debido a que la acrilamida es una sustancia reactiva y volátil que puede autodegradarse luego de su formación (Masson *et al.*, 2007).

## 2.3. Alimentos con mayor contenido de acrilamida

Como se ha expuesto, la presencia de acrilamida en alimentos se ha observado principalmente en aquellos ricos tanto en glucosa como en asparagina, y que son sometidos a procesos de calentamiento como horneado o freído. La mayoría de esos alimentos son derivados de origen vegetal como las papas y cereales. Entre estos alimentos, los que han presentado niveles más altos son: las papas a la francesa, papas y tortillas fritas, corteza de pan, y pan tostado, entre otros.

El-Ziney *et al.* (2009) evaluaron diferentes alimentos de Arabia Saudita con alto contenido de carbohidratos expuestos durante su proceso de elaboración a altas temperaturas. Dichos alimentos los clasificaron en grupos dependiendo de sus características: papas fritas, maíz y extruidos, berenjenas, panes, bizcochos, galletas, pescados, dulces y caramelos, fórmulas infantiles, y fórmulas infantiles en polvo adicionadas con frutas o cereales. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla I junto con alimentos y su contenido reportado de acrilamida.

Sin embargo, la información reportada debe tomarse con precaución, ya que el contenido de acrilamida puede ser muy variable incluso con el mismo alimento producido en diferentes lugares, o entre productos de la misma marca, ya que depende en gran medida de la cantidad de precursores iniciales, y del proceso mediante el cual fue realizado (Friedman y Levin, 2008).

#### 2.4. Métodos para disminuir su formación

Con el creciente interés en el contenido de acrilamida en alimentos, se han realizado diversos estudios con el propósito de plantear alternativas que permitan su reducción. Para lograrlo, se han tomado diferentes enfoques,

desde reducir la concentración de los precursores, hasta eliminar la acrilamida ya formada. Es por esto que a continuación se mencionan algunos de los enfoques, así como estudios realizados en este respecto, y sus resultados.

**Tabla I.** Niveles de acrilamida en algunos alimentos y bebidas.

Grupo	Alimento	Niveles de acrilamida (µg/kg)
Maíz	Palomitas de maíz	180 <sup>b</sup>
	Totopos	199 <sup>b</sup>
	Extruidos con sal	272 <sup>a</sup>
	Tortillas (de harina y maíz)	6 <sup>b</sup>
Papas	Papas fritas	466 <sup>b</sup>
	Papas a la francesa	206 <sup>a</sup> ; 413 <sup>b</sup>
Pan	Pan tostado	213 <sup>b</sup>
	Pan integral	39 <sup>b</sup>
	Bagels	31 <sup>b</sup>
	Donas con levadura	18 <sup>b</sup>
	Hot cakes y waffles	15 <sup>b</sup>
	Pan blanco	11 <sup>b</sup>
	Pastel	10 <sup>b</sup>
Café	Café soluble variedad Robusta	820 <sup>a</sup>
	Café tostado variedad Arábica	290 <sup>a</sup>
	Café de grano	7 <sup>b</sup>
Galletas	Integrales	458 <sup>b</sup>
	Con chispas de chocolate	130 <sup>b</sup>
	Con miel	50 <sup>a</sup>
Cárnicos	Chile con carne	130 <sup>b</sup>
	Pescado a la parrilla	35 <sup>a</sup>
	Nuggets de pollo	24 <sup>b</sup>
	Pescado frito	17 <sup>a</sup>
Semillas	Almendras (fritas o tostadas)	320 <sup>b</sup>
	Cacahuates tostados	27 <sup>b</sup>
Cereales listos para comer	Cereal de avena	174 <sup>b</sup>
	Hojuelas de maíz	61 <sup>b</sup>
	Arroz inflado	56 <sup>b</sup>
	Granola	51 <sup>b</sup>
Otros	Pizza	20 <sup>b</sup>
	Fórmulas para bebés	10-30 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> El-Ziney *et al.* (2009); <sup>b</sup> Friedman y Levin (2008)

a) Reducción en la concentración de los precursores:

Una disminución en el contenido de asparagina puede darse de varias maneras, una es seleccionar de los vegetales disponibles y sus variedades aquellos con el menor contenido de este aminoácido, ya que al estudiar la formación de acrilamida en productos derivados de cereales, se ha observado que mientras más alto es el contenido de asparagina inicial en el trigo, mayor es la concentración de acrilamida en el producto final. Se han evaluado los factores que propician la alta concentración de este aminoácido, encontrando por ejemplo que el trigo cultivado en suelos con bajos niveles de sulfatos tiene hasta 30 veces más asparagina que el cultivado en suelos regulares (Friedman y Levin, 2008). Lo mismo ocurre con las papas, donde la variedad y el suelo de cultivo generan diversas cantidades de carbohidratos y de asparagina, por lo que es necesario seleccionar la variedad con menor cantidad de esos azúcares reductores (Taeymans *et al.*, 2004).

Otro método para disminuir el contenido de asparagina sería inducir su hidrólisis a ácido aspártico y amoniaco mediante bajos pH y/o catalizada por asparaginasa, y finalmente otra opción sería acetilar la asparagina a N-acetilasparagina, previniendo de esta manera la formación de intermediarios N-glicosídicos que forman la acrilamida. También debe cuidarse la temperatura de almacenamiento de papas ya que influye en la cantidad de almidón que es degradado a glucosa, pues se favorece a temperaturas menores a 8°C, pero por estabilidad se almacenan a menores temperaturas (Friedman, 2003).

b) Condiciones de procesamiento durante el horneado y tostado de pan:

Surdyk *et al.* (2004) evaluaron el contenido de acrilamida en pan, encontrando que más del

99% de la acrilamida, se encuentra en la corteza, debido a las temperaturas alcanzadas, y además ese contenido está fuertemente relacionado con el color final adquirido. En otro estudio, se concluyó que un mayor tiempo de horneado causa un incremento en la concentración de acrilamida, y que las partes más tostadas o ennegrecidas del pan son las del contenido más alto de acrilamida, por lo que se recomienda como consumidor no tostar en exceso el pan, o raspar para remover las partes ennegrecidas (Friedman y Levin, 2008).

Otra opción es la fermentación de la masa, pues por ejemplo en masa de trigo y centeno para la elaboración de donas, permite una reducción en el contenido de asparagina, siendo ésta reducción directamente proporcional al tiempo de fermentación (Friedman y Levin, 2008).

c) Efecto de los ingredientes:

La adición o sustitución de algunos ingredientes puede ser benéfica o inducir un mayor desarrollo de acrilamida, como en el caso del bicarbonato de amonio que causa mayor desarrollo, en comparación con el uso de bicarbonato de sodio (Amrein *et al.*, 2006). En cambio, la adición de glicina permite una reducción en el contenido de acrilamida, por lo que se sugiere rociarla sobre la superficie de la masa fermentada (Friedman y Levin, 2008).

El reemplazo de azúcares reductores por otros edulcorantes como la sacarosa (siempre y cuando no se realice también un descenso en el pH), y trehalosa permiten reducir el contenido de acrilamida, lo cual también ocurre con adición de ácido cítrico a sistemas con glucosa. Por otro lado, la adición de antioxidantes en alas de pollo fritas, papas fritas y galletas permite disminuir la cantidad final de acrilamida, a diferencia de lo ocurrido en té donde a pesar de los antioxidantes, la cantidad de acrilamida llega a ser muy alta. También, el contenido de humedad juega un

papel muy importante en la formación de acrilamida ya que una baja humedad provoca que la energía de activación de la reacción sea mayor. De esta forma, a actividades de agua intermedias el contenido de acrilamida final será mayor, y a humedades muy altas el contenido de acrilamida y el oscurecimiento disminuyen (Friedman y Levin, 2008).

#### d) Efectos del procesamiento:

El uso de microondas para elaborar palomitas de maíz permite una reducción de la acrilamida en comparación con el procesamiento normal. De igual forma, un tratamiento de precocción con microondas de tiras de papa redujo la concentración de acrilamida hasta en un 60%, aún a temperaturas de 190°C (Friedman y Levin, 2008).

En el proceso de freído, la temperatura y el tiempo de freído son los factores que más afectan el contenido de acrilamida, por ejemplo se ha estudiado que el uso de presiones de vacío y menores temperaturas permiten reducciones de hasta 94% de acrilamida (Granda *et al.*, 2004).

En relación con la temperatura, estudios de distintos autores demostraron que el límite inferior para formación de acrilamida es 120°C (Mottran *et al.*, 2002; Becalski *et al.*, 2003). A más de 150°C la producción de acrilamida aumenta significativamente, probablemente debido a que a esa temperatura la humedad del producto se encuentra debajo de los mínimos críticos y la reacción se acelera, aunque otros autores establecen que la temperatura crítica es 175°C (Masson *et al.*, 2007). En la misma línea, Romani *et al.* (2008) evaluaron el tiempo de freído en papas fritas y su relación con el contenido de acrilamida, observando que este último se incrementó exponencialmente con el aumento tanto del tiempo como de la temperatura de freído. Y de acuerdo con el contenido de acrilamida, así

como la textura, contenido de grasa y color final del producto, concluyeron que 5 minutos de freído permitía las mejores condiciones finales.

La reutilización del aceite de freído ha sido también estudiada, encontrando que aunque los productos de la oxidación pueden ser precursores en la formación de acrilamida, no existió diferencia significativa en una prueba con papas a la francesa (Friedman y Levin, 2008). De la misma manera, Gertz *et al.* (2003) concluyeron que el tipo de aceite y su estado de rancidez no influyen significativamente en el contenido final de acrilamida. Sin embargo, en otro estudio, el contenido de acrilamida se incrementó hasta 10 veces en papas fritas a 150°C en aceite usado, comparadas con el freído en aceite fresco (Dunovská *et al.*, 2004).

Un tratamiento alternativo propone el uso de radiofrecuencia para calentar las muestras durante el horneado, lo cual permite una reducción de hasta 50% respecto a aquéllos calentados únicamente mediante calentamiento convencional. Dichos tratamientos se basan en que los mecanismos de transferencia de calor cambian, de ser principalmente conducción a involucrar también la radiación. El proceso de horneado asistido con radiofrecuencia puede incluso ser aplicado a nivel industrial sin muchas dificultades (Anese *et al.*, 2009).

#### e) Destrucción o inactivación de la acrilamida una vez formada:

Puede realizarse mediante hidrólisis ácida, con radiación UV o la inducción de la polimerización de la acrilamida para formar poliacrilamida, mediante la reacción con aminoácidos, ésteres o proteínas conteniendo el radical SH. En todos los casos, siempre y cuando no se afecte la calidad y seguridad del producto (Friedman, 2003).



Fan y Mastovska (2006) evaluaron la posibilidad de utilizar radiación ionizante para reducir los niveles de furano y acrilamida en agua y algunos alimentos como embutidos y papas fritas. Los resultados mostraron que después de ser irradiada con 1.5 kGy, se logró la degradación de la mayor parte de la acrilamida contenida en el agua, sin embargo en aceite y las papas fritas, aún a dosis de hasta 10kGy, no se logró una inactivación significativa.

Es importante mencionar que aunque la Reacción de Maillard provoca el desarrollo de acrilamida, como sabemos es una reacción deseable en diversos alimentos por su aportación al sabor, color y aroma de los mismos, por lo que cualquier cambio en los procesos que se realice con el objetivo de disminuir la formación de acrilamida debe buscar también la menor alteración a las propiedades organolépticas finales de los alimentos (Taeymans *et al.*, 2004).

## 2.5. Toxicidad

Los estudios en animales reportan que dosis de acrilamida mayores a 203mg/kg de peso corporal causan daños en el desarrollo y en el sistema reproductivo de roedores (Friedman, 2003). Y aunque en seres humanos no se ha establecido un límite exacto, debido a que la Organización Mundial de la Salud ha establecido que el consumo de acrilamida proveniente de los alimentos en países desarrollados puede ser de 0.3 a 0.8 µg/kg de peso corporal/día (aunque puede variar mucho de un país a otro), es importante determinar los daños que la ingesta de alimentos conteniendo acrilamida pueden causar en el organismo humano (WHO, 2002).

Aunque la poliacrilamida es reportada como una sustancia no-tóxica, su forma monomérica, la acrilamida, ha sido estudiada por causar un amplio espectro de efectos tóxicos (Sharma *et al.*, 2008), ya que ha sido

clasificada dentro del Grupo 2A de las sustancias carcinogénicas, es decir un posible carcinogénico para humanos por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, IARC por sus siglas en inglés, debido a la suficiente evidencia científica de provocar cáncer en experimentos con animales (IARC, 1994), y dentro de la Categoría 2 como carcinogénico y como mutagénico por la Unión Europea (El-Ziney *et al.*, 2009).

De acuerdo con Friedman (2003), el metabolismo de la acrilamida ocurre mediante su reacción con el glutatión en el hígado, dando como resultado la excreción de ácido mercaptúrico, excretado en la orina. En un estudio, Wu *et al.* (1993) usando un modelo del sistema digestivo humano observaron que la acrilamida es altamente permeable y puede pasar a través de la monocapa del epitelio intestinal vía difusión pasiva, y en ese sistema la albúmina de huevo redujo la biodisponibilidad de éstos compuestos. Por lo que se sugiere que una dieta alta en proteínas permitiría reducir la absorción intestinal de éste monómero hacia la circulación.

La exposición a la acrilamida en fábricas donde se maneja en altas cantidades, ha demostrado causar daños como debilidad, pérdida de reflejos y sensaciones en las extremidades, y entumecimiento de pies y manos. Mientras que la exposición en más altos niveles provoca daños más severos como disfunciones cerebrales y severas neuropatías (Friedman, 2003). Diversos estudios se han realizado con el propósito de evaluar el efecto de la acrilamida en la salud, a continuación se clasifican algunas de esas investigaciones de acuerdo con los efectos estudiados, así como los resultados obtenidos:

### a) Efectos adversos en la reproducción

Se ha evaluado el efecto de la acrilamida en la disminución de la fertilidad, ya que afecta la movilidad y morfología del espermatozoide,

además de alterar los balances de estrógenos y progesterona (Tyl y Crump, 2002). De la misma manera, Friedman (2003) menciona que altas dosis de acrilamida (>203mg/kg) provocaron efectos adversos en el desarrollo y reproducción de roedores recién nacidos, como degeneración nerviosa, deficiencia de enzimas intestinales y reducción en la fertilidad.

#### b) Carcinogénesis

Diversos estudios en animales han mostrado mayor incidencia de algunos tumores relacionados con alto consumo de acrilamida en alimentos. Por ejemplo, induce tumores en las glándulas tiroides, suprarrenales, mamaria, y en la cavidad oral (Rice, 2005), así como tumores en el cerebro y órganos reproductivos de roedores (Friedman, 2003). De la misma manera, en un estudio con ratas que recibieron acrilamida en su agua, se encontró un incremento en la incidencia de tumores de tiroides y de cáncer de mama (Pelucchi *et al.*, 2005).

En lo que respecta a seres humanos, Pelucchi *et al.* (2005) evaluaron la relación entre algunos tipos de cáncer, y el consumo de acrilamida proveniente de los alimentos. Para lograrlo, realizaron cuestionarios a pacientes diagnosticados con cáncer de mama o en órganos como el esófago, la faringe, el ovario y los intestinos. Al averiguar la dieta de los pacientes, encontraron que no había relación entre el contenido de acrilamida consumida en los alimentos, y el desarrollo de ningún tipo de cáncer. Lo mismo ocurrió en un estudio realizado por Mucci *et al.* (2003), para cáncer de intestino, vejiga y riñón. En cambio, en una investigación similar realizada por Hogervorst *et al.* (2007), se concluyó que sí existió un incremento en el riesgo de cáncer endometrial y de ovario en pacientes postmenopáusicos por un aumento en el consumo de acrilamida en la dieta, no observándose esa tendencia en cáncer de seno.

#### c) Genotoxicidad

Se ha encontrado que la acrilamida es genotóxica, ya que produce daños a nivel cromosómico, y síntesis anormal de ADN (Sharma *et al.*, 2008). Así mismo, en estudios celulares, se mostró que la acrilamida y su principal metabolito, la glicilamida inducen un quiebre cromosómico y puntos de mutación (Rice, 2005).

#### d) Daños al sistema nervioso

La acrilamida se ha reportado también como neurotoxina que induce parestesia (sensación anormal de los sentidos o de la sensibilidad general) en los dedos, y además provoca debilidad en las manos, alucinaciones, convulsiones, y daños en el Sistema Nervioso Central, degeneración nerviosa y daño neuronal (Sharma *et al.*, 2008).

La posible explicación para la neurotoxicidad de la acrilamida es que es una molécula bipolar, donde en el doble enlace  $\text{CH}_2=\text{CH}$  puede experimentar interacciones hidrofóbicas con los componentes celulares. Esa propiedad le daría la habilidad de alterar las estructuras de la membrana celular y acelerar su difusión y penetración a los sitios de las terminales nerviosas, asociados con sus funciones normales y las del sistema nervioso (Friedman, 2003).

#### e) Otros efectos

Al evaluar la hepatotoxicidad de la acrilamida, en ratones albinos suizos, Sharma *et al.* (2008), los resultados mostraron pérdida de peso corporal y aumento del peso del hígado a concentraciones altas, sin embargo dentro de sus conclusiones remarcaban el hecho de que son necesarios aún más estudios que permitan extrapolar los daños en animales, a lo que podría causar en seres humanos.

Con base en lo anterior, se observa que aunque en animales se ha demostrado la carcinogénesis, genotoxicidad y la hepatotoxicidad de la acrilamida, en seres humanos los únicos efectos comprobados han sido los daños al sistema nervioso, y un mayor riesgo de cáncer en pacientes postmenopáusicos. Por tanto, aún son necesarios más estudios que permitan conocer sus efectos en la salud humana.

## Conclusiones

La acrilamida está presente en alimentos sometidos a altas temperaturas durante su procesamiento que involucran la reacción de Maillard principalmente entre la asparagina y la glucosa. Existen diversos métodos para la detección de acrilamida, sin embargo, debido a la gran diversidad de matrices alimenticias, no existe un método general aplicable a todas, por lo que es aún un tema a desarrollar y para investigar al respecto.

La información de diferentes estudios realizados demuestra manifestaciones de que la acrilamida y su principal metabolito, la glicidamida producen neurotoxicidad en seres humanos. Otros efectos como la carcinogénesis, problemas reproductivos, y genotoxicidad sólo se han comprobado en estudios con animales, no así en seres humanos. Sin embargo, los efectos adversos que se han comprobado sugieren que como consumidores, debemos tratar de consumir en menor cantidad aquellos alimentos en los que se ha encontrado alto contenido de acrilamida, y a nivel industrial, deben empezarse a implementarse métodos que permitan su reducción, sin afectar las características de calidad del producto.

## Agradecimientos

A la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento recibido para la realización de este trabajo.

## Referencias

- Allan, S. 2002. Acrylamide angst: Another annoying distraction about food safety. *Agrochemical and Environmental News*. 198:2-13.
- Amrein, T. M., Andres, L., Manzardo, G. y Amado, R. 2006. Investigations on the promoting effect of ammonium hydrogen carbonate on the formation of acrylamide in model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:10253-10261.
- Anese, M., Suman, M. y Nicolo, M. C. 2009. Technological strategies to reduce acrylamide levels in heated foods. *Food Engineering Reviews*. 1:169-179.
- Becalsky, A., Lau, B. P., Lewis, D., y Seaman, S. 2003. Acrylamide in foods: occurrence, sources and modeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:802-808.
- Dunovská, L., Hajlová, J., Áajka, T., Holadová, K., Hájková, K. 2004. Changes in acrylamide levels in food products during technological processing. *Czech Journal of Food Sciences*. 22:283-286. Citado en: Masson, L., Muñoz, J.R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Ehling, S., Hengel, M., Shibamoto, T. 2005. Formation of acrylamide from lipids. En: M. Friedman y D.S. Mottram (Eds). *Chemistry and safety of acrylamide in food*. Springer, New York. pp. 223-234. Citado en: Friedman, M., y Levin, C. 2008. Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:6113-6140.
- El-Ziney, M. G., Al-Turki, A. A. y Tawfik, M. S. 2009. Acrylamide status in selected traditional Saudi foods and infant milk and foods with estimation of daily exposure. *American Journal of Food Technology*. 4(5):177-191.

- Fan, X. y Mastovska, K. 2006. Effectiveness of ionizing radiation in reducing furan and acrylamide levels in foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54:8266-8270.
- Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Friedman, M., y Levin, C. 2008. Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56:6113-6140.
- Gertz, C., Klostermann, S., Kochhar, P. 2003. Deep frying: the role of water from food being fried and acrylamide formation. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 10(4):297-303. Citado en: Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Granda, C., Moreira, R. G. y Tichy, S. E. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato crisps by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science*. 69(8):405-411.
- Hogervorst, J.G., Schouten, L.J., Konings, E.J., Goldbohm, A. y Van der Brandt, P. 2007. A prospective study on dietary acrylamide intake and the risk of endometrial, ovarian and breast cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 16(11):2304-2313.
- IARC. 1994. Acrylamide, IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of the chemicals to Humans. International Agency of Research on Cancer. 60. Citado en: El-Ziney, M. G., Al-Turki, A. A. y Tawfik, M. S. 2009. Acrylamide status in selected traditional Saudi foods and infant milk and foods with estimation of daily exposure. *American Journal of Food Technology*. 4(5):177-191.
- Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Mottram, D. S., Wedzicha, B. L. y Dodson, A. T. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*. 419:448-449. Citado en: Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Mucci, L. A., Dickman, P. W., Steinek, G., Adami, H. O. y Augustsson, K. 2003. Dietary acrylamide and cancer of the large bowel, kidney and bladder. Absence of an association in a population based study in Sweden. *Journal of Cancer*. 88:84-89. Citado en: Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Pelucchi, C., Galeone, C., Levi, F., Negri, E., Franceschi, S., Talamini, R., Bosetti, C., Giacosa, A. y La Vecchia, C. 2005. Dietary acrylamide and human cancer. *International Journal of Cancer*. 118:467-471.
- Rice, J. M. 2005. The carcinogenicity of acrylamide. *Mutation Research*. 580:3-20. Citado en Masson, L., Muñoz, J. R., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., Castro, J. y Robert, P. 2007. Acrilamida en patatas fritas: revisión actualizada. *Grasas y Aceites*. 58(2):185-193.
- Romani, S., Bacchioca, M., Rocculi, P. y Rosa, M. 2008. Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *European Food Research and Technology*. 226:555-560.
- Sharma, A., Sharma, R. y Jain, J. 2008. Biochemical changes in the liver of Swiss albino mice orally exposed to acrylamide. *Maejo International Journal of Science & Technology*. 2(3):542-550.
- Sorgel, F., Weissenbacher, R., Kinzig-Schippers, M., Hofmann, A., Illauer, M., Skott, A. y Landersdorfer, C. 2002. 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*. 48:267-274. Citado en: Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Stadler, R. H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P. A., Robert, M. C. y Riediker, S. 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*. 419:449-450.
- Surdyk, N. Rosén, J., Andersson, R. y Åman, P. 2004. Effects of asparagine, fructose and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52:2047-2051.
- Taeymans, D., Wood, J., Ashby, P., Blank, I., Studer, A., Stadler, R., Gonde, P., Van Eijck, P., Lalljie, S., Lingnert, H., Lindblom, M., Matissek, R., Muller, D., Tallmadge, D., O'Brien, J., Thompson, S., Silvani, D. y Withmore, T. 2004. A Review of

- acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 44:323-347.
- 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*. 50:4998-5006.
- Tyl, R., y Crump, K. 2002. Acrylamide in food. *Fd. Std. Agency*. 5:215-222. Citado en: Sharma, A., Sharma, R. y Jain, J. 2008. Biochemical changes in the liver of Swiss albino mice orally exposed to acrylamide. *Maejo International Journal of Science and Technology*. 2(3):542-550.
- WHO. 2002. Health implications of acrylamide in food. Report of a Joint FAO/WHO Consultation. Geneva, Suiza. Última consulta el 4 de noviembre de 2010.
- Disponble en:  
[http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/acrylamide\\_full.pdf](http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/en/acrylamide_full.pdf)
- Wu, Y. Q., Yu, A. R., Tang, X. Y., Zhang, J y Cui, T. 1993. Determination of acrylamide metabolite, mercapturic acid by HPLC. *Biomedical and Environmental Sciences*. 6:273-280. Citado en: Friedman, M. 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.
- Zyzak, D. V., Sanders, R. A., Stoianovic, M., Tallmadge, D. H., Eberhart, B. L., Ewald, D. K., Gruber, D. C., Morsch, T. R., Strothers, M. A., Rizzi, G. P. y Villagran, M. D. 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51:4504-4526.