



Revista Chilena de Nutrición

ISSN: 0716-1549

sochinut@tie.cl

Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y
Toxicología
Chile

Valenzuela B, Rodrigo; Ronco M., Ana María
Acrilamida en los Alimentos
Revista Chilena de Nutrición, vol. 34, núm. 1, marzo, 2007, p. 0
Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología
Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46934101>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ACRILAMIDA EN LOS ALIMENTOS

ACRYLAMIDE IN FOOD

Rodrigo Valenzuela B, Ana María Ronco M.

Laboratorio de Hormonas y Receptores, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, INTA, Universidad de Chile. Casilla 138-11, Santiago, Chile.

Dirigir la correspondencia a:

Profesora

Ana María Ronco M.

INTA – Universidad de Chile

Av. El Líbano 5524 – Macul

Fono: 978 1430

Fax: 221 4030

E-mail: amronco@inta.cl

Abstract

Acrylamide is considered as a toxic agent for reproduction, with mutagenic and carcinogenic properties, being classified as pro- carcinogenic in humans (class 2A). Additionally, exposure to low levels of acrylamide causes damage to the nervous system. In April of 2002 a group of swedish investigators announced that they had found considerable levels of acrylamide in certain rich starch foods that were processed at high temperatures (higher than 120 °C). Other investigators discovered that acrylamide is formed in foods during the reaction of Maillard, which occurs during heating, elaboration and storage of foods. These results were quickly confirmed and evaluated by the World Health Organization (WHO), the FAO and a Scientific Committee on Foods, impelling themselves the accomplishment of studies to identify the acrylamide in other foods, in addition to, mechanisms of formation, methods of analysis, toxicology, levels of production, etc. The molecules leading to acrylamide formation are mainly reducing sugars and the amino acid asparagine. Additional routes for its formation have been described but are of smaller importance. Different recommendations can be followed to reduce acrylamide formation in foods.

Introducción

En abril del año 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, y que eran procesados a altas temperaturas (más de 120 °C), como papas fritas o asadas, galletas y pan (1). La acrilamida fue clasificada por la Agencia Internacional de Investigaciones para la Investigación en Cáncer (International Agency for Cancer

Research, IARC) como un pro-cancerígeno en humanos (clase 2A) (2-3), y se sabe que la exposición a bajos niveles de acrilamida causa un daño al sistema nervioso (3-4). También es considerada como un agente tóxico para la reproducción, con propiedades tanto mutagénicas como carcinogénicas (3-6) lo que se ha demostrado en estudios en mamíferos (*in vivo*) e *in vitro*.

Posteriormente, diferentes grupos de investigadores descubrieron simultáneamente, que la acrilamida se forma en los alimentos durante la reacción de Maillard (7-8), una importante reacción química que provee a los alimentos de un agradable olor y sabor. Durante la preparación de los alimentos se produciría una secuencia de complejas reacciones químicas las cuales generarían cambios en su composición y textura que son reconocidos por el consumidor porque cambian el color y sabor de los alimentos. Esta cascada de reacciones termina en la reacción de Maillard, generando un pardeamiento no enzimático. Esencialmente, la reacción está descrita entre aminas y grupos carbonilo, especialmente azúcares reductores. Es sabido que la reacción de Maillard ocurre durante el calentamiento, elaboración y almacenamiento de los alimentos aunque también se ha descrito *in vivo*, en mamíferos (9).

Los estudios que informaron la presencia de acrilamida en ciertos alimentos fueron evaluados a nivel internacional por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización para los Alimentos y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas (ONU) y por un Comité Científico sobre alimentos. Este hallazgo impulsó una serie de estudios para identificar otros alimentos capaces de formar acrilamida, los mecanismos de formación, métodos de análisis, toxicología y niveles de exposición.

Los compuestos que lideran la formación de acrilamida son los azúcares reductores y el aminoácido asparragina (7). Recientemente, se demostró que la principal vía de formación

de acrilamida en los alimentos involucraba la participación de ambas moléculas; otras vías para su formación son de menor importancia (10). Este conocimiento abrió el camino para el estudio concreto de modelos cinéticos (relación temperatura/ tiempo en la formación de acrilamida; reacción entre aminoácidos y azúcares reductores) y en establecer la asociación entre formación de acrilamida y formas de procesar los alimentos. Varias medidas podrían ser tomadas a tiempo para reducir la formación de acrilamida en los alimentos, sin embargo, se necesitan tratamientos individuales para cada categoría de alimentos, y en muchos casos implicaría la aplicación de medidas específicas (caso a caso) en las distintas etapas de elaboración de un alimento, desde el alimento crudo, su almacenamiento, procesamiento, incluso la preparación final del producto en el hogar.

En el presente trabajo se analizan algunos aspectos toxicológicos, métodos de análisis, exposición dietaria y niveles de acrilamida en los alimentos, información oficial disponible, mecanismos de formación, importancia de la asparragina y la reacción de Maillard, otras vías propuestas para la formación de acrilamida en los alimentos y las posibles estrategias para mitigar la formación de acrilamida en diferentes alimentos.

¿Qué es la acrilamida?

La acrilamida (2-propenamida) (figura 1) es un producto químico de amplio uso en la industria (se utiliza en la síntesis de poliacrilamidas), del cual se conocen varias características físico-químicas (tabla 1). Se presenta como un polvo blanco cristalino soluble en agua, etanol, metanol, dimetiléter y acetona; no es soluble en heptano ni benceno. Se polimeriza rápidamente al alcanzar el punto de fusión o al ser expuesto a la luz ultravioleta. La acrilamida sólida es estable a temperatura ambiente, pero puede polimerizarse violentamente cuando se mezcla o expone a agentes oxidantes. La acrilamida

se emplea fundamentalmente en el tratamiento del agua potable, en el procesado de la pulpa de papel y también para retirar sólidos en suspensión de las aguas residuales de la industria antes de ser eliminados o para su eventual reutilización. Sin embargo, existe un gran número de otras posibles aplicaciones, como aditivo en cosméticos, acondicionador de suelos, procesado de minerales y en la formulación de agentes selladores para diques, túneles, represas y alcantarillados (1-3).

En un comienzo, se pensó que las principales fuentes de exposición a la acrilamida en la población eran el agua potable y el humo del cigarrillo, hasta la publicación del estudio de los investigadores suecos, donde se incluye también a cierto tipo de alimentos como fuente de exposición.

En Estados Unidos, la exposición de la población a la acrilamida a través del agua es relativamente baja (se han determinado niveles máximos de 0.1 µg/L).

Aspectos toxicológicos de la acrilamida

Estudios *in vitro* con células de mamífero en cultivo, e *in vivo* con ratas y ratones, han demostrado que la administración prolongada de acrilamida daña el material genético de las células y en ratas induce tumores. Debido a que no es posible determinar un nivel de exposición, se debe asumir que, niveles de exposición aunque sean muy bajos, producen riesgos para la salud.

Existen estudios que pretenden establecer una asociación entre exposición de trabajadores a la acrilamida en fábricas y muertes por cáncer. Sin embargo, los estudios no han sido concluyentes y no se ha logrado demostrar con claridad una causalidad directa del aumento de muertes por cáncer en los trabajadores expuestos. En conjunto, y considerando toda la información relevante disponible, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el

Cáncer (IARC) ha catalogado a la acrilamida como “probable carcinogénico para los humanos” (clase 2A) (2). Se dispone de información que demuestra que la acrilamida produce lesiones del sistema nervioso en los humanos (3-5), en forma generalmente, de neuropatía periférica. Los estudios se han realizado principalmente en trabajadores expuestos a través del aire respirado y por la piel, y no es posible valorar en qué forma este nivel de exposición es comparable a la exposición potencial por la alimentación.

Los estudios en animales han demostrado también efectos sobre la reproducción, en particular, disminución de la fertilidad en el macho (6), aunque no existen datos sobre posibles efectos en la reproducción en humanos.

La información disponible en la actualidad es insuficiente para hacer estimaciones sobre la ingesta total de acrilamida a través de la alimentación. Los estudios suecos indicaban que la ingesta podría ser de hasta 100 microgramos por día, lo que equivale aproximadamente a 1.7 microgramos por Kg. de peso corporal/ día, más de mil veces menor que las dosis que causaban efectos sobre el sistema nerviosos o reproductor en los estudios con animales.

Métodos de análisis

Los datos disponibles sobre la presencia de acrilamida en diferentes alimentos son confiables debido a que los métodos analíticos utilizados por los laboratorios que realizaron estos estudios habían sido validados. La validación fue posible en parte, gracias a la utilización de isótopos marcados, lo cual permitió obtener materiales de referencia adecuados y estándares internos de modo de alcanzar una mayor precisión. En la actualidad, los laboratorios utilizan métodos estándares para medir la presencia de acrilamida en los alimentos. Los métodos analíticos utilizados en distintos alimentos y sus respectivas matrices fueron revisados recientemente (11-12). Si bien ellos difieren

considerablemente en los procedimientos de extracción y limpieza de las muestras, hay similitud en la metodología de detección por espectrometría de masa (EM) la que presenta bastante sensibilidad. Desde que se descubrió en el año 2002 la presencia de acrilamida en los alimentos cocinados, se ha utilizado variados métodos, y éstos se han basado principalmente en la cromatografía, ya sea cromatografía gaseosa (CG) (13) o cromatografía líquida (CL) (8, 14-16) seguida por espectrometría de masa (EM).

Exposición dietaria y niveles de acrilamida en los alimentos

Después de los primeros hallazgos de acrilamida en alimentos cocinados de alto contenido de almidón como son las papas fritas, las investigaciones se centraron en buscar acrilamida en otro tipo de alimentos. Los resultados de estos estudios establecieron que la acrilamida se producía en distintos alimentos de acuerdo a su origen y composición y al modo de preparación. Dentro de éstos destacan el pan, pastas, arroz, salsas, carnes, galletas, cereales, cerveza, pizza y productos a base de papas, maíz y harina. Se ha reportado una concentración promedio de acrilamida en papas horneadas de 1000 µg/kg y en papas fritas de 500 µg/kg. Otro grupo de alimentos que produce niveles importantes de acrilamida son los derivados de cereales, galletas y palomitas de maíz.

La acrilamida se forma probablemente en muchos alimentos, pero no todos han sido estudiados. La cantidad a la que el consumidor está expuesto está relacionada con los niveles presentes en el alimento y la cantidad de alimento consumida. Los alimentos que no son fritos no contienen cantidades apreciables de acrilamida (crudos o cocidos en agua). En un estudio en el que participaron 1200 personas entre 17-70 años se registró el consumo de alimentos por una semana y se estimó una exposición a acrilamida de 25 µg/día (siendo la ingesta máxima seis veces mayor). Dentro de los alimentos que contribuían a estos niveles

de exposición destacaban los productos de la papa con un 36%, pan 16%, galletas 5%, cereales 3% y otros con un 40%. Un tema interesante de abordar es el que tiene relación con los niveles de exposición a acrilamida en los alimentos de acuerdo a la edad del individuo; aunque aún no se ha podido establecer una diferencia etárea significativa. En la tabla 2 se muestra los niveles de acrilamida promedio en distintos alimentos obtenidos por grupos de investigadores noruegos, suecos, suizos, ingleses y norteamericanos. Otras investigaciones han reportado formación de acrilamida en alimentos preparados en el hogar (17-18).

Información oficial disponible

Tras la primera publicación a comienzo del 2002 sobre la presencia de acrilamida en los alimentos, tanto en Europa como Norteamérica (Estados Unidos y Canadá), se formaron diversos grupos de investigación con el objetivo de obtener la mayor información posible sobre la presencia de acrilamida en diferentes alimentos, mecanismos de formación, métodos de análisis, aspectos toxicológicos, niveles de exposición, estrategias para mitigar su formación, entre otros. Además, se creó una base de datos oficiales, donde se ha publicado una serie de estudios vinculados a la acrilamida los que están disponibles para las autoridades, laboratorios de investigación científica y la industria alimentaria. En la tabla 3 se muestra información oficial sobre la acrilamida y el organismo de referencia con su respectiva dirección de internet (1-3).

Mecanismos de formación de la acrilamida en los alimentos

Poco después del descubrimiento de acrilamida en ciertos alimentos cocinados, investigadores de distintas universidades, industrias y laboratorios oficiales comenzaron

una serie de estudios con el objeto de comprender el origen de la producción de acrilamida en los alimentos. Al inicio de las investigaciones se plantearon varias hipótesis sobre las posibles vías de formación, enfocándose inicialmente en vegetales, grasas y aceites, abarcando principalmente a los alimentos ricos en carbohidratos cocinados (hervidos o fritos) (1, 16).

Importancia de la asparragina y la reacción de Maillard

Las primeras evidencias concretas sobre el origen de la acrilamida en los alimentos que involucraban a la asparragina se publicaron en el año 2002 por varios grupos de investigadores, que trabajaron de forma independiente en los Estados Unidos, Canadá, Suecia, Alemania e Inglaterra. Utilizando asparragina marcada con nitrógeno radioactivo y posterior detección por espectometría de masa, se demostró que los tres carbonos del esqueleto y la amida que forman la acrilamida corresponden a la molécula de asparragina. En la figura 2 se ilustra un esquema simplificado con las moléculas iniciales y los precursores que se han propuesto para la formación de acrilamida en los alimentos.

Se encontró que a altas temperaturas, la decarboxilación y deaminación de la asparragina producía acrilamida. Sin embargo, otros estudios no detectaron formación de acrilamida al someter asparragina por sí sola a altas temperaturas. Finalmente, se estableció que la formación de acrilamida requería la presencia de azúcares reductores y temperaturas sobre 100 °C. Esto llevó a la conclusión de que la formación de acrilamida está íntimamente ligada a la bien conocida reacción de Maillard.

La reacción de Maillard es considerada una reacción de pardeamiento no enzimático que se utiliza industrialmente para generar aromas y colores especiales en los alimentos. Además, la reacción de Maillard no sólo ocurre en alimentos sino que también se produce en

organismos vivos bajo ciertas condiciones fisiológicas. En etapas iniciales de la reacción de Maillard, el grupo amino se condensa con el grupo carbonilo del azúcar reductor para producir un derivado N-glucosilo del aminoácido. Este intermediario puede reordenarse a través de reacciones de deshidratación y formar una gran cantidad de compuestos de bajo peso molecular incluyendo compuestos bicarbonilos. En estas reacciones, los aminoácidos pueden reaccionar con otros compuestos como por ejemplo los bicarbonilos (7-8, 20-22).

Otras vías propuestas para la formación de acrilamida en los alimentos

Algunas investigaciones han descrito un importante rol de la acroleína en la formación de acrilamida, particularmente en los alimentos ricos en lípidos. La acrilamida puede formarse a partir de la acroleína o del ácido acrílico. Se ha descrito en la literatura varias rutas para la formación de acroleína, incluso múltiples procesos oxidativos asociados a la degradación térmica de triacilglicéridos, glicerol, carbohidratos, aminoácidos o productos de la reacción de Maillard. La acroleína puede aportar a la reacción su carbonilo funcional y en la presencia de asparragina libre puede generar apreciables concentraciones de acrilamida. Una ruta más directa es la reacción de la acroleína con el amoníaco, seguido por la oxidación del hidróxido de amonio que es intermediario en la formación de la acrilamida. Todo esto aún requiere de más estudios, especialmente la oxidación de la acroleína y el ácido acrílico (23).

Posibles estrategias para mitigar la formación de acrilamida en los alimentos

Una vez confirmados los resultados arrojados por el estudio sueco, los investigadores se focalizaron en encontrar estrategias para mitigar la formación de acrilamida en los alimentos. Los resultados de estas investigaciones permitieron establecer dos líneas

principales de acción destinadas a reducir la formación de acrilamida en los alimentos. Estas acciones se enfocan en: - controlar la influencia de la concentración de precursores y - controlar las temperaturas de cocción (12, 24-29).

1. Influencia de la concentración de precursores.

Como se ha señalado, la formación de acrilamida depende de la presencia de algunos aminoácidos (principalmente la asparragina) y azúcares reductores en los alimentos. En consecuencia, se ha descrito que la concentración de estos precursores podría afectar la formación de acrilamida lo que implica que si se logra controlar la concentración de estos precursores se reduciría la formación de acrilamida en los alimentos. Debido a que elevados niveles de asparragina aumentan la formación de acrilamida en los alimentos porque interactúan con los azúcares reductores, se ha sugerido el uso de asparraginasa para interrumpir la interacción de la asparragina con los azúcares reductores. El problema que surge es que la asparragina es un aminoácido que cumple un rol importante en el alimento, por ejemplo en la papa, por lo cual usar asparraginasa no sería recomendable (12, 24-25).

La disminución de azúcares reductores en los alimentos también puede contribuir a evitar la formación de acrilamida. Existen medidas alternativas como es la de seleccionar variedades de alimentos con una concentración menor de azúcares reductores (no superior a 1g /kg de alimento). Blanquear o remojar los alimentos también puede contribuir a reducir los niveles de azúcares reductores; un ejemplo es el pre-blanqueo en agua tibia o caliente de las papas cortadas, o sumergirlas en agua a temperatura ambiente antes de freír o asar. Una disminución del pH utilizando ácido cítrico (0.5 – 1% por un período menor que 20 minutos) reduce la cantidad de acrilamida formada. El almacenamiento de las papas a temperaturas menores a 8 °C causa un aumento de los niveles de azúcares reductores, por lo

que no es recomendable almacenar las papas a temperaturas tan bajas. El tipo de aceite utilizado no influye significativamente en la formación de acrilamida. El uso de microondas antes de la cocción aumenta la formación de acrilamida debido a la disminución de la humedad. El contenido de azúcares reductores también depende de factores estacionales, condiciones de cultivo y almacenamiento (24, 26).

2. Influencia de las temperaturas de cocción.

Una causa importante en la formación de acrilamida es la temperatura de cocción; la formación de acrilamida es creciente a medida que aumenta la temperatura (11). Temperaturas y regímenes de cocción sobre los 175 °C aumentan significativamente la formación de acrilamida, por lo que se sugiere no sobrepasar los 120 °C. La presencia de acrilamida es fácilmente detectable cuando un aminoácido precursor en presencia de glucosa procedente de almidón se somete a una temperatura superior a 175 °C, especialmente cuando la temperatura sobrepasa los 200 °C. Por el contrario, a temperaturas bajo 120 °C no se detecta acrilamida. La disminución del tiempo de cocción también reduce la formación de acrilamida; se evita el ennegrecimiento. Los principales alimentos en los que aumentan los niveles de acrilamida como consecuencia del ennegrecimiento por la cocción son papas, cereales y café.

El café es otro producto en el cual se ha detectado la presencia de acrilamida, por lo cual el desarrollo de estrategias para disminuir su formación adquiere importancia considerando que el elevado consumo de café puede contribuir a aumentar los niveles de exposición (26-30). La acrilamida se forma durante el proceso de tostado del café y sus niveles pueden variar dependiendo de las diferentes variedades de café utilizadas. Esto dificulta la identificación de un método para optimizar el tostado, y así disminuir la formación de

acrilamida. No hay estudios que permitan bajar los niveles de acrilamida formados y se sugiere el tostado por convección, aunque no está claro si es posible utilizarlo. No se dispone aún de tecnología adecuada para disminuir los niveles de azúcares reductores en el café.

¿La presencia de Acrilamida en los alimentos, es un riesgo para la salud?

Hasta la fecha no existen antecedentes confiables para predecir si en los seres humanos la exposición a acrilamida a través de los alimentos puede contribuir al desarrollo de alguna enfermedad; no se dispone de estudios epidemiológicos y toxicológicos que permitan establecer causalidad de la presencia de acrilamida en los alimentos en el desarrollo de alguna enfermedad. Otro problema radica en establecer los niveles de exposición dietaria máximos permisibles en la población, debido principalmente a que el tipo de alimentos y los niveles de consumo entre los individuos es muy variable. Los métodos analíticos utilizados para evaluar la presencia de acrilamida en los alimentos también deben ser continuamente revisados para mejorar los límites de detección y sensibilidad, tanto en la identificación como en la cuantificación.

Comentario

En Chile no existen estudios sobre la presencia de acrilamida en alimentos. Sin embargo, de acuerdo a los resultados de investigaciones internacionales, en nuestra población debería preocuparnos el elevado consumo de alimentos tales como, pan, papas fritas, empanadas fritas u horneadas, entre otros, potenciales formadores de acrilamida, especialmente si no se controlan las condiciones de preparación de dichos alimentos. Para establecer las implicancias de este problema en la dieta de los chilenos y las consecuencias futuras que se

pueden producir, sería de interés realizar una estimación promedio de la exposición a acrilamida de la población chilena basada en la cantidad, frecuencia y modo de preparación del consumo de alimentos formadores de acrilamida.

Conclusiones

Los antecedentes expuestos permiten concluir que en cierto tipo de alimentos se puede formar acrilamida, especialmente aquellos ricos en azúcares reductores sometidos a un sistema de cocción a elevadas temperaturas. Si bien los resultados de estudios *in vivo* e *in vitro* han demostrado que la exposición a acrilamida puede producir efectos cancerígenos y alteraciones en el sistema reproductivo, nervioso y genético, aún no es posible establecer una asociación directa entre la presencia de acrilamida en los alimentos y un riesgo para la salud. No obstante, se recomienda tomar medidas, algunas de las cuales son bastante simples, para reducir su producción. El desafío actual consiste principalmente en mejorar la sensibilidad de los métodos de detección y llegar a establecer el real daño que la exposición a la acrilamida puede producir en la salud de la población.

Resumen

La acrilamida es considerada un agente tóxico para la reproducción, con propiedades tanto mutagénicas como carcinogénicas; está clasificada como un pro-cancerígeno en humanos (clase 2A). Adicionalmente, la exposición a bajos niveles de acrilamida causa daños al sistema nervioso. En abril del año 2002 un grupo de investigadores suecos demostró la presencia de considerables niveles de acrilamida en ciertos alimentos ricos en almidón que eran procesados a altas temperaturas (más de 120 °C). Otros investigadores descubrieron que la acrilamida se forma en los alimentos durante la reacción de Maillard, la cual ocurre

durante el calentamiento, elaboración y almacenamiento de los alimentos, aunque también se forma *in vivo* en mamíferos. Estos resultados fueron rápidamente confirmados y evaluados por la OMS, la FAO y un Comité Científico sobre Alimentos, impulsándose la realización de estudios para identificar la acrilamida en otros alimentos, mecanismos de formación, métodos de análisis, toxicología, niveles de exposición, entre otros. La acrilamida se forma principalmente a partir de azúcares reductores y el aminoácido asparragina: Se ha descrito otras vías de formación aunque de menor importancia. Se puede seguir una serie de recomendaciones en la preparación de los alimentos para reducir su formación.

Bibliografía

1. Swedish National Food Administration. Acrylamide is formed during the preparation of foods. Available at: http://www.slv.se/templatesSLV/SLV_Page_6182.asp. Accessed October 22, 2004.
2. IARC, International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Industrial Chemicals. Acrylamide. Lyon, France: IARC; 1994;60:389-433.
3. Enviromental Protection Agency. United Sates. <http://www.epa.gov/iris/subst/0286.htm>
4. LoPachin RM, Lehning EJ. Acrylamide- Induced distal axon degeneration: a proposed mechanism of action. Neurotoxicology. 1994, 15: 247-259.
5. Costa LG, Deng H, Gregotti C. et al. Comparative studies on the neuro – and reproductive toxicity of acrylamide and its epoxide metabolite glycidamide in the rat. Neurotoxicology. 1992; 13: 219-224.

6. Dearfield KI, Albernathy CO, Ottley MS, Branter JH, Hayes PF. Acrylamide: its metabolism, developmental and reproductive effects, genotoxicity, and carcinogenicity. *Mutat Res* 1988; 195: 45-77.
7. Mottram DS, Wedzicha BI, Dodson AT. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature* 2002; 419: 448-449.
8. Zyzak DV, Sanders RA, Stojanovic M, et al. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J Agr. Food Chem.* 2003; 51: 4782-4787.
9. Frye EB, Degenhardt TP, Thorpe SR, Baynes JW. Role of the Maillard reaction in aging of tissue proteins: advanced glycation end product-dependent increased in imidazolium cross-link in human lens proteins. *J Biol Chem* 1998; 273: 18714-18719.
10. Yasuhara A, Tanaka Y, Hengel M, Shibamoto T. Gas Chromatographic investigation of acrylamide formation in browning model systems. *J Agr Food Chem.* 2003; 51: 3999-4003.
11. Wenzl T, De La Calle MB, Anklam E. Analytical methods for the determination of acrylamide in food products: A Review. *Food Addit Contam.* 2003; 20: 885-902.
12. Taeymans D, Ashby J, Blank I, et al. A review of acrylamide: an industry perspective on research, analysis, formation and control. *Crit Rev Food Sci.* 2004; 44:323-347.
13. Tateo F, Bononi M, A. GC/MS method for the routine determination of acrylamide in food. *Ital J Food Sci.* 2003; 15: 149-151.
14. Roach JA, Andrzejewski D, Gay ML, Nortrump D, Musser SM. Rugged LC-MS/MS survey analysis for acrilamida in foods. *J Agric Food Chem* 2003; 51: 7547-7554.
15. Becalski A, Lau BP, Lewis D, Seaman SW. Acrylamide in foods: occurrence, sources, and modelling. *J Agric Food Chem* 2003; 51: 802-808.
16. Tareke E, Rydberg P, Karlsson P, Eriksson S, Tornqvist M. Analysis of acrylamide a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J Agric Food Chem* 2002; 50: 4998-5006.

17. Konings EJ, Bears AJ, Van Klaveren JD, et al. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risk. *Food Chem Toxicol* 2003; 41: 1581-1586.
18. Scientific Committee of the Norwegian Food Control Authority. Risk Assessment of Acrylamide Intake from Foods with Special Emphasis on Cancer Risk. Available at: <F:\acrylamide 1\Acrylamide Risk Assessment.htm>.
19. Stadler RH, Scholz G. An update on current knowledge in analysis, level in food. Mechanisms of formation and potential strategies of control. *ProQuest Sci J* 2004; 62:449-467.
20. Weisshaar R, Gutche B. Formation of acrylamide in heated potato products – Model experiments pointing to Asparagine as precursor. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*. 2002; 98: 397-399.
21. Ledl F, Schleicher E. New aspects of the Maillard reaction in foods and in the human body. *Angew Chem Int Ed Engl*. 1990; 29: 565-594.
22. Surkyk N, Rosen J, Andersson R, Aman P. Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *J Agric Food Chem* 2004; 52: 2047-2051.
23. Gertz C, Klostermann S. Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *Eur J Lipid Sci Tech* 2002; 104: 762-771.
24. Amrein TM, Bachmann S, Noti A, et al. Potential of acrylamide formation, sugars and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *J Agric Food Chem* 2003; 51: 5556-5560.
25. Becalski A, Lau BP, Lewis D, et al. Acrylamide in French fries: influence of free amino acids and sugars. *J Agric Food Chem* 2004; 52: 3801-3806.

26. Biedermann-Brem S, Noti A, Grob K, Imhof D, Bazzocco D, Pfefferle A. How much reducing sugar may potatoes contain to avoid excessive acrylamide formation during roasting and baking?. *Eur Food Res Technol* 2003; 217: 369-373.
27. Taubert D, Harlfinger S, Henkes L, Berkeles R, Scheming E. Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. *J Agric Food Chem* 2004; 52: 2735-2739.
28. Rydberg P, Eriksson S, Tareke E, Karlsson P, Ehrenberg L, Torqvist M. Investigation of factor that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *J Agric Food Chem* 2003; 51: 7012-7018.
29. Amrein TM, Schonbaxhler B, Escher F, Armado R. Acrylamide in gingerbread; critical factors for formation and possible ways for reduction. *J Agric Food Chem* 2004; 52: 4282-4288.
30. FAO/WHO Consultation on the Health Implications of Acrylamide in Food. 25 – 27 June 2002, Geneva, Switzerland. <F:\acrylamide 1\Acrylamide Risk Assessment.htm>.

Tabla 1

Características fisicoquímicas de la acrilamida

- Nombre químico: 2-propenamida
- Sinónimos: etilén carboxamida; amida acrílica; vinil amida.
- Peso molecular: 71.09
- Formula química: $\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$
- Punto de ebullición: 125°C
- Punto de fusión: 87.5°C
- Presión de vapor: 1.6 mm Hg a 85°C
- Punto de inflamabilidad: 138°C
- Solubilidad en agua: miscible.

Tabla 2

Concentraciones de acrilamida en distintos alimentos (30)

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

Tabla 3

Bases de Datos

Organismo	Direcciones de internet
Food Standards Agency (FSA, UK)	http://www.food.gov.uk/search?p=Q&mainresults=mt_mainresults_yes&ts=v2&w=acrylamide&submit.x=9&submit.y=4
Health Canada	http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/acrylamide/can_exp_acryl_food-alim_e.html
Joint Institute for Food Safety and Applied Nutrition, acrylamide in Food Network (FAO/WHO JIFSAN, US)	http://www.acrylamide-food.org/
European Commission Joint Research Center (JRC)	http://www.irmm.jrc.be/html/news/news/acrylamide_rm_feb07.htm
Environmental Protection Agency. United States.	http://www.epa.gov/iris/subst/0286.htm

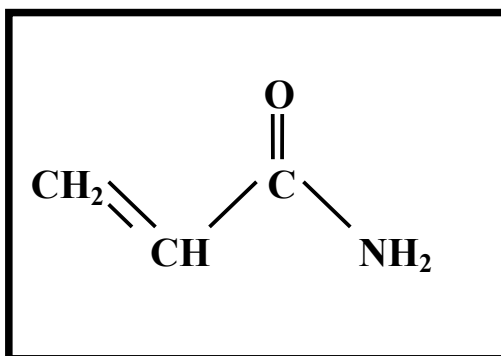


Figura 1. Estructura química de la Acrilamida

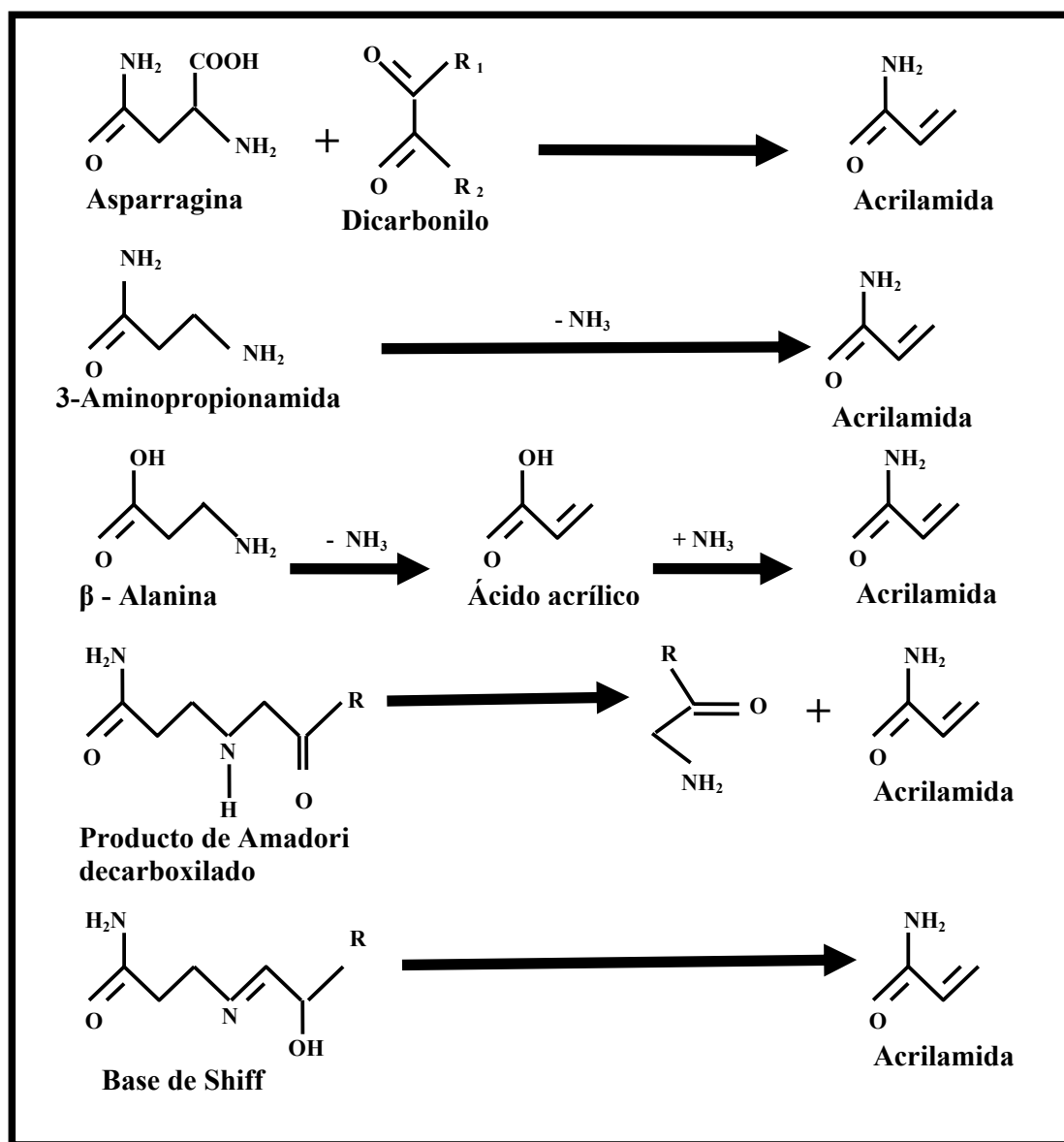


Figura 2. Moléculas iniciales y precursoras propuestas para la formación de acrilamida en los alimentos.