



Facultad de Veterinaria  
**Universidad Zaragoza**



# Trabajo Fin de Grado en Ciencia y Tecnología de los alimentos

**Buenas prácticas de higiene para la prevención y control de peligros químicos en el  
procesado de alimentos.**

**Good hygiene practices for the prevention and control of chemical hazards in food  
processing.**

Autor/es

**Diego Nicolás Agustín**

Director/es

**D<sup>a</sup> Pilar Conchello Moreno y D Antonio Herrera Marteache**

Facultad de Veterinaria

2017

## ÍNDICE:

Resumen/Abstract.....	3
Introducción.....	3
Justificación y objetivos.....	4
Metodología.....	5
Resultados.....	7
1. Compuestos pirorgánicos.....	8
1.1. Hidrocarburos policíclicos Aromáticos.....	8
1.2. Aminas heterocíclicas aromáticas.....	15
1.3 Acroleína.....	18
2. Contaminantes químicos derivados de aminoácidos en la reacción de Maillard.....	18
2.1 Melanoidinas.....	19
2.2 Acrilamida.....	20
2.3 Hidroximetilfurfural.....	27
2.4 Furano.....	29
3. Compuestos por tratamiento alcalino.....	30
4. Compuestos producidos por degradación o reacción de contaminantes.....	30
4.1 Nitrosaminas.....	30
5. Termooxidación lipidica.....	33
5.1 Compuestos Polares.....	34
5.2 Polímeros y monómeros de ácidos grasos cíclicos.....	36
5.3 3-monocloropropanodiol.....	36
6. Productos de radiolisis producidos durante la irradiación de los alimentos.....	38
Conclusiones.....	38
Aportaciones en materia de aprendizaje.....	39
Bibliografía.....	39

## **RESUMEN:**

Los tóxicos derivados constituyen un grupo de sustancias tóxicas o potencialmente tóxicas que se forman mediante reacciones químicas o enzimáticas entre sustancias presentes naturalmente y/o sustancias adicionadas a los alimentos, durante procesos como las altas temperaturas, fermentaciones, hidrólisis o ahumado entre otros. Actualmente, su formación es una cuestión importante relacionada con la seguridad alimentaria debido a que muchos de ellos son considerados posibles o probables agentes carcinógenos en seres humanos.

En este trabajo se recopila información científica sobre los tóxicos derivados más importantes, se analizan las circunstancias que contribuyen a su presencia y se plantean las medidas para su control. Los resultados obtenidos constituyen un elemento clave para la aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos a la hora de garantizar la seguridad alimentaria.

## **ABSTRACT:**

Toxic derivatives are a group of toxic or potentially toxic substances which are formed through chemical or enzymatic reactions between substances in nature and / or substances added to foods, during processes such as high temperatures, fermentation, hydrolysis or smoking, among others. Currently, their formation is an important issue to food safety due to many of them being potential carcinogens in humans.

This project compiles information on the most important toxic derivatives and analyzes the conditions that affect its presence and proposes measures for its control. The results obtained constitute a key element for the application of Hazard Analysis and Critical Control Points System to guarantee food security.

## **INTRODUCCIÓN:**

En la actualidad existen gran cantidad de peligros químicos en los alimentos, debido a las numerosas fuentes de contaminación que existen, por lo que controlarlos es una prioridad de la sociedad para garantizar su seguridad alimentaria. Entre ellos, los tóxicos derivados son los peligros químicos que se forman por reacciones químicas o enzimáticas en el procesado o manipulación industrial de los alimentos, es decir no llegan al alimento en la producción primaria, ni se introducen en el almacenamiento o transporte si no que son consecuencia del propio procesado.

Algunos de estos tóxicos derivados son considerados posibles cancerígenos, mutágenos y con diversos efectos crónicos para la salud humana.

El constante incremento de nuevos procedimientos de preparación, elaboración y conservación de los alimentos y la preocupación por los nuevos contaminantes que se producen en la industria alimentaria ha motivado un gran interés por conocer la naturaleza de las sustancias tóxicas que se generan, los procesos de formación de las mismas, su posible toxicidad y límites de seguridad, así como las medidas para su control.

El análisis de riesgos es una herramienta para la seguridad alimentaria que se encarga de los peligros y propiedades de los alimentos. Examina posibles efectos de un peligro que afecta al suministro de alimentos y permite tomar decisiones con base científica.

En este contexto, la evaluación de riesgos es una parte fundamental del análisis de riesgos, por lo que recopilar información científica actualizada constituye un elemento esencial para valorar la importancia de estos tóxicos y garantizar una producción y disponibilidad de alimentos seguros. Esto se consigue mediante la gestión del riesgo, implementándose mediante acciones tanto por parte de la administración como por parte de los operadores económicos que lleven a cabo medidas de control en las industrias alimentarias.

### **JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS:**

La búsqueda de información acerca de estos peligros es de gran importancia para poder tomar estas medidas de control y así poder aplicarlas sistemáticamente en la industria alimentaria.

El objetivo general de este trabajo es recopilar la información científica disponible mediante una revisión bibliográfica que sirva de base para la validación del análisis de peligros en el marco del sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC).

Para ello se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Recopilación y análisis de información científica.
2. Identificación y caracterización de los tóxicos derivados.
3. Evaluación de la exposición a estos tóxicos en la actualidad.
4. Actualización del marco legal que regula su control.
5. Identificación de las medidas necesarias para su prevención y control.

La información generada en el trabajo puede ser útil para evaluar individualmente cada peligro y en consonancia con los demás peligros que se producen en el procesado de alimentos. Los resultados tienen aplicación para evaluar primero, si los peligros podrían ocurrir durante el proceso de producción, almacenaje o durante la utilización del alimento por el consumidor; segundo para estimar la ocurrencia probable de los peligros para la salud y la gravedad de sus efectos, y finalmente para determinar los procedimientos y puntos de control críticos, el grado de monitoreo exigido y cualquier cambio en el proceso o en los ingredientes que reduzcan el riesgo de los peligros existentes.

La realización de este Trabajo Fin de Grado contribuye a alcanzar competencias propias del Grado en Ciencia y Tecnología de los alimentos en el ámbito de la Seguridad Alimentaria, así como al desarrollo de las habilidades de aprendizaje necesarias para reunir e interpretar datos relevantes y emitir juicios con un alto grado de autonomía.

## **METODOLOGÍA**

En este trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica basada en la búsqueda, recopilación y análisis de la información científica más recientemente publicada durante el periodo de tiempo desde febrero de 2017 hasta noviembre de 2017, en las principales bases de datos bibliográficas y buscadores comunes.

Las bases de datos utilizadas en este trabajo fueron: *SciELO*, *Corchane*, *Pubmed*, *Pubchem* o *Google académico*.

En estas bases de datos se han aceptado los artículos y documentos de mayor relevancia publicados en los últimos años (desde el 2010 hasta la actualidad). Se ha incidido en aquellos artículos que trataban los tóxicos desde el punto de vista de la evaluación de riesgos.

La búsqueda generalmente se realizó usando el inglés como lengua principal al ser la más utilizada en el campo científico y también en castellano.

Se aplicaron palabras clave y criterios de inclusión/exclusión en los buscadores y filtrando los contenidos por temática campo, fechas de publicación, idiomas y lugar de publicación.

Se activó el término de búsqueda medical “MeSH” (Medical Subject Headings), las palabras que podían crear confusión en el buscador.

Criterios de inclusión y exclusión:

Se han incluido los artículos que cumplen los requisitos:

- Revisiones sistemáticas, meta-análisis, y ensayos clínicos aleatorizados, publicados posteriormente al año 2010, libres de pago, escritas en castellano o inglés.
- Artículos teóricos que asientan las bases para la clasificación y caracterización de los tóxicos, anteriores al año 2010.

Se descartaron los artículos que:

- Son revisiones antiguas al año 2010, o que su información esta desestimada u obsoleta.
- No cumplen el rigor científico, no tienen bibliografía señalada o no tienen resumen.

Las palabras clave utilizadas para ser introducidas en los buscadores de las bases de datos fueron: *Food safety/ Seguridad alimentaria, Hydrocarbon policyclic/ hidrocarburos policíclicos aromáticos, heterocyclic amines /aminas heterocíclicas, acrolein/ acroleína, acrilamide/ acrilamida.*

En cada búsqueda se obtenían un total de 50-100 resultados, de los cuales se seleccionaban 20 mediante los filtros mencionados, de estos se escogían los 10 que mayor interés tenían para este trabajo y se escogían los textos con el contenido más conveniente.

La organización de la información se ha basado en los diferentes tipos de tóxicos derivados identificados que existen en la industria alimentaria, ya que cada uno se forma con diferentes procesos y afectan uno u otro factor que los hacen prácticamente independientes unos de otros.

La presentación de cada tóxico incluye una breve introducción que nos ponga en contexto global, después se incide en la toxicidad de cada contaminante, su marco legal y finalmente se analizan las medidas y buenas prácticas higiénicas para su prevención y control en la industria alimentaria.

## **RESULTADOS:**

Los “tóxicos derivados” se definen como cualquier sustancia tóxica o potencialmente tóxica que puede formarse química o enzimáticamente en los alimentos durante el procesado, preparación o almacenamiento de los mismos. En los alimentos hay componentes precursores que pueden generar tóxicos derivados debido al procesado a altas temperaturas, ahumado, hidrólisis o fermentaciones entre otros. <sup>1,2,3</sup>

El empleo de altas temperaturas, en combinación con otros factores externos a los alimentos durante el procesado y preparación de alimentos, producen innumerables reacciones químicas que, según las condiciones, pueden llegar a producir tóxicos derivados.

Para ello han de estar establecidas las propiedades toxicológicas de cada uno de ellos individualmente y las diferentes combinaciones que se pueden dar con los diferentes procesos y alimentos. <sup>1,2</sup>

El estudio y la identificación de estos contaminantes tóxicos se ha convertido en una cuestión imprescindible para garantizar la seguridad alimentaria debido a que muchos de ellos son considerados posibles o probables agentes carcinógenos en seres humanos.

Los tóxicos derivados formados en alimentos se pueden clasificar en los siguientes grupos: <sup>1,2</sup>

### 1. Compuestos pirorgánicos:

- Hidrocarburos policíclicos aromáticos.
- Aminas heterocíclicas, derivados de aminoácidos.
- Acroleína.

### 2. Compuestos no pirolíticos derivados de aminoácidos

- Melanoidinas.

### 3. Compuestos formados por tratamiento alcalino

- Lisoalanina y otros.
- Aminas presoras.

### 4. Compuestos producidos por degradación o reacción de contaminantes

- Nitrosaminas

### 5. Compuestos originados por calentamiento y oxidación de grasas y aceites.

### 6. Productos de radiolisis producidos durante la irradiación de los alimentos

## **1. COMPUESTOS PIROORGÁNICOS:**

El tratamiento térmico es uno de los procesos más usados para preparar los alimentos, influyendo en su composición química dependiendo de la forma en la que el alimento este cocinado, así como de las temperaturas que se alcanzan en este proceso. Debido a esto en el alimento se producen diferentes reacciones que después influirán en su aroma, sabor, textura, color, pero también pueden dar lugar a la formación de sustancias más o menos tóxicas.<sup>3,4</sup>

Los compuestos piroorgánicos como los hidrocarburos policíclicos aromáticos, las aminas heterocíclicas, derivados de aminoácidos y la acroleína, se forman a altas temperaturas de alrededor de 300°C o superiores.<sup>3</sup>

### **1.1. HIDROCARBUROS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS**

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PHAs) constituyen un amplio grupo de más de cien compuestos que se caracterizan por poseer en su estructura dos o más anillos de benceno unidos entre sí y en algunos casos un anillo pentagonal.<sup>1,4,5</sup>

Entre los hidrocarburos policíclicos aromáticos más importantes incluyen el antraceno y fenantreno, fluorenos y benzopirenos, siendo el benzopireno el más tóxico de ellos reconocido actualmente

Los PHAs son compuestos lipófilos, principalmente aquellos de masas moleculares más elevadas. También se caracterizan por ser inestables fotoquímicamente, degradándose por fotooxidación

Su formación en el procesado de alimentos se debe a la combustión incompleta o pirolisis de sustancias orgánicas, las cuales se descomponen por el calor para después dar lugar a estos compuestos. En alimentos su formación va ligada a los productos ahumados, tostados o a la brasa.

La formación de PHAs en el ahumado en los alimentos, depende de factores como la composición de la madera que se está usando, la temperatura de combustión, la técnica de ahumado utilizada, el tipo de dispositivo generador de humo, la disponibilidad de oxígeno y el tiempo que permanece expuesto el alimento.

También aparecen en procesos con tratamientos térmicos, como el tostado, fritura, asado a la barbacoa o a la parrilla, secado, y la atomización o hidrogenación de grasas. En estos tratamientos térmicos las temperaturas pueden alcanzar entre 400 y 800°C, siendo unas temperaturas bastante agresivas dependiendo de si el tratamiento es directo o indirecto.<sup>5,6</sup>



**Toxicidad:**

Los PHAs son compuestos con una toxicidad variable dependiendo de su estructura molecular. Los factores que determinan esta variabilidad van desde el tamaño, la forma o la presencia de sustituyentes en los anillos bencénicos y también está asociado a la toxicidad el fenómeno de “bahía” o “fiordo” en la estructura molecular de los PHAs.

Sobre la absorción de estos tóxicos se tiene muy poca información, siendo los de menor peso molecular los que mayor absorción tienen en el organismo. Estos una vez ingeridos se distribuyen por casi todos los órganos, incluso pueden pasar al feto en la gestación.

El metabolismo de estos compuestos hace que se puedan transformar en moléculas mas polares que se eliminen a través de la orina o excretados con las heces, sin que se bioacumulen. Pero algunos se transforman en metabolitos reactivos que se unen al DNA y producen mutaciones y carcinogenicidad.<sup>5</sup>

La toxicidad aguda suele ser baja, en experimentos con roedores los valores de dosis LD50 generalmente son superiores a 50mg/kg peso vivo, por lo que resultan menos peligrosos que la mayoría de insecticidas o acaricidas. El problema está en los efectos a medio y largo plazo.<sup>6</sup>

Se ha determinado mediante diferentes estudios experimentales con ratas de laboratorio que muchos de ellos son genotóxicos, mutagénicos y/o cancerígenos por la vía oral.<sup>9</sup>

Tradicionalmente se ha estado utilizando el benzo(a)pireno como marcador de la presencia de los 15 HAPs cancerígenos en alimentos, hasta que en 2008, la Opinión científica de EFSA sobre HAPs en alimentos concluyó que el benzopireno no es un buen indicador de toxicidad para los HAPs, y en su lugar se recomendó utilizar como marcador la suma de 4 PHAs: (benzo(a)pireno + criseno + benzo(a)antraceno + benzo(b)fluoranteno).<sup>7</sup>

En la figura 2 se representa la estructura de los 15 PHAs designados como cancerígenos por el Comité Científico de la Comisión Europea sobre la Alimentación Humana.<sup>5</sup>

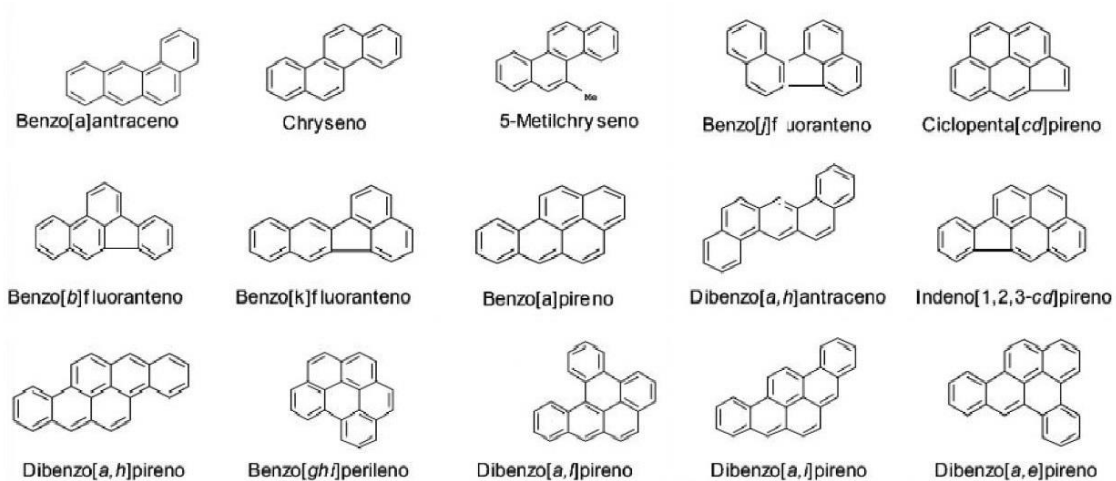


Figura 2 Estructura de los 15 PHAs cancerígenos <sup>5</sup>

Los alimentos donde se han encontrado los niveles más altos son la carne asada, el pescado ahumado, los quesos ahumados, curados y semicurados, el té y el café. <sup>4</sup>

En 2010 la EFSA realizó una encuesta, analizando muestras al azar de alimentos tradicionalmente ahumados, productos elaborados de cereales y cereales y vegetales y productos vegetales. Estos alimentos son los que se creía susceptibles de contener cantidades mayores de PHAs. Los resultados determinaron que los productos con mayor cantidad eran los pescados y mariscos ahumados, los productos que tenían un nivel medio de contaminantes fueron los de carnes ahumadas y carnes de caza, mientras que los productos de vegetales y de cereales presentaban contenido más bajo de PHAs. <sup>8</sup>

No es posible establecer una ingesta diaria tolerable (TDI) para los PHAs debido a su carcinogenicidad, por lo que la EFSA evalúa el riesgo utilizando la aproximación el margen de exposición (MOE)

En cuanto al nivel de exposición, la EFSA ha concluido que:

- para los consumidores medios (aquellos que ingieren de vez en cuando alimentos que contienen HAPs), el MOE es superior a 10.000, por lo que estos no suponen un peligro para la salud pública.
- Para los consumidores altos (aquellos que ingieren muy frecuentemente alimentos que contienen HAPs), el MOE es igual o inferior a 10.000, por lo que no se puede descartar el riesgo. <sup>7</sup>

### **Marco legal:**

El Reglamento (CE) n° 1881/2006, por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios, establece unos contenidos máximos de PHAs para los distintos alimentos.

Este Reglamento está modificado por el Reglamento (UE) 835/2011 de la Comisión, por lo que respecta al contenido de PHAs en los productos alimenticios, tomando en consideración la Opinión científica de la EFSA de 2008, procediendo a incluir en su Anexo niveles máximos para la suma de estos 4 HAPs.

También se ha modificado por el Reglamento (UE) 1327/2014 de la Comisión, en lo que respecta al contenido máximo de PHAs en carne y pescado y sus respectivos derivados ahumados de modo tradicional.

Y a su vez se ha modificado por el Reglamento (UE) 1125/2015 de la Comisión, por lo que respecta al contenido máximo de PHAs en katsuobushi (bonito seco) y determinados arenques del Báltico ahumados.<sup>7,9</sup>

Desde el punto de vista analítico el Reglamento (CE) 333/2007, de la Comisión, establece los métodos de muestreo y de análisis para el control oficial de los niveles de plomo, cadmio, mercurio, estaño inorgánico, 3-MCPD y benzo[a]pireno en los productos alimenticios. Este está modificado por el Reglamento (UE) 836/2011 de la Comisión.<sup>9</sup>

Los métodos de extracción para aislar los PHAs de las muestras de alimentos dependen de la matriz alimentaria a analizar. Dependiendo si la muestra es sólida como carne o pescado, se suele usar la saponificación seguida de una extracción líquido-líquido o una extracción con solventes orgánicos. En menor medida se utilizan técnicas automatizadas como la extracción mediante líquido presurizado y la cromatografía de permeabilización en gel.

Para los alimentos líquidos, como los aceites vegetales, se utiliza frecuentemente la **extracción líquido-líquido**. Las técnicas analíticas para determinar los PHAs principalmente son la **cromatografía de líquidos de alta resolución**, acoplada a un **detector de fluorescencia** y también se usa la **cromatografía de gases** acoplada a una espectrometría de masas.<sup>9</sup>

### **Código de buenas prácticas.**

En el procesado de alimentos, es importante aplicar las buenas prácticas de higiene y aplicar el plan APPCC.

No hay ningún tratamiento que elimine los HAPs una vez producidos en el alimento, por lo que las medidas de prevención se dirigen principalmente a limitar las emisiones en los procesos en los que pueden llegar a producirse estos compuestos.<sup>10</sup>

Desde 2009 se aplica el código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo. este código tiene como objetivo orientar a las autoridades y a la industria para prevenir y controlar la contaminación de alimentos por los HAPs en los procedimientos de ahumado y secado directo.

El productor ha de conocer las condiciones en las que se generan los niveles más altos de HAPs y deberá controlarlas para minimizar la formación de tóxicos. Para ello habrá que determinar y evaluar los puntos importantes a tener en cuenta. También deberá tomar las medidas convenientes para controlar estos puntos.<sup>9</sup>

En los procesos de ahumado y secado de alimentos la formación de PHAs depende de diferentes aspectos:

1. Los combustibles usados para producir el humo.
2. La técnica de ahumado o secado ya sea directo o indirecto.
3. El procedimiento que se usa para generar humo.
4. Otros factores.

Algunas de las medidas de control en el proceso de **ahumado** serán las siguientes:<sup>11</sup>

#### **1. Combustibles:**

En el ahumado, los combustibles usados suelen ser maderas, aunque también otros combustibles. Las especies de madera influyen directamente en el contenido de HAPs producido por lo que se recomienda que se evalúe cada especie de madera que se usa en el procedimiento de ahumado.

La madera de coníferas se evitará ya que tiene alto contenido en lignina.

El contenido de agua de la madera ha de ser el adecuado, ya que un contenido bajo de esta puede dar niveles más elevados de HAPs.

Se desalienta a usar maderas tratadas con sustancias químicas u otros tipos de combustibles, como el diésel, neumáticos de hule o residuos de aceites, ni siquiera como componentes parciales de la madera, ya que incrementan significativamente el nivel de HAPs.<sup>11</sup>

## **2. Humo producido:**

El humo producido dependerá del tipo de madera, el oxígeno y la temperatura de la pirolisis, la duración de la combustión. Esto se puede controlar con el diseño de la cámara de ahumado y el equipo para mezclar aire y humo.

Se ha de evitar que en la producción de humo se produzcan llamas, ajustando el combustible y la circulación del aire. Además, se pueden aplicar filtros para eliminar las partículas del humo y reducir la contaminación.

Es importante equilibrar el oxígeno, ya que influye en la combustión parcial o incompleta del combustible y por lo tanto en la aparición de HAPs.

La temperatura se deberá ajustar para reducir al mínimo la formación de HAP.

Se han de instalar deflectores después del generador de humo, y también a ser posible instalar un dispositivo para decantar el alquitrán.<sup>11</sup>

## **3. Alimento:**

La posición y distancia del alimento en la cámara con respecto a la fuente de calor es un punto crítico en el procedimiento de ahumado. Una distancia mayor de la fuente de humo puede reducir la fijación de las partículas de HAPs.

En el ahumado directo la grasa que gotea del alimento en la fuente de calor, puede aumentar el contenido de HAPs en el humo y por ende en el alimento. Para evitarlo hay que instalar láminas de metal perforadas entre el alimento y la fuente de calor.

Controlar la deposición de partículas de humo en la superficie del alimento, por ejemplo, en el pescado es mejor el ahumado con piel.

Hay que controlar que ni la calidad microbiológica ni las propiedades organolépticas finales del alimento se pierden al reducir estos riesgos.<sup>11</sup>

## **4. Procedimiento de ahumado:**

Los diferentes métodos de ahumado pueden producir niveles de HAP muy variables en el producto final. El ahumado directo es más barato y requiere menos equipo que el indirecto, pero puede dar niveles mayores de HAPs en el producto final. Sustituyendo el directo por el indirecto se puede reducir la contaminación del alimento.

En cuanto al tipo de generador utilizado, deberá hacerse una evaluación previa del contenido de HAPs que se produce en el humo y tendrá que reducirse el contenido de HAP en el alimento final y si es posible aplicar un lavado del humo tras el generador y antes de la cámara de humo.

Ajustar la circulación de aire para que no se eleven tanto las temperaturas y a su vez haya disponibilidad de oxígeno durante todo el procedimiento.

Se seleccionará una cámara para ahumar y se controlará la mezcla de aire y humo mediante dispositivos adecuados.

El tiempo de duración del ahumado se reducirá al mínimo para que sea el necesario, teniendo en cuenta la inocuidad y la calidad del producto final.

Se pueden usar humo regenerado a partir de condensados de humo, mediante vaporización inyección o inmersión que le confieren al alimento de sabores ahumados sin la aplicación de humo producido expresamente.<sup>11</sup>

### **5. Procedimientos posteriores:**

La limpieza tras el ahumado, eliminando el hollín y las partículas adheridas del humo reducirá el contenido de HAPs del producto final. Se realiza un enjuagado o se sumerge en agua. Aunque no es adecuado para todos tipos de productos y puede reducir la calidad organoléptica.<sup>11</sup>

La información científica de los diferentes factores asociados al ahumado, es limitada por lo que lo mejor es realizar pruebas específicas de análisis de riesgos en los puntos de control críticos de los procedimientos individuales.

En el proceso de **secado**, las medidas de control serán las siguientes:

El secado se divide en el secado directo con sol o viento y usando otros combustibles:

1. En el secado al sol la contaminación por HAPs proviene del medio ambiente. Aunque este secado es más barato, es preferible la deshidratación artificial ya que se tiene mayor control del entorno y el procedimiento es más rápido y menos contaminante.
2. En el secado directo distinto al sol se utilizan distintos tipos de combustibles como gas natural, aceites de tuba y minerales, que son un factor decisivo en el sabor del producto final. No deberán usarse combustibles como diesel, caucho o aceite de desecho, incluso ni como componentes parciales, que pueden incrementar los niveles de HAPs.

El contenido de HAPs en los alimentos secados se puede reducir sustituyendo el secado directo con secado indirecto, o determinando y evaluando los puntos de control críticos a tener en cuenta y aplicando el sistema APPCC.

Las medidas de control tomadas en el procedimiento de secado, son muy similares a las tomadas en el ahumado.<sup>11</sup>

El consumo de alimentos ahumados, secados o a la brasa puede causar riesgos para la salud, reducirlos o eliminarlos de la dieta por parte del consumidor reducirá la exposición a estos peligros.

## 1.2. AMINAS HETEROCÍCLICAS AROMÁTICAS:

Las aminas heterocíclicas aromáticas (HAs) son una familia de compuestos que se obtienen cuando los hidrógenos del amoníaco son reemplazados o sustituidos por radicales alcohólicos o aromáticos y que son de gran interés científico debido a su relación con el cáncer.<sup>4,10</sup>

Actualmente, se han identificado más de 20 derivados de estas sustancias. Dependiendo del mecanismo de formación y de los precursores, las HAs se pueden dividir en dos grandes grupos: las carbolinas y los aminoimidazoazarenos (figura 3).

El segundo grupo, los aminoimidazoazarenos se conocen como aminas térmicas, se forman en alimentos ricos en proteínas como la carne o el pescado a temperaturas inferiores a 300°C. Son altamente mutagénicos en comparación con las carbonilas. Se ha determinado que presentan un índice de mutagenicidad más de 1000 veces superior al del benzo(a)pireno lo que pone de manifiesto su elevada toxicidad potencial.<sup>4, 12</sup>

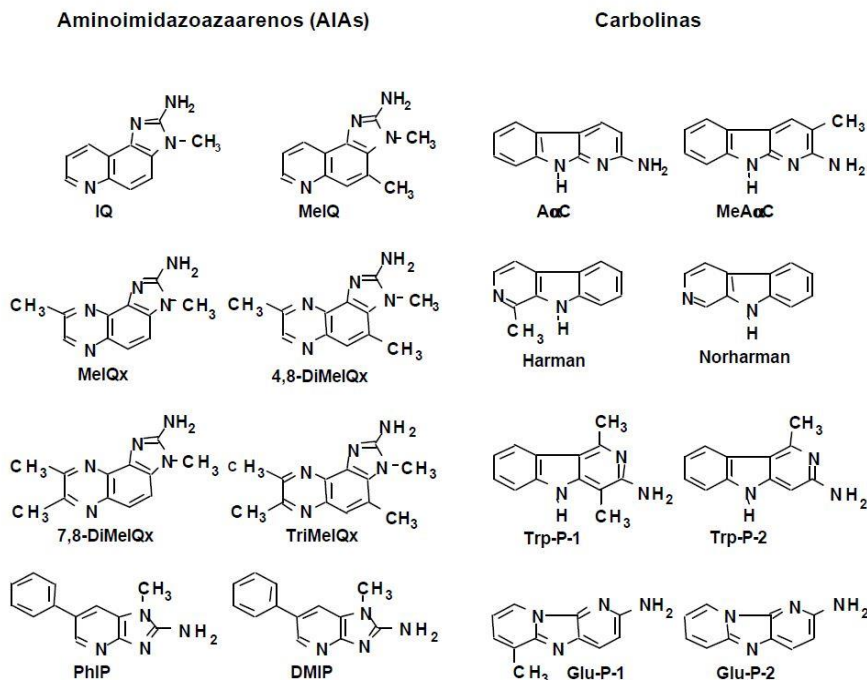


Figura 3. Estructura química de las aminas heterocíclicas más importantes.<sup>13</sup>

La formación de HAs esta influida por la composición del alimento ya que constituyen los precursores para la formación de estos compuestos, como la creatina presente en el tejido muscular, la grasa o el agua, así como los azúcares y los aminoácidos.

La creatina es necesaria para la formación de los aminoimidazoazarenos y existe una relación directa entre la cantidad de aminoácidos o péptidos de cadena corta y la actividad mutagénica resultante.

En cuanto a los azúcares, su presencia es necesaria para la formación de las aminas, aunque también se ha puesto de manifiesto que la adición de glucosa o lactosa a la carne inhibe parte de la formación de aminas y que puede disminuir la actividad mutagénica provocada en la cocción.

Otros precursores para la formación de aminas son la glicina, fenilalanina, serina, prolina, creatina, lanina, ácido glutámico, triptófano o globulina de semillas de soja.

Diferentes estudios han determinado que la creatina y los productos de la reacción de Maillard, derivados de la glucosa y algunos aminoácidos tienen un papel importante en la formación de los aminoimidazoazarenos.<sup>12</sup>

Los valores más elevados de tóxicos corresponden a alimentos tratados a temperaturas elevadas y con un tiempo de cocción prolongado. Las HAs se empiezan a formar en torno a los 100°C y la actividad mutagénica va aumentando progresivamente con la temperatura hasta los 200°C. Por lo tanto, los tratamientos térmicos que suponen un calentamiento mediante conducción, como freír o asar son los que producen mayor acción mutagénica. Los tipos de cocción que usan temperaturas en torno a los 100°C como hervir en agua, hacer al vapor o estofar generan pocos agentes mutagénicos en comparación con los anteriores.<sup>4,12</sup>

Es importante su presencia en los residuos que quedan en los utensilios del procesado o cocinado, como las sartenes o las planchas después de la cocción, que pueden presentar cantidades incluso en las mismas cantidades que en el correspondiente alimento.<sup>4</sup>

### **Toxicidad:**

Como ya hemos hablado antes los aminoimidazoazarenos son el grupo con mayor carcinogenicidad ya que presentan un índice de mutagenicidad más de 1000 veces superior al del benzo(a)pireno.<sup>4</sup>

Las HAs se encuentran entre los mutágenos más potentes conocidos, causando tumores, principalmente en la vejiga, en animales de investigación. En animales las aminas heterocíclicas provocan neoplasias malignas en glándulas mamarias, próstata, pulmón, colon, páncreas, vejiga e hígado en animales de experimentación, por lo que es probable



que haya una correlación entre la ingesta de HAs y la incidencia de cáncer de mama, colon y próstata, por lo que es motivo de investigación.

A pesar de los resultados en animales el riesgo en humanos y la exposición a las HAs es lo suficientemente baja como para no suponer un riesgo alto para la salud, más aún ingeridas en la dieta.

La TDI no está determinada debido a que se desconoce la concentración de estos tóxicos en los alimentos.

Las aminas heterocíclicas son metabolizadas por el citocromo P-450 son mutágenos activos hepáticos. Las N-hidroxisaminas, se transforman en compuestos capaces de unirse a guanina, y así interfieren en la replicación y transcripción del ADN.<sup>14</sup>

#### **Marco legal:**

No existe una normativa específica para el control de las aminas heterocíclicas aromáticas.

Las técnicas utilizadas para el análisis de HAs son la cromatografía de líquidos con detección espectrofotométrica (UV), fluorimétrica o electroquímica y actualmente se acoplan a la espectrometría de masas.<sup>13</sup>

#### **Buenas prácticas:**

Para disminuir la formación de estos compuestos, se utilizan una serie de antioxidantes tanto naturales como sintéticos que se usan durante la cocción de los alimentos, ya que actúan como intermediarios de los radicales libres involucrados en la reacción.

La proteína de soja concentrada o la harina de semillas de algodón contienen antioxidantes que pueden reducir la mutagenicidad de HAs en la cocción de carne bovina, La vitamina E y esencia de romero también tienen un efecto positivo en la inhibición de HAs.

También se puede reducir la formación de HAs en carne de hamburguesa añadiendo cebolla en la carne picada de esta.

El uso de microondas reduce la mutagenicidad de las aminas heterocíclicas, debido al tiempo más corto de cocción, por lo que es preferible procesar los alimentos de carne en el microondas que utilizando la cocción directa o fritura<sup>14</sup>

### **1.3 ACROLEÍNA:**

La acroleína (prop-2-enal) es un  $\alpha$ - $\beta$ -aldehído insaturado, que presenta la forma de un líquido incoloro o amarillento con un fuerte olor dulce a quemado bastante penetrante. Es fácilmente inflamable, muy soluble en el agua, a temperatura ambiente se evapora mucho más rápido que el agua.

En alimentos su formación está asociada al calentamiento de grasas animales y vegetales, y fritura de hidratos de carbono, reaccionando también con los aminoácidos. por lo que se pueden encontrar pequeñas cantidades de acroleína en comidas fritas, aceites para cocinar y café tostado.

Aunque se sabe que algunos alimentos contienen acroleína, la cantidad de acroleína que hay en los alimentos de consumo no se conoce.<sup>15,16,17</sup>

Las reacciones químicas que producen la formación de acroleína en los alimentos incluyen la deshidratación inducida por calor de glicerol, la escisión retro-aldólica de carbohidratos deshidratados, la peroxidación de lípidos de ácidos grasos poliinsaturados, y la degradación de Strecker de metionina y treonina.<sup>17</sup>

#### **Toxicidad:**

La mutagenicidad de acroleína se ha demostrado con estudios in vitro y en estudios subcrónicos orales, se detectaron lesiones locales en el estómago de las ratas. La acroleína forma diferentes compuestos a partir del ADN, pero no se han demostrado efectos mutagénicos y cancerígenos por exposición oral en humanos, por lo que está en el grupo 3 de la IARC.<sup>16</sup>

#### **Marco legal:**

Al ser las cantidades de acroleína presentes en los alimentos tan pequeña, el control oficial solo incluye límites dérmicos, por lo que no se han establecido límites en alimentos ni medidas para controlar este peligro.

## **2. CONTAMINANTES QUÍMICOS DERIVADOS DE AMINOÁCIDOS EN LA REACCIÓN DE MAILLARD**

La reacción de Maillard es un conjunto de reacciones químicas entre proteínas y azúcares reductores al aplicar tratamiento térmico.

Se trata de la principal ruta implicada en las propiedades organolépticas de los alimentos tratados térmicamente, que confiere a estos de unas características que van muy ligadas a la aceptabilidad del producto.

Se inicia con la condensación entre un grupo amino libre de un aminoácido, péptido o proteína y el grupo carbonilo de azúcares reductores o de lípidos oxidados. Tras una serie de reacciones complejas da lugar a los productos de la reacción de Maillard.

La reacción de Maillard es muy importante en la industria alimentaria, ya que se desarrolla durante procesos tan comunes como el horneado, tostado o cocinado entre otros, confiriendo a los alimentos nuevos aromas, sabores y colores agradables para el consumidor.<sup>4</sup>

Entre los productos de la reacción de Maillard se encuentran las melanoidinas, la acrilamida, el hidroximetilfurfural y el furano.

## 2.1 MELANOIDINAS

Las melanoidinas o moléculas melanoides son polímeros nitrogenados oscurecidos que se generan en la última etapa de la reacción de Maillard al someter determinados alimentos a altas temperaturas. Poseen ciertas propiedades funcionales, tales como antioxidante, antimicrobiana y actividades antihipertensivas.

Estos compuestos se generan en los alimentos mediante reacciones de condensación de compuestos con grupos amino procedentes de las etapas intermedias de la Reacción de Maillard como pirroles N- sustituidos, 2- formilpirroles N- sustituidos, y 2- furaldehído.

La estructura de las melanoidinas depende de las condiciones en las que se ha producido la reacción y también el tipo de alimento.

Están presentes en alimentos como el café y otros alimentos tostados.

**Toxicidad:** estas moléculas son difíciles de estudiar y existe un desconocimiento sobre su bioactividad. La mutagenicidad y genotoxicidad de estas solo ha sido constatada en concentraciones muy elevadas y siempre en niveles de respuesta insignificantes en comparación con los mutágenos actuales.

En cuanto a la exposición, la población ingiere en torno a 5-10 gramos de melanoidinas al día y llegan a constituir hasta el 30% de la materia seca del café.

No existen ni medidas ni legislación específica para controlar estas moléculas.<sup>4, 18,19,20</sup>

## 2.2 ACRILAMIDA

La acrilamida (2- propenamida; CAS No. 79- 06- 1) es una molécula que contiene un doble enlace electrófilo y un grupo amida. Es una sustancia blanca e inodora, que a temperaturas superiores a 84,5 °C sufre una polimerización espontánea.

El mecanismo de formación es bastante complejo, complicándose aún más teniendo en cuenta que al ser reactiva y volátil, tiene la capacidad de auto degradarse parcialmente tras su formación.<sup>4, 21</sup>

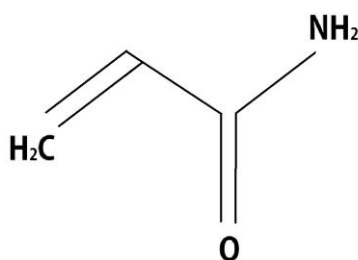


Figura 4. Molécula de acrilamida (2-propenamida)<sup>21</sup>

### **Toxicidad:**

A partir de estudios toxicocinéticos llevados a cabo con acrilamida marcada isotópicamente (<sup>13</sup>C y <sup>14</sup>C) se ha demostrado que es fácilmente absorbible, y que se puede absorber mediante vías de exposición oral, dérmica o por inhalación.

Una vez absorbida, la acrilamida se distribuye rápidamente a través de la sangre a los diferentes tejidos y órganos, como el muscular, la piel, el hígado, los riñones, el corazón, el cerebro o el pulmón. También se ha detectado en la placenta y hasta en leche materna.

Posteriormente, la acrilamida se transforma rápidamente en su epóxido genotóxico: **glicidamida**. Esta epoxidación se lleva a cabo en el hígado.

El principal mecanismo para la formación de acrilamida en los alimentos es mediante la reacción de Maillard, sin embargo, hay una serie de rutas alternativas que juegan un papel menor, como la de la Acroleína, el Ácido acrílico, la 3- Aminopropionamida y la de la Oxidación lipídica.

La eliminación se produce principalmente en la orina como conjugados del ácido mercaptúrico. Además, hay que tener en cuenta que están muy influenciados por el estilo de vida y la edad.<sup>4</sup>

La acrilamida puede ser absorbida a través de la piel, a través de las membranas mucosas o el tracto gastrointestinal y también por inhalación de polvo y vapores. Otra fuente importante de exposición es a través del humo del tabaco. Aunque la exposición que nos interesa es la de ingesta a través de los alimentos.<sup>4</sup>

En 2005 el JECFA estimó una ingesta diaria a través de los alimentos de acrilamida comprendida entre 0,3 y 2,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal para la población general y hasta 5,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal para los grandes consumidores.

La dosis segura para esta toxina en la que no presenta efectos tóxicos está por debajo de 100 mg/kg.

Puesto que tiene efectos carcinógenos, no se puede establecer una TDI en alimentos y por lo tanto se hace el análisis de riesgo usando el MOE. El MOE de la acrilamida para producir efectos cancerígenos varía entre 425 para adultos y 50 para los bebés.

Los alimentos que más contribuyen a la exposición son las patatas fritas, el café, las galletas, el pan y los productos de bollería.

Estudios in vitro con cultivos de células de mamíferos, 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.<sup>4</sup>

Debido a la falta de datos la evaluación del riesgo se basa en los estudios sobre roedores y se sustenta mediante estudios de neuropatía por acrilamida en primates. No es posible determinar un nivel de exposición, por lo que se debe asumir que, niveles de exposición, aunque sean muy bajos, se consideran un riesgo para la salud.<sup>21</sup>

Los estudios epidemiológicos no han determinado de forma clara si la exposición dietética a la acrilamida puede aumentar el riesgo de cáncer en los humanos. Algunos resultados señalan que no hay asociación entre la ingesta total de acrilamida en la dieta y el riesgo de contraer algunos tipos de cáncer y otros resultados determinan que no existe tal asociación. Esto es debido a las limitaciones de los estudios epidemiológicos.

A pesar de esto la acrilamida está clasificada por la IARC desde 1994, como sustancia probablemente carcinogénica en humanos (Grupo 2A). Para estimar su genotoxicidad se ha de haber oxidado la acrilamida a glicidamida, como requisito previo, debido a que esta es la que es más reactiva a formar aductos con el ADN.<sup>4</sup>

A nivel internacional, el JEFCA ha evaluado la acrilamida en 2005 y 2010 y no ha podido establecer un valor de referencia toxicológico, por lo que continúan investigando los efectos carcinogénicos y neurotóxicos a largo plazo teniendo en cuenta los estudios que se están llevando a cabo actualmente.

### **Marco legal:**

El Reglamento (CE) N° 1272/2008 sobre sustancias de riesgo ha clasificado el monómero de acrilamida como carcinógeno de categoría 1B- H350 y mutágeno de categoría 1B- 340 en humanos (Reglamento (CE) N° 1272/2008). La acrilamida, como carcinógeno genotóxico, se considera que no tiene umbral límite de exposición para su reacción con el ADN y, por lo tanto, efectos adversos. Debido a esto, la acrilamida no tiene un límite establecido, a pesar de un alimento, el agua. Esta se regula a través del Real Decreto 140/2003 y el Real Decreto 1799/2010, pero es el único alimento para el que hay un límite de acrilamida.

La acrilamida es tratada por el principio "ALARA" (niveles tan bajos como sean razonablemente posibles), pero este enfoque se basa únicamente en la identificación del peligro y no tiene en cuenta ni el potencial cancerígeno ni la exposición humana.<sup>4</sup>

En la Unión Europea existen dos recomendaciones vigentes:

- La recomendación 2010/307 establece que los estados miembros han de controlar los niveles de acrilamida de determinados alimentos, como patatas chips, patatas fritas listas para consumir, patatas precocinadas, pan de molde, cereales de desayuno, galletas, café, alimentos infantiles a base de cereales y otros alimentos infantiles.
- La recomendación 2013/647 establece que los estados miembros junto con la industria tienen que investigar los métodos de producción en los casos en los que el nivel de acrilamida supere el valor indicativo, también establece estos valores indicativos dependiendo de la categoría de alimentos.

Los estados miembros y la industria trabajan conjuntamente para que los valores no sobrepasen, mejorando de esta manera los procesos de producción y reduciendo los niveles de acrilamida. No existen sanciones si estos valores se superan, pero hay que cooperar.

Ha habido países como Dinamarca y Alemania que han establecido medidas en su territorio más estrictas que las que propone la UE. En Dinamarca han establecido unos límites indicativos más bajos en su territorio y en Alemania han establecido un sistema

propio más restrictivo con límites máximos que se revisan anualmente para mantenerlos o reducirlos.

Este año 2017 la Comisión Europea ha aprobado un Reglamento sobre las medidas de mitigación y los niveles de referencia de acrilamida, que incluye Códigos de Prácticas vinculantes. A partir de su entrada en vigor, prevista para 2018, será obligatorio que los operadores económicos, tanto las industrias como los sectores del catering, hostelería y restauración colectiva, apliquen las medidas para mitigar la formación de acrilamida. Los consumidores y las industrias tienen diversas opiniones sobre la dureza de estas medidas, aunque en todo caso coinciden en que los códigos de buenas prácticas sean obligatorios.<sup>22</sup>

El método de muestreo y análisis de acrilamida conlleva varias etapas: extracción, derivatización (dependiendo del sistema de análisis), purificación, concentración y análisis instrumental.

#### **Buenas prácticas:**

A pesar de que la acrilamida ha estado presente en la dieta humana desde que se empezaron a cocinar los alimentos, la preocupación por la seguridad de la acrilamida ha llevado al consenso de que se recomiende reducir y controlar la cantidad de acrilamida en los alimentos susceptibles a contener esta sustancia.

En 2006 la industria publicó la primera “Caja de herramientas”(Acrylamide toolbox), un documento en el que se recogen las prácticas que la industria debe aplicar para evitar que se forme la acrilamida (la última edición es del 2013). Aunque ha habido discrepancias de opiniones debido a que no había gran tendencia a la reducción de los valores de acrilamida implementando dicho código de buenas prácticas.<sup>4,22</sup>

La caja de herramientas especifica los métodos existentes para reducir la acrilamida en los alimentos, con una breve descripción de los pasos que pueden prevenir y reducir la formación de acrilamida en procesos de fabricación específicos y productos, permitiendo a los usuarios evaluar y seleccionar los métodos de reducción que deben utilizar.<sup>23</sup>

Actualmente se ha revisado la forma en la que estaba compartimentalizada y se ha reestructurado en torno a las tres principales categorías de productos con mayor riesgo de contener acrilamida: patatas, cereales y café.

Hasta la fecha se han desarrollado una gran variedad de estrategias de eliminación, la mayor parte de estas en productos hechos de patata y de cereales. Sin embargo, en el

caso del café existen pocas alternativas para reducir estos niveles sin que la calidad del producto se vea afectada.

En cuanto a los azúcares reductores, es muy importante el almacenamiento, ya que, en alimentos como patatas, un almacenamiento a temperaturas bajas produce un aumento de los azúcares reductores, favoreciendo la formación de acrilamida en la fritura y asado. Esto se puede minimizar usando patatas frescas o variedades con bajos contenidos de azúcares reductores, y también mediante la aplicación de un reacondicionamiento después del almacenado y antes del procesado.

Además, temperaturas de almacenamiento menores a de 10°C incrementan la formación de los azúcares debido a la degradación del almidón.

Se ha demostrado que aplicando una irradiación de 60 Gy en patatas y después almacenando a 4 y 14°C se reduce en un 11% el contenido de azúcares reductores y después en un 8% el de acrilamida.<sup>4</sup>

En productos derivados de patata, cereales y café hay que tener en cuenta la cantidad de asparagina, como factor limitante en la formación de acrilamida. Esta se puede controlar en la producción primaria.<sup>23</sup>

La **asparaginasa** reduce significativamente los niveles de Acrilamida en los productos. La eficacia de la enzima a nivel comercial depende de la receta y del proceso. Esta requiere un delicado equilibrio entre las condiciones de reacción y el tiempo de contacto para ser eficaz. En algunos productos el exceso de asparaginasa puede dar lugar a subproductos (ácido aspártico y amoníaco) que se pueden formar en cantidades suficientes para dar lugar a sabores desagradables en el producto final.<sup>23</sup>

En el procesado de los alimentos los factores más importantes en la formación de acrilamida son la temperatura y el contenido final de humedad. La formación de acrilamida se inicia a temperaturas superiores a 120 °C, y alcanza un máximo alrededor 170- 180°C. Sin embargo, por encima de estas temperaturas (180 °C- 200 °C), se produce un aumento muy rápido de la formación de acrilamida y consecuentemente se produce una degradación de la misma debido a tales temperaturas.

Para evitar la formación de acrilamida es importante no superar los 175°C por lo tanto hay que reducir la temperatura de fritura, el problema son los efectos negativos en la calidad del producto (absorción de grasa, mala textura).

El contenido final de humedad en el producto es muy importante, debido a que esta aumenta la velocidad en la formación de acrilamida. Por lo tanto, cuanto menor sea el contenido en humedad del alimento, menor velocidad de reacción y por lo tanto menor



cantidad de acrilamida tendremos en el producto. Hay que controlar la temperatura y los tiempos de procesado para evitar el aumento de humedad.

El control de los parámetros de procesado, como la relación temperatura-tiempo, los tipos de aceite en fritura o humedad relativa es la forma más rápida de controlar la acrilamida, aunque la formación de acrilamida no sigue un aumento lineal entre la concentración de acrilamida y la temperatura, pero sí con el tiempo de calentamiento.

La elección de una adecuada temperatura y tiempos de calentamiento no demasiado largos pueden controlar la formación de acrilamida. Se puede controlar el pardeamiento superficial usándolo como indicador visual de la formación de acrilamida. Hay que tener en cuenta que la reacción de Maillard también influye las propiedades organolépticas, por lo que el control de la temperatura y tiempo ha de ser el adecuado para que no se vean comprometidas estas propiedades.<sup>4</sup>

En la **fritura** la concentración de acrilamida ocurre en la superficie de los alimentos como consecuencia de las diferentes transferencias de calor y la evaporación del agua. Las temperaturas de fritura en el interior no llegan a superar los 100°C. Sin embargo, las patatas fritas chips debido a su humedad, sus temperaturas centrales superan los 120°C y por esto se encuentran concentraciones tan altas de acrilamida en estos productos. Para evitar esto, habrá que usar buenas prácticas de fabricación y manipulación, controlando la humedad de las patatas y que las temperaturas no sobrepasen los 120°C en el interior.<sup>4</sup>

El blanqueo de alimentos antes de la fritura, la refrigeración rápida al salir de las freidoras de alta temperatura, ayudan a reducir la formación de acrilamida.

La fritura a vacío ofrece la posibilidad de un control alternativo de las temperaturas, aunque esta tecnología no está ampliamente disponible y su rendimiento es limitado.<sup>23</sup>

También hay que tener en cuenta la relación superficie volumen. En general, los niveles de acrilamida disminuyen a medida que aumenta la relación de masa entre la muestra y el aceite. Esta relación debe ajustarse para que la temperatura del aceite no baje de 140°C podamos obtener una calidad organoléptica adecuada a la vez que tenemos una baja concentración de acrilamida.<sup>4</sup>

En el **horneado** la formación de acrilamida ocurre en la corteza y que los niveles aumentan con el tiempo y la temperatura.

La transferencia de calor a través de los hornos también es importante. Los hornos de convección incrementan notablemente los niveles de acrilamida frente a los convencionales (conducción y radiación). Esto es debido a la circulación del aire que

produce un secado más rápido en la corteza. Para evitarlo hay que aumentar la humedad relativa en el proceso de horneado.

En el **tostado** del café, la acrilamida se forma muy rápido al comienzo de tueste. Después de alcanzar una velocidad máxima de formación en la primera mitad del proceso, desciende bruscamente a medida que avanza el proceso. Esto se debe a las reacciones de degradación/eliminación de la acrilamida. Los niveles de acrilamida del producto final son de tan solo 20- 30% del nivel que se produce en ese máximo, por lo tanto, sería lógico pensar que un aumento del grado de tostado produzca un café más oscuro y que este tenga un contenido en acrilamida mucho menor, pero esto da problemas ya que podría generar otros compuestos indeseables y alteraría las propiedades sensoriales del café.

La composición del alimento es importante también, para ello se sustituyen precursores altamente reactivos por otros menos propensos a formar acrilamida, y también se añaden ingredientes inhibidores de la reacción de la acrilamida o que ayuden a eliminarla.

Eliminar las patatas de un color más oscuro reduce la formación de acrilamida.

Se emplea sacarosa en lugar de miel reduciendo la formación de acrilamida en galletas, panes y pasteles. También se sustituye el bicarbonato disódico por sales de sodio como gasificante en masas.

La medición del color, es un predictor bastante confiable a la hora de determinar las cantidades de Acrilamida. Los alimentos con colores más oscuros y pardeados están relacionados en mayor medida con la formación de acrilamida.

La modificación del pH añadiendo acidulantes (ácido acético y ácido cítrico) ha dado resultados a la hora de reducir la cantidad de acrilamida, pero a escala industrial no se han obtenido resultados concluyentes

También se usan métodos como la adición de aminoácidos, cationes, vitaminas o antioxidantes, utilizar la fermentación en patata o la eliminación directa de la molécula de acrilamida.<sup>4, 23</sup>

### 2.3 HIDROXIMETILFURFURAL:

El HMF (5- hidroximetil- 2- furaldehído; CAS No. 67- 47- 0) es un aldehído cíclico formado en la reacción de Maillard y en la caramelización. Se produce cuando las hexosas reductoras se calientan en presencia de aminoácidos o proteínas.

La ruta alternativa en la caramelización ocurre con la deshidratación térmica directa de fructosa, sacarosa, y en menor medida, de glucosa. Esta reacción no requiere la presencia de grupos amino y está catalizada en condiciones ácidas.<sup>4, 26</sup>

Este aldehído está presente en gran variedad de alimentos, como la miel, mermeladas, zumos concentrados, café, caramelos, vinagre balsámico y frutos secos

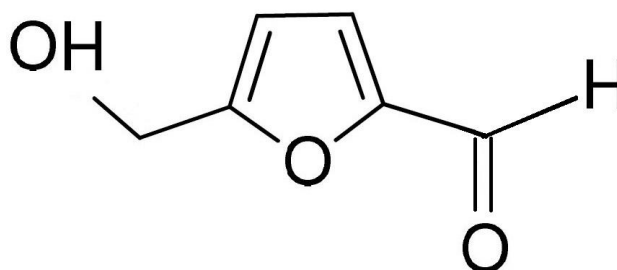


Figura 5: 5- (hidroximetil) furfural <sup>26</sup>

El aumento de temperatura es proporcional a la tasa de formación de HMF durante el procesamiento y almacenamiento. Las condiciones ácidas aceleran la formación de HMF. El nivel de HMF, se suele considerar como un índice de calidad en los alimentos procesados.<sup>26</sup>

#### **Toxicidad:**

Existen evidencias del efecto potencialmente nocivo del HMF basadas en ensayos in vitro y en experimentos realizados en animales de laboratorio.

Sin embargo, los estudios en humanos no dan resultados concluyentes siendo actualmente motivo de estudios. El HMF induce efectos genotóxicos y mutagénicos en bacterias y líneas celulares de mamíferos. En experimentos con roedores, el HMF actúa en la aparición y promoción del cáncer de colon, de procesos nefrotóxicos o de modificaciones cromosómicas.

Está demostrado que, tras su bioactivación, da lugar hacia su derivado genotóxico y mutagénico 5- sulfoximetilfurfural (SMF), incluyéndose por ello en el grupo de los nuevos contaminantes químicos de procesado.<sup>4, 26</sup>

El HMF se absorbe en el tracto gastrointestinal de los roedores muy rápidamente y se elimina a través de la orina con la misma rapidez de todos los tejidos, sin evidencia de una acumulación en el organismo significativa.

#### **Marco legal:**

El Real Decreto 1049/ 2003, del 1 de agosto, por el que se aprueba la Norma de calidad relativa a la miel determina un máximo de 40 mg/kg en general, a excepción de la miel industrial. Para mieles procedentes de zonas tropicales o mezclas de estas establece un límite de 80 mg/kg.

Para determinar su cantidad se utilizan los métodos de espectrofotometría, colorimetría y cromatografía. La extracción de la muestra depende de las matrices alimentarias, si estas son sencillas como la miel, bebidas alcohólicas y zumos de frutas, se realiza una extracción acuosa y después una filtración. Sin embargo, para el café se recomienda el uso de técnicas más selectivas como la extracción en fase sólida (SPE).<sup>4</sup>

#### **Buenas prácticas:**

Lo primero será la selección de la materia prima. La composición del alimento contiene los precursores del HMF, que son azúcares y aminoácidos.

Si se reduce el contenido en azúcares reductores reduciremos la formación, pero cuando se sustituye la glucosa o fructosa por sacarosa, se produce un aumento de HMF cuando las temperaturas son mayores a 250°C. Si se añade bicarbonato amónico como gasificante, la descomposición de la sacarosa es mucho mayor y produce niveles más altos de HMF.<sup>4</sup>

Los ingredientes con alto contenido en HMF (azúcar, miel) incrementan la concentración del producto final, pero estos tienen gran aceptabilidad por parte del consumidor por lo que tiene que haber un compendio entre estos dos factores.

Aumentando el PH de la masa en los productos de panadería, disminuyen los niveles de HMF.

En el proceso para evitar la aparición de HMF, como se trata de un compuesto que aparece en los procesos térmicos de reacción de Maillard y caramelización, habrá que controlar los parámetros de tiempo y temperatura sin que esto vea afectado de manera excesiva a la calidad organoléptica del producto.<sup>4</sup>

De esta manera, reduciendo las temperaturas durante el procesamiento y/o almacenamiento se consigue disminuir la formación de HMF.

En el almacenamiento los tiempos prolongados y la humedad tanto alta como baja aumentan el HMF por lo que se tendrán que controlar tales parámetros.

En condiciones extremas de procesado se ha observado un descenso del HMF en galletas debido a la degradación de éste a productos secundarios que la mayor parte serán volátiles. Sin embargo, esto afectara a la calidad del producto pudiendo llegar a generarse otros compuestos tóxicos como la acrilamida. <sup>4</sup>

#### **2.4 FURANO:**

El furano es un compuesto organoclorado que se puede formar en los alimentos a consecuencia de la aplicación de calor o por la exposición a radiación ionizante o ultravioleta. Los posibles precursores del furano son los aminoácidos, los azúcares, los ácidos grasos poliinsaturados, el ácido ascórbico y los carotenoides. Los compuestos de furano se asocian desde hace mucho tiempo a los aromas de los alimentos.

Se han propuesto múltiples mecanismos para su formación durante el tratamiento térmico, incluyendo la degradación de los derivados del ácido ascórbico, degradación de carbohidratos, degradación térmica de aminoácidos en presencia o ausencia de azúcares reductores, y oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, carotenoides y ácidos orgánicos. Según un informe de la EFSA, los alimentos que más contribuyen a la exposición humana a través de los alimentos son los potitos infantiles y el café. <sup>4, 25</sup>

#### **Toxicidad:**

Durante 2013 se hicieron experimentos con animales que establecen su toxicidad a la molécula de ADN en hámster y rata por lo que existen pruebas suficientes sobre la carcinogenicidad del furano. No hay evidencia suficiente para establecer la carcinogenicidad en humanos, por lo que está considerado por la IARC como un tóxico que tiene baja probabilidad de ser cancerígeno agrupándolo en el grupo 2B.

#### **Buenas prácticas:**

Aunque hay evidencia de que los niveles de furano se podrían reducir en algunos alimentos usando la vaporización durante la cocción, actualmente hay una falta de datos cuantitativos para todos los alimentos.

No se aplican medidas específicas para controlar el furano en la industria alimentaria.

La reunión del JEFCA de febrero de 2010 concluyó que el furano es un problema para la salud e identificó al furano como una prioridad para las futuras investigaciones.

### **3. COMPUESTOS POR TRATAMIENTO ALCALINO**

Un procedimiento para hacer digeribles ciertas fracciones de los alimentos con alto contenido en proteína animal y vegetal, es la aplicación de disoluciones alcalinas y así conseguir la proteólisis. Este tratamiento da lugar a una serie de cambios químicos como la racemización y destrucción de aminoácidos, formándose además derivados de carácter tóxico, como la lisinoalanina (LAL), ornitoalanina (OAL) y lationina.<sup>26,27</sup>

De estos el más estudiado es la lisinoalanina [N (6) - (2-amino-2-carboxietil) -l-lisina] formada a partir de la Lisina y se tiene sospecha de que tiene efectos nefrotóxicos.

La formación de LAL depende de la naturaleza de la proteína del alimento, el tiempo de calentamiento y la concentración del álcali.<sup>26,27</sup>

Los principales alimentos donde se produce LAL son la carne de pollo, huevo hervido y legumbres. Todas las legumbres producen LAL durante tan solo 30 minutos de exposición a una temperatura de 80°C, aunque esta no es muy estable al calor y su concentración disminuye si se prolonga el calentamiento.

La carne de pollo que en un principio no contenía LAL, tras ser cocinada con microondas llega a alcanzar los 200 µg/g. Los huevos pueden contener LAL tras ser hervidos unos 10-30 minutos y aumenta cuando estos se fríen a 150°C

Los caseinatos obtenidos a partir de la precipitación acida de la leche y posterior neutralización con base fuerte, dan bastantes problemas en cuanto a las altas concentraciones de LAL. Para ello se determina la LAL con un indicador sensible a los tratamientos por calor de la leche (actividad de Maillard).

Se han hecho estudios in vivo a animales como conejo, hámster y ratón, pero estos no produjeron patologías, aunque la rata es muy sensible y presenta patologías nefrotóxicas.

En humanos no está definido si presenta un peligro tóxico, debido a que es difícil sacar conclusiones y extrapolar los resultados obtenidos de los animales.<sup>27</sup>

### **4. COMPUESTOS POR DEGRADACIÓN O REACCIÓN DE CONTAMINANTES**

#### **4.1 NITROSAMINAS**

Las nitrosaminas son unos compuestos cancerígenos que se originan de la reacción del óxido nitroso con las aminas secundarias y terciarias durante el curado de los productos cárnicos embutidos.

Esto ocurre porque los nitratos se transforman en nitritos por reducción bacteriana de nitratos por parte de bacterias nitrificantes presentes en alimentos, y que también están en la saliva y el tracto gastrointestinal.

Los nitratos se añaden como conservante alimentario a muchos productos cárnicos embutidos, carnes curadas y fritas y tocino. Se sugirió hace algunos años la prohibición de nitritos y nitratos como aditivos alimentarios, pero no se tenía en cuenta que ya se encuentran naturalmente y en alta concentración en verduras como las espinacas, acelgas, rábanos, betabel, ruibarbo, col, apio, etc. Estas cantidades están presentes debidas al ciclo del nitrógeno, pero se ven incrementadas cuando el suelo esta fertilizado con nitratos.<sup>18,27</sup>

Por lo tanto, la cantidad mayor de nitratos que nos llegan a través de la dieta es mucho mayor por parte de estas verduras que por parte de los embutidos.

En el curado de la carne los nitratos se añaden por su acción antibacteriana para evitar el desarrollo de *Clostridium botulinum*, por lo que previene un riesgo mayor. También se usa ya que produce un atractivo color rojo a la carne debido a la formación Nitrosilmioglobina y la Nitrosilemoglobina que le da este color característico, Y por último cabe destacar que la adición de nitratos da un característico sabor a curado como en el bacon, salchichas Frankfurt o magro de cerdo.<sup>27, 28</sup>

### **Toxicidad:**

Las nitrosaminas formadas a partir de aminoácidos y nitrito causan cáncer en los tractos digestivos, urinario y respiratorio, así como en el hígado y en el sistema reproductor. En el caso de bebes de 4 meses el problema es mayor debido a que la flora intestinal de estos es capaz de reducir nitratos a nitritos.<sup>28</sup>

### **Marco Legal:**

Los límites máximos en Nitratos están regulados a nivel comunitario en el Reglamento 1881/2006 (UE) por el que se fija el contenido máximo de contaminantes en los productos alimenticios y su corrección de errores en la versión española por la Comisión Europea en el DOUE L107 del 10/4/2014.

En los contenidos de nitrato en determinadas hortalizas se han establecido diferentes contenidos máximos dependiendo de las estaciones del año.

Los productos alimenticios sobre los que se establecen limites son las espinacas frescas y en conserva, ultracongeladas o congeladas, también para lechuga fresca y de tipo iceberg, y también para alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad.

El contenido de nitritos añadido como aditivo alimentario para controlar *Clostridium botulinum* está regulado por el Reglamento (CE) n° 1333/2008, y sus modificaciones. El comité de expertos de la FAO y la OMS (JEFCA) propuso como ingesta diaria aceptable (IDA) de nitritos el valor de 0-0.07 mg/kg de peso corporal por día.

**Buenas prácticas:**

Debido a que los nitratos se transforman en nitritos, para controlarlos las medidas de prevención se centraran en reducir los niveles de nitratos.

En el medio ambiente se controlan mediante la reducción de fertilizantes agrícolas nitrogenados y los niveles de residuos orgánicos como el estiércol en las explotaciones.

La concentración de nitratos en productos vegetales se debe a las condiciones climáticas, en concreto a la absorción de la luz por parte de la planta, que es inversamente proporcional a la acumulación de nitritos. Por ende, también afectan las estaciones ya que los cultivos de invierno tienen mayor contenido en nitrato que los de verano. También hay que tener en cuenta que los cultivos al aire libre tienen menor contenido en nitratos que los de invernadero.

Teniendo estos factores en cuenta habrá que aplicar los códigos de buenas prácticas agrícolas, pero a pesar de esto es muy complicado cumplir con los límites máximos en los nitratos, especialmente en vegetales como espinacas frescas y acelgas.

Es por esto que no se recomienda incluir espinacas ni acelgas en la alimentación de los bebés en el primer año de vida y también se recomienda limitar el consumo de estas durante el crecimiento de los niños hasta los 3 años. También se tiene que tener en cuenta que no se han de consumir por parte de niños que presenten infecciones bacterianas gastrointestinales.

Las verduras cocinadas se han de refrigerar y evitar el mantenimiento a temperatura ambiente y se recomienda congelar si se van a consumir en los días posteriores a su cocinado.

El lavado, cocción y escaldado disminuye el contenido de nitratos debido a que se solubiliza en el agua.

El salteado o la parrilla aumenta el contenido de nitratos, aunque esto depende las hortalizas a cocinar.

También es recomendable seguir unas buenas prácticas de higiene para evitar la contaminación microbiológica.

El contenido de nitritos añadido como aditivo no deberá sobrepasar los límites máximos.



Para evitar una alta concentración de nitrosaminas en la industria se emplean compuestos reductores como alfa tocoferol y palmitato de ascorbilo, que compiten con las aminas secundarias por las especies susceptibles a nitrosación.

Recientemente han detectado nitrosaminas en cerveza, whisky, leche desnatada en polvo y proteínas de soja. Esto es debido a que estos productos utilizan un secado directo en la desecación, por lo que se forman óxidos de nitrógeno capaces de reaccionar con aminas secundarias.<sup>28</sup>

## **5. TERMOOXIDACIÓN LIPÍDICA**

Durante el proceso de fritura de alimentos, las grasas y aceites presenta un gran número de reacciones complejas, que pueden producir disminución de los componentes nutricionales y aumento en la formación de compuestos tóxicos, como polímeros y monómeros de ácidos grasos cíclicos compuestos polares, que pueden pasar al alimento frito y ser ingeridos.

El alto consumo de compuestos tóxicos formados durante este proceso puede causar efectos sobre la salud, como irritación intestinal, incremento en el tamaño de algunos órganos, aterosclerosis, retardo en el crecimiento de niños y algunos tipos de cáncer. Asegurar que durante el proceso de fritura la formación de compuestos tóxicos sea mínima es uno de los aspectos de mayor relevancia, especialmente cuando depende de factores controlables.

En el proceso de deterioro del aceite suceden tres reacciones: la hidrólisis causada por el agua, la oxidación y las alteraciones causadas por altas temperaturas. La más relacionados con la salud son las reacciones de oxidación, donde se forman los hidroperóxidos que son compuestos polares y monómeros y polímeros cíclicos, los cuales han sido relacionados en animales de experimentación como compuestos que producen el retraso del crecimiento, hipertrofia o hiperplasia hepática, hígado graso, úlceras gástricas y lesiones titulares en corazón y riñón.<sup>29</sup>

El proceso de fritura es considerado un punto crítico de gran importancia debido a que un adecuado manejo del aceite puede alargar el tiempo de vida útil y determina los criterios para desecharlo. Algunos de los factores que influyen en este proceso son; determinar cuáles son los alimentos que más se fríen, el número de veces que se reutiliza el aceite, instrumentos utilizados para la fritura y tipo de limpieza del aceite, entre otros.

Los alimentos que más se fríen son los prefritos como las patatas fritas y productos empanados congelados, y en segundo lugar los alimentos en estado fresco como el pescado, primero descongelado y luego enharinado, la carne empanada, los productos cárnicos y carnes de hamburguesa.

El aceite de fritura se reutiliza varias veces para freír nuevas tandas de alimentos. Se calcula un promedio, que en servicios de alimentación se puede llegar a usar hasta 22 veces y en restaurantes hasta 30 veces, dándole al aceite un uso de 8 horas laborales. Se supone que el aceite se renueva cada semana, aunque en otros establecimientos el uso es repetido hasta acabar con las existencias, en un promedio de 40 días después de su primer uso. Como práctica diaria se va añadiendo aceite nuevo para que el aceite tenga el mismo volumen en la freidora.

En cuanto a los equipos, los más utilizados son las freidoras comerciales de acero inoxidable y en menor proporción se usan sartenes de aluminio. Según las investigaciones no existe relación entre el material utilizado para la fritura y el deterioro del aceite.

Existen una serie de factores controlables y no controlables que determinan el deterioro del aceite de fritura. Entre los factores controlables se encuentran las prácticas de manejo, el tipo de fritura, la relación entre cantidad de alimento y volumen de aceite, el tipo de alimento, la temperatura que alcanzan los aceites, la reposición o no de aceite, la retirada de los restos de alimentos en el aceite y el tiempo de utilización. Entre los factores que no se pueden controlar, el más importante para la oxidación es la presencia de oxígeno.

Para determinar la calidad de los aceites de fritura se encuentran los siguientes parámetros: compuestos polares, y polímeros y monómeros de ácidos grasos cíclicos.<sup>29</sup>

### **5.1 COMPUESTOS POLARES:**

Son todos los subproductos que se forman cuando un triglicérido es modificado por el proceso de fritura, debido al sobrecalentamiento del aceite, la fritura discontinua y la fritura de diferentes alimentos a la vez (en especial cuando se mezclan alimentos de origen vegetal con alimentos de origen animal)

Todos estos factores son críticos en restaurantes, servicios de alimentación y hogares. En la industria alimentaria no se aplican estas prácticas ya que la temperatura del proceso esta estandarizada y se mantiene constante sin discontinuidades y el proceso se realiza en línea además de que solo se producen un tipo de alimento.<sup>29</sup>

**Toxicidad:** pueden provocar desde trastornos digestivos hasta cáncer de estómago y pulmón, modificándose también por su presencia, las características organolépticas de los alimentos en contacto con el aceite.<sup>29</sup>

**Marco legal:** La legislación que controla estos compuestos es la Orden del 26 de enero de 1989 por la que se aprueba la norma de calidad para los aceites y grasas calentados, modificada por Orden de 1 de febrero de 1991 que obliga al cumplimiento de la misma a aquellas empresas cuya actividad incluye la utilización y manipulación de grasas aceites comestibles calentadas para elaborar productos alimenticios.<sup>30</sup>

En países como España, Bélgica, Francia, Italia, República Checa, Hungría, Chile y Portugal aceptan un 25% como valor máximo de compuestos polares, mientras que en Alemania son más estrictos y solo se acepta el 24%, y en Austria y Suiza hasta el 27%.<sup>29</sup>

#### **Buenas prácticas:**

La formación de compuestos polares depende del tipo de aceite utilizado y del tiempo de utilización. Los aceites aumentan el contenido de compuestos polares a medida que aumenta el tiempo de fritura.

El tipo de alimento a freír y el tipo de cobertura también tienen relación con la formación de estos compuestos. La adición de yema de huevo en polvo a la harina para empanar disminuye la formación de compuestos polares en el aceite, seguramente por los fosfolípidos que aportan el huevo.

Se han realizado múltiples investigaciones para determinar el tiempo en que se puede utilizar el aceite a temperaturas de fritura y así poder identificar con exactitud el número de veces que se pueden freír alimentos, pero aún no hay consenso; los datos reportados son variables, al igual que los alimentos utilizados para realizar los procedimientos.<sup>29</sup>

Debido a la poca precisión para recomendar el número de frituras y el tiempo de uso de los aceites, en la actualidad existe una gran variedad de test químicos de fácil manejo y de determinación rápida para conocer la calidad del aceite. Entre los test más utilizados están los métodos colorimétricos como el Fritest® y el Oxifrit® de Merck.

Cuando se fríen en aceites con distintos contenidos compuestos polares, no hay evidencia de que las características sensoriales sean relevantes para determinar la calidad del aceite, pero existe una relación entre las características sensoriales de los alimentos.

En la fritura de los alimentos en aceite fresco muestra la apariencia de un alimento crudo, porque estos no presentan pardeamiento y se cree que a medida que aumenta el

contenido de compuestos polares aumenta la intensidad del pardeamiento en el alimento, hasta que éste queda demasiado oscuro sin siquiera llegar a cocer el centro del alimento.<sup>29</sup>

## **5.2 POLÍMEROS Y MONÓMEROS DE ÁCIDOS GRASOS CÍCLICOS:**

Son compuestos que su determinación garantiza mayor precisión acerca del deterioro del aceite que los compuestos polares. Esto se debe a que estos compuestos ya han sobrepasado el límite máximo sin que los compuestos polares hayan llegado a su nivel máximo de formación. Su rápida absorción por la mucosa intestinal los convierte en compuestos de mayor toxicidad que los polares.<sup>29</sup>

**Toxicidad:** En las personas todavía no hay conocimiento de niveles determinados requeridos para producir un efecto indeseable para la salud.<sup>29</sup>

**Marco legal:** Aunque son pocos los países que usan este indicador, en Bélgica y República Checa permiten el 10%, en Irlanda se permite hasta un 16% como valores máximos.<sup>29</sup>

### **Buenas prácticas:**

se ha reportado el mayor aumento de polímeros y monómeros de ácidos grasos cuando se fríen alimentos congelados sin adición de aceite fresco.

El incremento se presenta cuando la temperatura de fritura está entre 200 y 220°C, a mayor número de frituras mayor es la formación, en cualquier aceite utilizado.

La mayor formación se da en aceite de girasol, seguido de aceite de girasol con alto contenido en ácido oleico y por último en aceite de oliva extra virgen fresco.

Al igual que ocurría con los compuestos polares, aún no hay un consenso en el número de frituras máximo para la utilización del aceite. La formación de ácidos grasos cíclicos todavía es baja aun habiéndose realizado 20 frituras continuas de patatas pre fritas ya sea en aceite de girasol, girasol con alto contenido de linoleico y oliva.<sup>29</sup>

## **5.3 3-MONOCOLOROPROPANODIOL.**

El 3-monocloropropanodiol (3-MCPD) es un propanediol clorado que se presenta como un líquido incoloro que irrita la piel y las membranas mucosas. Se crea en alimentos que requieren la hidrólisis de proteínas añadiendo ácido clorhídrico a altas temperaturas, reaccionando así el cloruro con el glicerol de los lípidos formando 3-MCDP

Este compuesto se forma en las salsas orientales como la soja, ostras y hosin al querer abaratar costes en la fermentación de estas salsas añadiendo ácido clorhídrico. En el

refinado de aceites como el de palma, se forma en los procesos a altas temperaturas que superan los 200°C. También aparece en la proteína vegetal, hierbas y especias. <sup>31,32</sup>

### **Toxicidad:**

No se ha demostrado que el 3-MDCP sea genotóxico para el ser humano, pero se cree que puede serlo debido a los estudios realizados con ratas y ratones.

La EFSA en su panel de expertos sobre Contaminantes en la Cadena Alimentaria considero que se evaluase el riesgo del Glicidol (el precursor del ácido graso de glicidilo). La revisión del panel reveló que los niveles de ácidos grasos del glicidilo en aceites y grasas de palma se redujeron a la mitad entre 2010 y 2015 debido a las medidas adoptadas por los productores, reduciendo así también la exposición de los consumidores.

La ingesta Diaria Tolerable Máxima Provisional (PMTDI) es de 2 µg/kg pc / día. y la exposición media al 3-MCPD calculada es < 1 µg/kg pc / día en la mayoría de los grupos de población. La exposición media en grupos de edad jóvenes y adolescentes exceden la ingesta diaria tolerable por lo que este tóxico es un problema para la salud de la población. <sup>31,32</sup>

### **Marco legal:**

El 3-MDCP está regulado por el Reglamento (CE) N° 1881/2006 de 19 de diciembre de 2006 que fija los contenidos máximos de contaminantes en productos alimenticios y también por el Reglamento (CE) N° 333/2007 de la Comisión, de 28 de marzo de 2007, establece los métodos de muestreo y análisis para el control oficial de 3-MCPD en productos alimenticios. Este último reglamento establece un contenido máximo de 20µg/kg tanto en proteína vegetal hidrolizada como en salsa de soja.

También hay que tener en cuenta la Recomendación 2014/661/UE en la que se insta a los explotadores de empresas alimentarias y de piensos, y a los Estados Miembros a controlar este peligro.

El 3-MDCP se analiza mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas. <sup>31,32</sup>

### **Buenas prácticas:**

Para garantizar la seguridad habrá que cumplir los límites establecidos de 20 µg/kg para proteína vegetal hidrolizada y en salsa de soja. En la Recomendación 2014/661/UE se habla de que para realizar análisis de 3-MDCP no existe un método estandarizado y propone los centros donde se pueden analizar las muestras. <sup>31,32</sup>

## **6. PRODUCTOS DERIVADOS DE LA RADIOLISIS**

En la industria alimentaria se ha implementado el crecimiento de aplicación de radiaciones ionizantes como método para reducir la carga microbiana, pero estos pueden causar transformaciones moleculares en los alimentos que pueden dar lugar a tóxicos derivados.

A pesar de esto los tratamientos térmicos normalmente usados en el procesado de alimentos suelen producir mayores modificaciones químicas que la irradiación, además de esto las dosis menores a 10 kGy que se suelen aplicar en la industria alimentaria, hacen que los compuestos radiolíticos formados en este proceso no supongan un riesgo para la salud.<sup>27, 33</sup>

### **CONCLUSIONES:**

1. La información científica disponible para la identificación y caracterización de los tóxicos derivados varía en función del agente de peligro, está actualizada para algunos tóxicos como los hidrocarburos policíclicos aromáticos, la acrilamida, el hidroximetilfurfural o las aminas heterocíclicas aromáticas. En cambio, esta información es muy limitada en el caso de los tóxicos de tratamiento alcalino, furano o acroleína especialmente en aspectos toxicológicos y en medidas específicas a aplicar en el marco de la seguridad alimentaria.
2. Muchos de los tóxicos derivados identificados son considerados probables cancerígenos como el benzo(a)pireno, el furano o la acrilamida, no obstante, se denota una falta de datos científicamente consistentes para poder evaluar el riesgo real de los mismos.
3. La condición de probables cancerígenos atribuida a muchos de los tóxicos derivados determina que no pueda establecerse una Ingesta Diaria Tolerable y aconseja aplicar el enfoque basado en el Margen de Exposición como medida del riesgo sanitario.
4. Se ha constatado la dificultad para determinar el nivel de exposición de los tóxicos derivados puesto que las vías de exposición incluyen fuentes diversas.
5. En relación a otros agentes de peligro alimentarios se denota una escasa cobertura normativa en la adopción de medidas de prevención y control de agentes tóxicos generados en la transformación de los alimentos.
6. Las estrategias de prevención y control deben ser establecidas por los operadores tras el análisis de los factores del riesgo identificados en cada proceso particular.

7. La aplicación de antioxidantes tanto naturales como artificiales se plantea como alternativa en el control de tóxicos como la Acrilamida y las Aminas Heterocíclicas generados a altas temperaturas.
8. En algunos casos es posible minimizar la exposición a estos tóxicos mediante operaciones de lavado o descarte de las partes del alimento que acumulan una concentración elevada de estos tóxicos derivados.
9. La estrategia de prevención y control debería incluir programas de formación de consumidores en buenas prácticas de cocinado doméstico e información sobre dichos riesgos.

### **APORTACIONES EN MATERIA DE APRENDIZAJE:**

El presente trabajo ha servido para aprender a cerca de la naturaleza y contexto alrededor de los tóxicos derivados, los factores que son necesarios para que se den, las consecuencias que tienen tanto en la salud como para poder controlarlos para reducir sus cantidades en la industria.

Ha sido útil para poner en relación los diferentes tóxicos que afectan en mayor y menor grado a la industria alimentaria y a la salud del consumidor.

Ha servido para afianzar la práctica y los conocimientos adquiridos en materia de búsqueda de información en los medios, a través del uso de bases de datos científicas y búsqueda de artículos.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. Camean A, Reppeto M, Jos A, Moreno M, Pichardo S; Tóxicos formados durante el procesado, preparación y almacenamiento de los Alimentos; 2012.
2. Camean A; Toxicología avanzada; 1995.
3. Fernandez P; contaminación producida durante el procesado, preparación, transporte y limpieza de los alimentos; Revista Aldaba [Revista en Internet]; 2013.
4. Arribas G; Análisis, inhibición e ingesta de nuevos contaminantes químicos de procesado en alimentos; 2013.
5. Gustavo Pérez-Morales G, Morales P, H A.I; Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (I): toxicidad, exposición de la población y alimentos implicados Revista Complutense de Ciencias Veterinarias [Revista en Internet]; 2016.

6. Vives I, O. Grimalt J, Guitart R; Los hidrocarburos policíclicos aromáticos y la salud humana; 2001.
7. AECOSAN; Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) Disponible en: [http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad\\_alimentaria/subdetalle/haps.htm](http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/haps.htm)
8. Food standard agency; Polycyclic aromatic hydrocarbons in cereals, cereal products, vegetables, vegetable products and traditionally smoked foods; [Encuesta sobre alimentos, ficha informativa]; 2012.
9. Gustavo Pérez-Morales G, Morales P, H A.I; Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) (II): Medidas de prevención y control; 2016.
10. Elika. hidrocarburos aromáticos policíclicos; 2013.
11. Código de prácticas para reducir la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en los alimentos producidos por procedimientos de ahumado y secado directo; 2009.
12. Arroyo P; Aminas. Propiedades e Importancia; 2011. Disponible en: <http://www.quimicayalgomas.com/quimica-organica/aminas/>
13. Galceran MT; Aminas heterocíclicas en alimentos cocinados.
14. Y Castro A. Bitencourt T. Severo C; Formação de toxinas durante o processamento de alimentos e as possíveis conseqüências para o organismo humano; 2009.
15. Agencia para Sustancias Toxicas y el Registro de Enfermedades. Resúmenes de Salud Pública; Acroleína (Acrolein); 2016.
16. Abraham K, Andres S, Palavinska
17. Stevens JF, Maier CS; Acrolein Sources, metabolism, and biomolecular interactions relevant to human health and disease; 2008.
18. Rufián-Henares J.A, Morales F.J; Functional properties of melanoidins: In vitro antioxidant, antimicrobial and antihypertensive activities; 2007.
19. Mercado A; Agentes tóxicos generados durante el procesamiento de alimentos: compuestos no pirolíticos; peróxidos e hidroperóxidos y nitrosaminas; 2014.
20. Bartel C, Mesias M. Morales FJ; Investigation on the extractability of melanoidins in portioned espresso coffee; 2014. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996914007674?showall%3Dtrue%26via%3Dihub>
21. Godnic M; Acrilamida en los alimentos; 2002.



22. Blog de seguridad alimentaria; Disponible en: <https://www.seguridadalimentariaconbeatriz.com/acrilamida/>
23. acrilamide toolbox; 2013.
24. Zambrano P A, Ortega S. Validación de la determinación de hidroximetilfurfural (HMF) en miel de abejas por el método 980.23 de la AOAC para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la universidad tecnológica de Pereira; 2015.
- 25 Rimblas M. E, Corredor B, de Pascual A. M; Los compuestos químicos en los alimentos desde la perspectiva de la seguridad alimentaria.
26. Ana María Camean A, Repetto M Toxicología alimentaria; 2006.
27. Hernández-Guijo JM; Toxinas procedentes del procesado de alimentos; 2010.
28. Agentes tóxicos generados durante el procesamiento de alimentos  
R, Berg K, E. Appeland E, Lampen A; Toxicology and risk assessment of acrolein in food; 2011. REVIEW.  
Toxicology and risk assessment of acrolein in food.
29. Cecilia A; La fritura de los alimentos: aceite de fritura; 2009.
30. Migueles F; ¿Qué son los compuestos polares totales?; 2013.  
Disponible en: <http://www.comersinmiedo.com/2013/03/que-son-los-compuestos-polares-totales.html>
31. pubchem: 3-MDCP. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7290#section=Top>
32. EFSA: Process contaminants in vegetable oils and foods. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/160503a>
33. Herrero AM, Romero de Ávila MD; Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas; 2006.