

DISPOSITIVOS MÓVILES COMO HERRAMIENTAS PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Roberto Sáez-Hernández, M. Luisa Cervera, Adela R. Mauri-Aucejo

Departamento de Química Analítica, Universitat de València, C/ Dr. Moliner, 50, Burjassot, 46100, España

Los dispositivos de análisis *point of care* (POC, por sus siglas en inglés) en el ámbito de la salud han tomado protagonismo durante los últimos años, y por todos/as es conocido su existencia, utilidad y limitaciones. Sin embargo, en el ámbito de la seguridad alimentaria, su desarrollo y transferencia a la sociedad no se encuentra todavía a niveles comparables.

Una de las estrategias para acercar los análisis al usuario son los teléfonos móviles: estos, en tanto que dispositivos equipados de diferentes sistemas electrónicos, permiten hacer uso de ellos (a veces con las debidas modificaciones) para realizar análisis químicos, bien sean electroquímicos u ópticos (1). En este artículo, nos centraremos en la segunda posibilidad: la aplicación de las cámaras móviles para análisis de parámetros químicos de interés, poniendo el foco en un caso concreto del análisis alimentario.

Acrilamida en alimentos

La acrilamida (2-propenamida) es un compuesto orgánico sencillo que encuentra usos en diferentes ámbitos como reactivo de síntesis en la preparación de compuestos como copolímeros, siendo la poliacrilamida el ejemplo más característico. Dada su naturaleza relativamente polar, es un compuesto soluble en agua, así como en disolventes orgánicos polares, tales como el metanol o la acetona.

Pese a ser un compuesto cuya síntesis se describió por primera vez en 1949 (2), su interés en el ámbito de la salud y la seguridad alimentaria no surgió hasta el año 2002, a raíz de un estudio llevado a cabo en Suecia por investigadores/as y publicado en la revista *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (3) en el que se demostraba cómo la técnica de cocinado y la naturaleza del alimento eran factores clave en la mayor presencia de acrilamida, y se alertaba acerca de la influencia que la dieta y las técnicas de calentamiento podían tener sobre la ingesta de productos sobre los cuales ya sobrevolaba una sospecha. Los resultados de la investigación, que fueron objeto de gran interés mediático (4) (incluyendo filtraciones, intereses comerciales, científicos y políticos), generaron por

primera vez la necesidad de someter a mayor control la presencia de acrilamida en alimentos.

Como quedó expresado en la opinión científica redactada por la Comisión Europea, este descubrimiento no suponía un riesgo nuevo para la seguridad alimentaria, sino más bien una ampliación del conocimiento acerca de los riesgos asociados al consumo de ciertos alimentos (5). Además, derivado del recién publicado artículo, quedaba claro que el modo de preparación de los alimentos constituía una de las variables de mayor significancia a la hora de reducir los riesgos asociados al consumo de sustancias peligrosas.

En esta dirección, se comenzó a investigar acerca de diferentes estrategias y metodologías para reducir la formación de acrilamida en diferentes alimentos. Por ejemplo, el escaldado previo a la preparación de patatas fritas demostró utilidad para reducir la formación de dicho compuesto en este alimento (6). Asimismo, el uso de técnicas de cocina como el microondas o el hervido también se han mostrado eficientes para la preparación de alimentos de manera que la cantidad de acrilamida sea menor. En general, las metodologías de cocinado que involucran temperaturas más suaves favorecen la mitigación en la producción. El pH también es un factor importante, siendo un pH neutro el que favorece la aparición de mayores cantidades de acrilamida en alimentos (7). Este tipo de buenas prácticas se recogen en el *Acrylamide Toolbox*, un informe en que se recomiendan estrategias para diferentes tipos de alimentos con el fin de minimizar el contenido de acrilamida (8). Los alimentos que presentan mayor probabilidad de contener acrilamida son, por tanto, aquellos que tengan elevados contenidos de carbohidratos, aminoácidos (especialmente asparagina), y que sean sometidos a procesos de calentamiento a elevadas temperaturas. Destacan, por tanto, el café, el pan, galletas, los productos fritos como las patatas y los alimentos infantiles a base de cereales. A día de hoy, la evidencia en animales apunta hacia el efecto neurotóxico y carcinogénico de la acrilamida, aunque este último no queda claro para el caso de los humanos (9, 10). Sin embargo, dada la incertidumbre y el potencial peligro en este sentido, la Agencia Internacional para la

Investigación del Cáncer (IARC, de sus siglas en inglés) la clasifica dentro del grupo 2A (11), como “probablemente carcinogénico para humanos”. En la base de datos de la ECHA (European Chemicals Agency), aparece como sustancia posiblemente carcinogénica, mutagénica y peligrosa para la piel (12).

En este contexto, es evidente que la presencia de acrilamida en alimentos preparados es un parámetro de obligado control. Como tal, y según se desprende de la normativa europea (13), existe un valor límite para una serie de alimentos (productos de panadería, café y derivados, comidas infantiles...) así como una colección de prácticas de producción, desde la agronomía hasta el preparado, pasando por la formulación. Para el caso particular del pan, se recomienda mantener los cultivos libres de infecciones por hongos, la sustitución de fructosa por glucosa, o la optimización de los procesos de cocción del pan para disminuir, en la medida de lo posible, la formación de acrilamida.

Sin embargo, esta normativa encuentra su límite en los hogares. Si bien algunos productos que tienen prevista su finalización en casa (como podría ser algunos panes que se terminan de cocer en el hogar) sí están incluidos en la normativa europea y por tanto contienen instrucciones y recomendaciones, existen otros que escapan completamente de su alcance. Es el caso, por ejemplo, de las tostadas de pan. En este sentido, el Ministerio de Sanidad publicó en el 2019 una campaña titulada “con la acrilamida, no desentones. Elige dorado, elige salud” (14) con el objetivo de concienciar al consumidor final de la importancia de la minimización del contenido de acrilamida. En ella, se hace énfasis en la importancia del color como aproximación al nivel de esta sustancia en el producto final.

Dispositivos móviles para el control de parámetros químicos de interés

A modo de aproximación sencilla, *in situ* y conocida por el consumidor, los móviles se presentan como una herramienta adecuada para la determinación de ciertos parámetros químicos de interés. En este caso, el objetivo del trabajo (15) pasó por determinar la posibilidad de hacer uso de un teléfono móvil como herramienta de captura del color con el fin de establecer una correlación entre acrilamida y color final de la tostada.

Utilizando pan de molde a base de harina de trigo refinada, se prepararon tostadas mediante una tostadora comercial, y se sometieron a diferentes

tiempos de calentamiento para obtener una graduación de color. A continuación, se fotografiaron las muestras antes de ser analizadas mediante cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas.

Para ello, se hizo uso de una cabina de luz portátil que proporcionara una iluminación constante a las muestras, que se introducían en la cabina junto con un blanco de referencia para contrarrestar pequeños cambios en la iluminación. Haciendo uso de un dispositivo móvil, se capturaron las imágenes y mediante tratamiento de imagen haciendo uso del *toolbox* “colorlab” (16) se extrajeron parámetros de color RGB y CIE L*C*h*.

De esta manera, los resultados de color se hicieron corresponder con las concentraciones observadas mediante LC-MS para estudiar las posibles correlaciones.

En este punto, cabe mencionar la colorimetría y el concepto de espacio de color, dado que son las herramientas utilizadas en la aplicación de dispositivos móviles como instrumentos de análisis del color. El archivo de imagen codifica la información referente al color en una serie de parámetros a los que habitualmente se les conoce como canales. Éstos, generalmente, vienen en tríadas: por ejemplo, el espacio de color RGB, está compuesto por R, G y B, que hacen referencia a los canales que representan rojo, verde y azul, respectivamente. Así, un color vendrá representado por un vector de dimensión 3x1, de los cuales el (255, 255, 255) o su versión normalizada (1, 1, 1) representan el blanco, y el (0, 0, 0) representa el negro.

Sin embargo, existen otros sistemas alternativos de codificación del color, como el CIE L*C*h*, que funcionan de manera similar: un canal, el L* (luminancia) representa la cantidad de luz que tiene dicho color, tomando valores más elevados para colores más claro, y valores menores para colores oscuros; y dos canales (C* y h*) que representan el color en coordenadas cilíndricas. Por un lado, la cromaticidad (C*) representa la *cantidad* de color, y sería el módulo del vector; por otro lado, el tono (h*), que representa la *naturaleza* de dicho color, y sería el ángulo de dicho vector.

Los resultados obtenidos permitieron observar correlación entre el parámetro R con respecto al contenido global de acrilamida en la tostada, como se puede observar en la **Figura 1**. Como se aprecia, los valores R van en decrecimiento a medida que aumenta la concentración de acrilamida debido al hecho de que el color global de la tostada se oscurece con el calentamiento (15). La tendencia, en el caso del parámetro que indica el tono (h*), es

también descendente, pero en este caso no sigue un comportamiento lineal. La variación de este último parámetro indica que el color de la tostada pasa desde un amarillo inicial hacia el rojo.

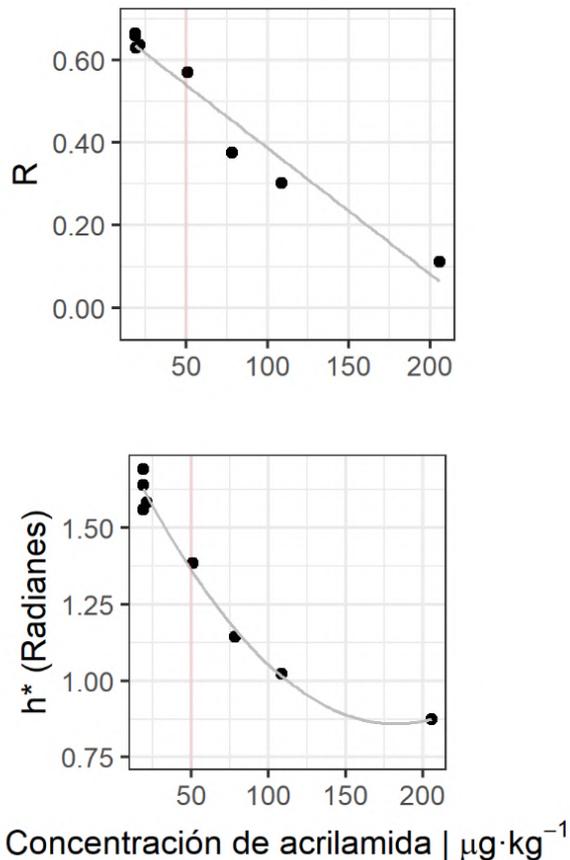


Figura 1: Correlación entre los parámetros R y h* y la concentración promedio de acrilamida en las tostadas. Los ajustes se realizaron mediante un modelo lineal y un polinómico, respectivamente.

Mediante esta aproximación se observa que los límites marcados en rojo, correspondientes al valor máximo recomendado en la Directiva 2017/2158, quedan delimitados en términos de color en las condiciones de trabajo estudiadas. Así, es sencillo discriminar una tostada que supere el contenido promedio máximo simplemente en base al color que presenten sus caras.

En la Figura 2 se presenta de manera visual la relación entre la concentración global de acrilamida, el valor de tono (en radianes) y el color de una de las caras de algunas de las muestras.

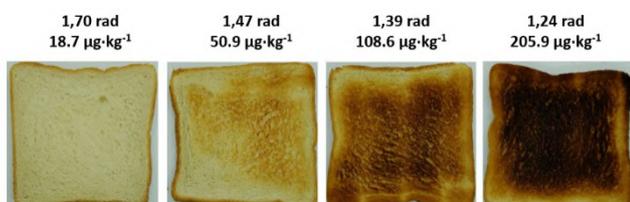


Figura 2: Valores de tono (h*), concentraciones globales de acrilamida encontradas y aspecto de la tostada.

En resumen

De los resultados de la investigación se desprende que existe un potencial desarrollo de herramientas *in situ* para la determinación de acrilamida en tostadas, que permitiría al usuario final establecer, de manera cuantitativa, si el alimento se encuentra dentro de los márgenes considerados como seguros para el consumo.

Este tipo de aproximaciones analíticas han de tomarse, en todo caso, con las precauciones pertinentes. A saber, se trata de dispositivos que no fueron originalmente diseñados con tal fin, de manera que los resultados son fiables siempre que se trabaje en las condiciones en las que se ha desarrollado la optimización.

En este sentido, las condiciones de iluminación suponen un factor crucial a la hora de asegurar, por un lado, la repetibilidad de los resultados. Por otro lado, existe el factor de la variabilidad entre dispositivos. Dado que los fabricantes de dispositivos móviles aplican diferentes filtros y procesos automáticos de modificación y mejora de la imagen, el color final que representa la imagen no tiene por qué corresponderse con el color real de la muestra. Para ello, y en función de cuál sea el objetivo final de la investigación, es necesaria una caracterización de la respuesta de la cámara en las condiciones de trabajo.

En esta dirección se centra una parte de la investigación del grupo, en colaboración con el departamento de Óptica, Optometría y Ciencias de la Visión de la Universitat de València, poniendo el foco en el análisis de muestras de carácter alimentario con casos de estudio particulares como el presentado en este breve resumen, o en la lucha del fraude alimentario (17), así como en el estudio de muestras patrimoniales y arqueológicas (18).

Agradecimientos

Roberto Sáez-Hernández agradece al Ministerio de Universidades por un contrato FPU19/02304. El trabajo fue financiado por el proyecto PROMETEO/2019/056. Este trabajo fue llevado a cabo en colaboración con el Laboratorio de Salud Pública de Valencia.

Referencias

1. S. E. Seo, F. Tabei, S. J. Park, B. Askarian, K. H. Kim, G. Moallem, J. W. Chong, O. S. Kwon, Smartphone with optical, physical, and

- electrochemical nanobiosensors. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. **77**, 1–11 (2019).
2. Molecule of the week - Acrylamide. *American Chemical Society*, (available at <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/a/acrylamide.html>).
 3. E. Tareke, P. Rydberg, P. Karlsson, S. Eriksson, M. Törnqvist, Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **50**, 4998–5006 (2002).
 4. R. E. Löfstedt, Science Communication and the Swedish Acrylamide “Alarm.” *Journal of Health Communication*. **8**, 407–432 (2003).
 5. Opinion of the Scientific Committee on Food on new findings regarding the presence of acrylamide in food. Health & Consumer Protection Directorate-General. European Commission, 2002.
 6. F. Pedreschi, P. Moyano, K. Kaack, K. Granby, Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Research International*. **38**, 1–9 (2005).
 7. J. Keramat, A. LeBail, C. Prost, N. Soltanizadeh, Acrylamide in Foods: Chemistry and Analysis. A Review. *Food and Bioprocess Technology*. **4**, 340–363 (2011).
 8. Food Drink Europe, “Acrylamide Toolbox” (Brussels, 2019). https://www.fooddrinkeurope.eu/wp-content/uploads/2021/05/FoodDrinkEurope_Acrylamide_Toolbox_2019.pdf
 9. S. F. Fernández, O. Pardo, C. Coscollà, V. Yusà, Exposure assessment of Spanish lactating mothers to acrylamide via human biomonitoring. *Environmental Research*. **203**, 111832 (2022).
 10. G. Eisenbrand, Revisiting the evidence for genotoxicity of acrylamide (AA), key to risk assessment of dietary AA exposure. *Archives of Toxicology*. **94**, 2939–2950 (2020).
 11. Acrylamide – IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans, (available at <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications/>).
 12. Substance Information - Acrylamide, (available at <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.001.067>).
 13. European Commission, *Commission regulation (EU) 2017/ 2158 of 20 November 2017 - establishing mitigation measures and benchmark levels for the reduction of the presence of acrylamide in food* (<http://data.europa.eu/eli/reg/2017/2158/oj>).
 14. *Con la acrilamida no desentones. Elige dorado, elige salud* (2018; <https://www.youtube.com/watch?v=tcuu2z3hXo>).
 15. R. Sáez-Hernández, P. Ruiz, A. R. Mauri-Aucejo, V. Yusa, M. L. Cervera, Determination of acrylamide in toasts using digital image colorimetry by smartphone. *Food Control*. **141**, 109163 (2022).
 16. J. Malo, M.J. Luque, ColorLab: the Matlab toolbox for Colorimetry and Color Vision (2002), (available at <http://isp.uv.es/code/visioncolor/colorlab.html>).
 17. R. Sáez-Hernández, K. U. Antela, A. R. Mauri-Aucejo, A. Morales-Rubio, M. L. Cervera, Smartphone-based colorimetric study of adulterated tuna samples. *Food Chemistry*. **389**, 133063 (2022).
 18. M. Ramacciotti, G. Gallelo, M. Lezzerini, S. Pagnotta, A. Aquino, L. Alapont, J. A. Martín Ruiz, A. Pérez-Malumbres Landa, R. Hiraldo Aguilera, D. Godoy Ruiz, A. Morales-Rubio, M. L. Cervera, A. Pastor, Smartphone application for ancient mortars identification developed by a multi-analytical approach. *Journal of Archaeological Science: Reports*. **43**, 103433 (2022).