



Huellas dactilares y la química detrás de algunas técnicas para revelarlas

Fingermarks and the chemistry behind some techniques to reveal them

Jorge Luis López Zepeda¹

Resumen

Las huellas dactilares depositadas sobre las superficies que tocamos o manipulamos, al tener un carácter único para cada persona, son un elemento de identificación individual. Por ello, las huellas dactilares son muy importantes en las investigaciones forenses, ya que permiten demostrar si hay vínculos entre lugares, personas y objetos. En los lugares de investigación, las huellas dactilares por lo común no se ven a simple vista, por lo cual deben encontrarse y revelarse con alguna técnica, ya sea física o química. En este artículo primeramente se proporciona una visión general de las huellas dactilares y su composición, que después será útil para describir y entender la variedad de aspectos químicos de dos técnicas de revelado químico —con yodo elemental y con nitrato de plata—, con el objetivo principal de introducir y despertar el interés por esta área de aplicación y estudio. Además, se tiene la intención de motivar al profesorado para que integre con más frecuencia la enseñanza de conceptos químicos a un contexto forense, como por ejemplo el del revelado de huellas dactilares, ya que la enseñanza contextualizada en situaciones reales —como lo son las aplicaciones forenses— generalmente es motivante y genera interés en el estudiantado.

Palabras clave

Huellas dactilares; huellas dactilares latentes; técnicas de revelado químico de huellas dactilares; yodo elemental, nitrato de plata; enseñanza contextualizada; ciencia forense.

Abstract

The fingerprints deposited on the surfaces that we touch or manipulate, having a unique character for each person, are an element of individual identification. For this reason, fingerprints are very important in forensic investigations, since they allow demonstrating if there are links between places, people and objects. At investigation sites, fingerprints are often not visible to the naked eye, so they must be found and developed by some technique, either physical or chemical. This article first provides an overview of fingerprints and their composition, which will then be useful to describe and understand the variety of chemical aspects of two chemical development techniques —with elemental iodine and with silver nitrate—, with the main objective of introducing and arousing interest in this area of application and study. In addition, it is intended to motivate teachers to more frequently integrate the teaching of chemical concepts into a forensic context, such as the development of fingerprints, since contextualized teaching in real situations —such as forensic applications— is generally motivating and generates interest in students.

Keywords

Fingerprints; latent fingerprints; chemical development techniques for fingerprints; elemental iodine, silver nitrate; contextualized teaching; forensic science.

¹ Licenciatura en Ciencia Forense, Facultad de Medicina, UNAM.

Introducción

Las huellas dactilares están presentes en nuestra vida cotidiana y las podemos encontrar, por ejemplo, en algunos documentos oficiales que sirven para identificarnos, como en ciertas actas y credenciales. Las huellas dactilares son elementos de identificación porque son únicas para una determinada persona; incluso los gemelos monocigóticos — aquellos que tienen el mismo genoma debido a que se producen a partir de la división en dos de un solo óvulo fertilizado por un único espermatozoide— tienen huellas diferentes (Cornago Ramírez y Esteban Santos, 2016).

A diferencia de las huellas dactilares que aparecen en nuestros documentos de identificación personal, que son producidas de manera deliberada y generalmente se ven con claridad, cuando tocamos una superficie o tomamos un objeto con nuestras manos también dejamos las marcas de nuestros dedos, pero por lo común estas huellas no se ven a simple vista.

Las huellas dactilares generalmente están presentes en los lugares de investigación donde presuntamente se ha cometido algún delito, y debido a la naturaleza única de los patrones, las huellas son una prueba de que un individuo ha tenido contacto con una superficie u objeto si ahí están sus huellas dactilares (Almog, 2000).

En los lugares de investigación es muy común la presencia de huellas dactilares que no se ven fácilmente y que requieren algún tipo de tratamiento para hacerlas visibles, y poder después someterlas a los procesos de análisis e identificación (Frick et al., 2015). Este tipo de huellas se denominan *huellas latentes*, y se pueden localizar, por ejemplo, aplicando luz ultravioleta o láser sobre la superficie sobre la que se encuentran (Almog, 2000; Cornago Ramírez y Esteban Santos, 2016).

Una vez localizadas, las huellas latentes se pueden visualizar o se puede mejorar su visualización por medio de reactivos o sustancias *reveladoras*. Las técnicas —físicas y químicas— que se usan para revelar huellas latentes son muy numerosas (Lee and Gaensslen, 2001; Champod et al., 2016; Bleay et al., 2018), por lo que en este trabajo únicamente se profundiza en la química de un par de ejemplos: uno con un revelador químico gaseoso (vapores de yodo elemental) y otro con un revelador químico líquido (nitrato de plata en disolución).

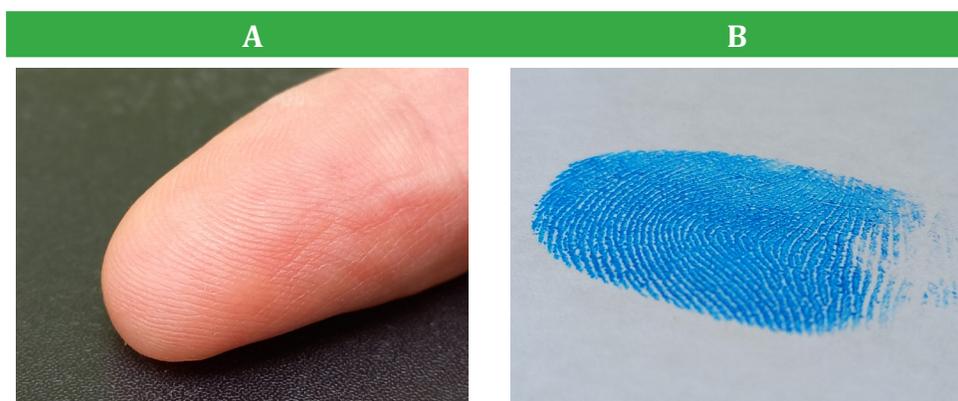
Además del estado de agregación diferente, la principal razón para presentar estos dos ejemplos es mostrar la variedad de conceptos químicos que hay detrás de las técnicas de revelado de huellas latentes, que pueden ser aprovechados para enseñar temas de química dentro de un contexto forense. En este sentido, está bien documentado que una técnica pedagógica muy motivante para los estudiantes consiste en ligar los conceptos químicos que están aprendiendo con situaciones de la vida real (Jones and Miller, 2001; Morra, 2018; Parga-Lozano y Piñeros-Carranza, 2018; Carrizo et al., 2022), como lo son los problemas que se tienen que resolver en un ámbito forense.

El objetivo de este trabajo es introducir a las y los lectores a las técnicas de revelado de huellas dactilares latentes, mostrando la variedad de conceptos químicos que subyacen en estas técnicas a través de dos ejemplos —el revelado con vapores de yodo y con nitrato de plata—, con la finalidad de atraer la atención hacia estas técnicas, y también para promover la enseñanza de la química a través de la ciencia forense.

Huellas dactilares latentes y su composición

Una *huella dactilar* es el conjunto de relieves —llamados crestas papilares— y de los espacios hundidos entre ellos —conocidos como surcos interpapilares— que hay en la piel de la yema de cada dedo (ver figura 1A). Estas huellas *naturales* se pueden imprimir de manera voluntaria o intencional sobre una superficie, por ejemplo, presionando las yemas entintadas de los dedos sobre una hoja de papel (o también se pueden reproducir colocando nuestras yemas sobre un dispositivo que genera una imagen digital de ellas). Este tipo de patrones *artificiales* que se obtienen mediante una impresión controlada (o ahora también por escaneo), formalmente se denominan *impresiones dactilares* (Champod et al., 2016) (ver figura 1B).

FIGURA 1. A. *Huella dactilar* en la punta de un dedo, donde se pueden observar las crestas en color claro y los surcos en un color más oscuro.
B. *Impresión dactilar* sobre una hoja de papel. Las líneas azules fueron dejadas por las crestas entintadas.



Ahora bien, las huellas de nuestros dedos también se pueden reproducir sobre objetos y superficies como resultado de nuestras acciones cotidianas. A las marcas que quedan impresas sobre lo que tocamos o manipulamos —a menudo incompletas, distorsionadas o manchadas—, también se les llama por lo regular *huellas dactilares*, y pueden ser *huellas dactilares patentes* (si son fácilmente visibles) o *huellas dactilares latentes* (si no son visibles a simple vista).

En los lugares de investigación donde presuntamente se ha cometido un delito, las huellas dactilares latentes son las que se encuentran con más frecuencia (Frick et al., 2015), y por lo tanto requieren de un tratamiento para hacerlas visibles y útiles para las investigaciones forenses. Las técnicas de revelado hacen visibles las huellas latentes o pueden incrementar su visibilidad cuando apenas se ven, esto para preservarlas y usarlas para la identificación (Almog, 2000).

La elección de la técnica más adecuada para el revelado de huellas depende principalmente del tipo de superficie sobre la que se encuentran (porosa o no porosa), además de otros factores tales como las condiciones ambientales a las que han sido expuestas las huellas (quizá a la luz del sol o a la lluvia), la presencia de contaminantes en ellas (como sangre o grasa) o la necesidad de llevar a cabo otros análisis posteriores (por ejemplo, de ADN) (Kent, 2013).

Por otra parte, la técnica de revelado que se elija también debe tomar en cuenta la composición de las huellas, ya que lo que se busca es que los reactivos empleados en la técnica interactúen con alguna de las sustancias que están presentes en las huellas latentes, de tal manera que se produzca el mejor contraste posible entre las huellas y la superficie sobre la que se encuentran, para que los patrones se puedan observar y fotografiar (Cornago Ramírez y Esteban Santos, 2016).

Las sustancias que hay en el residuo de una huella latente provienen de las secreciones de las glándulas ecrinas, sebáceas y apocrinas —que están en la dermis, la capa interna de la piel—, y de las células muertas que se desprenden de la epidermis —la capa externa de la piel— (Frick et al., 2013). Las sustancias de estas fuentes son los componentes *propios* de las huellas dactilares. En la composición de las huellas también hay *contaminantes*, por ejemplo, restos de comida, polvo o cosméticos (Girod et al., 2012).

Las glándulas apocrinas, que secretan sudor, están asociadas a los folículos pilosos de las axilas, las ingles y el pecho, por lo que es raro que las sustancias de estas glándulas estén en el residuo de una huella dactilar. Por lo tanto, para el propósito de detectar huellas dactilares, solo se consideran importantes las sustancias presentes en las secreciones de las glándulas ecrinas y sebáceas (Jelly et al., 2009; Frick et al., 2013).

Las glándulas ecrinas —comúnmente conocidas como glándulas sudoríparas— están distribuidas por todo el cuerpo, pero se concentran en la frente, las plantas de los pies y las palmas de las manos, y dado que en éstas son las únicas glándulas secretoras presentes, se espera que el residuo de las huellas dactilares siempre contenga algunas sustancias del sudor ecrino (Frick et al., 2015). En la tabla 1 se muestran algunas sustancias que se han identificado en los residuos de las huellas dactilares y que tienen su origen en el sudor ecrino. Las especies inorgánicas del sudor ecrino que son más abundantes en los residuos de las huellas son los iones cloruro, sodio y potasio, mientras que entre las sustancias orgánicas las que se encuentran en mayor cantidad en los residuos son las proteínas y el ácido láctico, seguidas por la urea y varios aminoácidos (Girod et al., 2012). Aquí es importante tener presente que en una huella dactilar recién depositada, lo que más abunda —y por mucho— es el agua, que constituye aproximadamente el 98% de la composición del residuo (Cornago Ramírez y Esteban Santos, 2016).

Sustancias y especies químicas	
Inorgánicas	Orgánicas
Iones cloruro	Proteínas
Iones sodio	Ácido láctico
Iones potasio	Aminoácidos
Amoniaco	Urea
Iones amonio	Fenol
Iones calcio	Colina
Sulfuros	Ácido úrico
Iones magnesio	Vitaminas
	Creatinina

TABLA 1. Sustancias y especies químicas del sudor ecrino que se han identificado en los residuos de huellas dactilares (Girod et al., 2012).

Las glándulas sebáceas se localizan en todo el cuerpo, excepto en las plantas de los pies y en las palmas de las manos, y se concentran sobre todo en la frente y en el cuero cabelludo. Las glándulas sebáceas secretan sebo, una mezcla oleosa que se integra al contenido de las huellas dactilares cuando nos tocamos la cara o el cabello. El sebo aporta la mayor cantidad de los lípidos que se encuentran en los residuos de las huellas dactilares (Frick et al., 2013).

En la tabla 2 se pueden ver varias sustancias que se han encontrado en los residuos de las huellas dactilares y que proceden —directa o indirectamente— del sebo, y en la figura 2 se pueden ver algunos ejemplos de sus estructuras moleculares. Los ácidos grasos libres son los compuestos más abundantes que se han identificado en los residuos (Girod et al., 2012). Cabe resaltar que los ácidos grasos no se producen en las glándulas sebáceas (Frick et al., 2013), sino en la epidermis, donde ciertas enzimas (lipasas) presentes en la superficie de la piel y de origen bacteriano, hidrolizan a los triglicéridos del sebo, liberando los ácidos grasos, junto con monoglicéridos y diglicéridos, además de glicerol.

Sustancias

Ácidos grasos libres

Ceras

Diglicéridos

Triglicéridos

Monoglicéridos

Ésteres de colesterol

Escualeno

Productos de oxidación del escualeno

Colesterol

TABLA 2. Sustancias orgánicas de origen sebáceo, que se han identificado en los residuos de huellas dactilares (Girod et al., 2012).

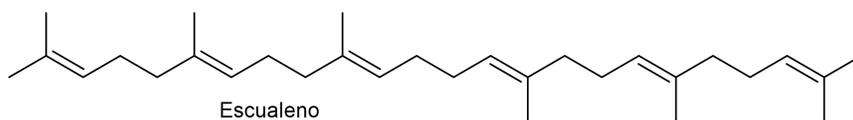
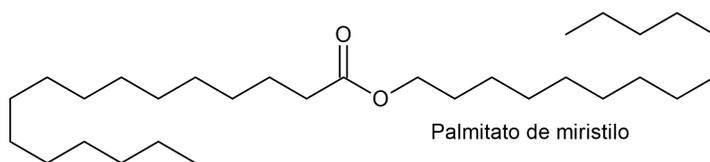
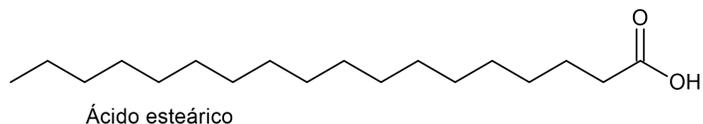


FIGURA 2. Representaciones de las estructuras moleculares de algunas sustancias que tienen su origen en el sebo, y que han sido identificadas en los residuos de huellas dactilares.

La composición de las huellas dactilares es muy variable entre las personas y cambia incluso en un mismo individuo con el paso del tiempo (Frick et al., 2013). La variabilidad en la composición de las huellas es resultado de varios factores. En el momento en que se deposita una huella sobre una superficie, la cantidad y diversidad de sustancias en el residuo inicial dependen de las características del donador (por ejemplo, su edad, género y dieta), las condiciones bajo las que se depositó la huella (por ejemplo, la presión ejercida y

la duración del contacto) así como la naturaleza de la superficie (por ejemplo, si es porosa o no porosa). Al transcurrir el tiempo, la composición del residuo cambia, debido también al tipo de superficie sobre la que está y a las condiciones ambientales a las que está expuesto (por ejemplo, temperatura, humedad y circulación de aire) (Girod et al., 2012).

No obstante la variabilidad inherente a la composición de las huellas dactilares, es muy importante y útil tener una idea cualitativa y cuantitativa de los tipos de sustancias y especies químicas que pueden tener los residuos, ya que este conocimiento sirve para entender y explicar la química de los métodos de revelado de las huellas dactilares latentes.

En las dos siguientes secciones se darán varios ejemplos de conceptos químicos asociados con dos técnicas de revelado de huellas dactilares latentes —con vapores de yodo elemental y con nitrato de plata en disolución—. Por un lado, se busca introducir y generar interés en las y los lectores por esta práctica tan común y relevante para las investigaciones forenses. Por otro lado, se pretende que estos ejemplos animen al profesorado a integrar la ciencia forense a la enseñanza de la química. Para quienes quieran profundizar en esto último, es muy recomendable consultar la obra de Harper-Leatherman and Huang que se encuentra en lista de referencias (Harper-Leatherman and Huang, 2019).

Química del revelado de huellas dactilares latentes con vapores de yodo elemental

La utilización de vapores de yodo para revelar huellas dactilares es una práctica que tiene mucho tiempo. Su uso se sugiere en una publicación francesa de 1863 (Quinche and Margot, 2010). Para revelar una huella dactilar latente con yodo elemental, el yodo —que es un sólido a temperatura ambiente— se calienta ligeramente para que comience a sublimar. Los vapores de yodo —de color violeta como el sólido— entran en contacto con el residuo de la huella, y el patrón de las crestas se hace visible al tomar un color café-amarillo (ver figura 3), aunque el color desaparece en muy poco tiempo.



FIGURA 3. Huella dactilar sobre papel, revelada con vapores de yodo.

Los vapores de yodo se pueden usar para revelar huellas dactilares latentes en superficies porosas, en particular papel. También se pueden utilizar en superficies no porosas, que preferentemente tengan contaminación con grasa antes de que se hayan depositado sobre ellas las huellas dactilares. Asimismo, los vapores de yodo se recomiendan cuando se necesita emplear una técnica de revelado que no deje rastros del tratamiento (Bleay et al., 2018).

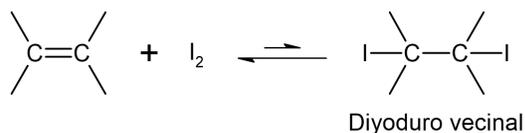
Esta técnica de revelado es simple, rápida y de bajo costo. Es útil para buscar huellas latentes en áreas relativamente grandes y los vapores de yodo no producen una coloración de fondo sobre las superficies. Sus desventajas son que las huellas se desvanecen muy rápido, en ocasiones hay un contraste bajo entre el patrón revelado y la superficie y la técnica tiene baja sensibilidad, por

lo que no es adecuada para revelar huellas antiguas —incluso huellas con más de un día de haber sido depositadas a veces no se pueden revelar con vapores de yodo— (Almog et al., 1979).

En un inicio se pensó que el revelado de huellas por medio de vapores de yodo implicaba una reacción de adición reversible de yodo a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados en el residuo de las huellas (Lee and Gaensslen, 2001) (ver figura 4). Sin embargo, algunas observaciones experimentales posteriores sugieren que este no es el único proceso que puede llevarse a cabo entre el yodo y los componentes de los residuos de las huellas dactilares.

FIGURA 4.

Representación de la adición de yodo molecular a un doble enlace para producir un diyoduro vecinal. La reacción es reversible y, al equilibrio, a temperatura ambiente, está muy desplazada hacia los reactivos, como se muestra en la ecuación.



Se sabe, por ejemplo, que entre los halógenos el que se adiciona más lentamente a los dobles enlaces es el yodo, y que la reacción es fácilmente reversible (Carey and Sundberg, 2008) (ver figura 4). Sin embargo, se pueden revelar huellas latentes de manera instantánea, incluso a -70 °C, aplicando simultáneamente vapores de yodo y agua en huellas frescas y antiguas, indicando que en estas condiciones la adición de yodo a los dobles enlaces probablemente no es la reacción principal. Ante esto, se propuso que lo que fija al yodo a la huella latente es la unión entre las moléculas de agua en el residuo de la huella con las moléculas de yodo, por medio de enlaces intermoleculares tipo dipolo-dipolo inducido, y que la fuerza de esta unión se incrementa por la presencia de sales inorgánicas en el residuo (Almog et al., 1979). La necesidad del agua para que se produzca el revelado, explicaría la ineficacia de la técnica cuando se aplica a huellas antiguas, en las que el agua se ha perdido por evaporación (Bleay et al., 2018).

Otra observación que hace pensar que el yodo se puede unir a los residuos de las huellas en su forma molecular, es que en varias reacciones (que no se describirán en este artículo por cuestiones de espacio) para la *fijación química* de las huellas dactilares reveladas —que son un complemento del proceso de revelado para hacer que las huellas duren más tiempo visibles y puedan ser analizadas posteriormente—, se necesita que haya yodo libre, en forma molecular, para que se lleven a cabo las reacciones de fijación. Los diyoduros vecinales, producto de las reacciones de adición de yodo a dobles enlaces (ver figura 4), no reaccionan con las sustancias fijadoras de la misma manera que el yodo molecular (Almog et al., 1979).

Y de la misma fuente, una evidencia más de que el yodo no solo se puede unir a los residuos de las huellas dactilares a través de adición a dobles enlaces de ácidos grasos insaturados, es que en pruebas en huellas latentes artificiales —sin contenido alguno de material graso— también se obtuvieron productos de reacción visibles cuando se expusieron a los vapores de yodo. Entre las sustancias que se usaron para las pruebas en las huellas artificiales, se incluyeron compuestos que habitualmente forman parte de los residuos de las huellas dactilares reales, como aminoácidos, sales inorgánicas y agua. Además, también se observó que prácticamente no hay diferencia entre la velocidad de reacción y la coloración cuando se hacen pruebas con compuestos saturados y sus análogos insaturados, por ejemplo, entre ácido undecanoico y ácido undecenoico.

Aunque la meta principal de este artículo es generar interés por las técnicas de revelado químico de huellas dactilares, es posible darse cuenta de que al abordar este tema hay una variedad de conceptos químicos que se pueden introducir y desarrollar en cualquier curso básico de química o de química orgánica. Por ejemplo, para comenzar a hablar del revelado con vapores de yodo, se tiene que considerar que este elemento es un sólido a temperatura ambiente a pesar de estar constituido en el nivel submicroscópico por moléculas no polares, y sublima fácilmente. Esto puede ser aprovechado para enseñar sobre polaridad (o apolaridad en este caso), enlaces intermoleculares o incluso acerca de cambios de estado, por mencionar solo algunos conceptos, usando para ello este contexto forense del revelado para incrementar el interés y la motivación del estudiantado. Una condición semejante aplica para la técnica de revelado de huellas que se expondrá a continuación.

Química del revelado de huellas dactilares latentes con nitrato de plata

El nitrato de plata se comenzó a utilizar para revelar huellas dactilares desde 1891 (Lee and Gaensslen, 2001) y, junto con los vapores de yodo, fueron las únicas técnicas efectivas para el revelado sobre superficies porosas hasta que a mediados del siglo XX comenzaron a aparecer otras sustancias para esta tarea (Bleay et al., 2018). Cuando el nitrato de plata (AgNO_3) tiene contacto con los residuos de una huella dactilar, los iones plata (Ag^+) reaccionan con los iones cloruro (Cl^-) que provienen del sudor, y se forma cloruro de plata (AgCl), que es un sólido de color blanco; la huella empieza a revelarse cuando el cloruro de plata se expone a la luz ultravioleta (o solar), ya que este compuesto comienza a descomponerse en plata metálica (Ag) y cloro elemental (Cl_2) (ver figura 5), por lo que el patrón de las crestas se visibiliza al tomar un color café oscuro-gris oscuro (ver figura 6).

FIGURA 5.

Representación de las dos reacciones que se llevan a cabo en la técnica de revelado de huellas dactilares con nitrato de plata.

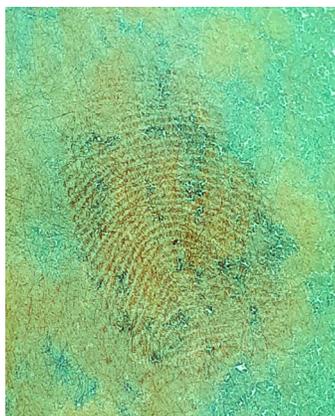
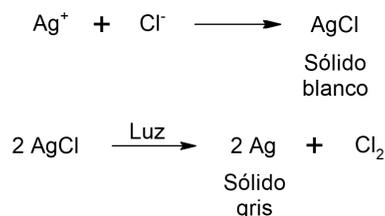


FIGURA 6. Huella dactilar sobre papel, revelada con nitrato de plata (5% en metanol/agua).

Esta técnica de revelado usa el nitrato de plata en disolución y es efectiva en la mayoría de las superficies de papel y de madera sin tratar. Aunque a lo largo del tiempo se han utilizado varias formulaciones, una disolución de trabajo muy común es en metanol, con una concentración de nitrato de plata de 2% (peso/volumen). La superficie donde están depositadas las huellas latentes se puede sumergir en —o rociar con— la disolución de nitrato de plata, y luego la superficie se expone a una fuente de luz —ultravioleta o solar— hasta que se logra el mejor contraste entre las huellas reveladas y la superficie (Champod et al., 2016).

La técnica de revelado con nitrato de plata es fácilmente aplicable, pero tiene como desventaja principal que la superficie de fondo, donde queda el patrón revelado, también se oscurece con el paso del tiempo (ver el color grisáceo sobre el papel blanco en la figura 6), debido a que el nitrato de plata que queda sin reaccionar se descompone gradualmente, motivo por el cual las superficies tratadas se deben mantener en condiciones de obscuridad para reducir la velocidad de este proceso. La técnica también tiene como limitante que no se puede utilizar en superficies húmedas, porque los iones cloruro en los residuos de las huellas pueden migrar, y entonces el patrón se hace difuso e incluso indetectable (Bleay et al., 2018).

El primer paso de la técnica de revelado con nitrato de plata (ver figura 5) es la reacción entre los iones plata y los iones cloruro provenientes del sudor, que forman un precipitado de cloruro de plata, muy poco soluble en agua. La cuantitatividad de esta reacción y la insolubilidad del producto en agua son aprovechadas en otras áreas de la química, por ejemplo, para la determinación gravimétrica de ambos iones (Ayes, 1970). Pero la propiedad más importante de los halogenuros de plata (incluyendo por supuesto al cloruro de plata) es su sensibilidad a la luz ultravioleta, que los descompone en plata elemental y en el halógeno correspondiente (que es la base para su uso en la fotografía tradicional, no digital) (Greenwood and Earnshaw, 1998).

Entonces, en el segundo paso de la técnica, cuando se hace incidir luz sobre los microcristales de cloruro de plata, algunos de los iones cloruro se excitan y pierden cada uno un electrón (se oxidan) y estos electrones se transfieren rápidamente a los iones plata (que se reducen); de esta manera se forman átomos de cloro —que se combinan posteriormente entre sí para formar moléculas de cloro, Cl_2 — y átomos de plata elemental —metálica—, Ag (ver figura 5). La plata así formada es de color café-gris oscuro (por el tamaño tan pequeño de los conglomerados de plata que se producen) y es la que hace visible el patrón de las crestas (ver figura 6).

Comentarios finales

Debido a que las huellas dactilares de cada persona son únicas, se tienen desde el nacimiento hasta la muerte y no cambian a lo largo de la vida, los patrones pueden usarse con fines de identificación en la vida cotidiana, incluyendo situaciones ligadas a investigaciones forenses.

Por lo anterior, es relevante tener el mejor conocimiento posible sobre la composición de los residuos de las huellas, no solo para entender los procesos químicos que ocurren al emplear una determinada técnica para revelarlas, sino para poder mejorar las técnicas en uso o para poder desarrollar otras.

La química es fundamental para las investigaciones forenses (para una pequeña muestra, se tienen las técnicas de revelado descritas en este artículo), pero los casos y situaciones forenses —reales, ficticias o adaptadas— también se pueden integrar a actividades en el aula, encaminadas a la enseñanza de la química de una manera más motivante y con sentido para las y los estudiantes.

Referencias

- Almog, J., Sasson, Y. and Anati, A. (1979). Chemical Reagents for the Development of Latent Fingerprints. II: Controlled Addition of Water Vapor to Iodine Fumes—A Solution to the Aging Problem. *Journal of Forensic Sciences*, 24(2), 431-436.
- Almog, J. (2000). FINGERPRINTS (DACTYLOSCOPY): Visualization. In: Siegel, J., Saukko, P. and Knupfer, G. (editors), *Encyclopedia of Forensics Sciences* (pp. 890-900). Academic Press.
- Ayres, G.H. (1970). *Análisis Químico Cuantitativo*. (2ª ed.). Harla.
- Bleay, S., Sears, V., Downham, R., Bandey, H., Gibson, A., Bowman, V., Fitzgerald, L., Ciuksza, T., Ramadani, J. and Selway, C. (2018). *Fingerprint Source Book v2.0* (2nd ed.). Home Office. <https://www.gov.uk/government/publications/fingerprint-source-book-v2>
- Carey, F. A. and Sundberg, R. J. (2008). *Advanced Organic Chemistry: Part A: Structure and Mechanisms*. (5th ed.). Springer.
- Carrizo, M. A., Giménez, M. E., Barutti, M. E. y Cayo, I. J. (2022). El abordaje de pH en contexto áulico desde la interpretación de situaciones cotidianas. *Educación Química*, 33(2), 94-105. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.2.79628>
- Champod, C., Lennard, C., Margot, P. and Stoilovic, M. (2016). *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions* (2nd ed.). CRC Press. <https://bidi.unam.mx/>
- Cornago Ramírez, M. D. P. y Esteban Santos, S. (2016). *Química Forense*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://bidi.unam.mx/>
- Frick, A. A., Fritz, P. and Lewis, S. W. (2013). Chemistry of Print Residue. In: Siegel, J. A., Saukko, P. J., and Houck, M. M. (editors), *Encyclopedia of Forensics Sciences* (2nd ed., pp. 92-97). Academic Press.
- Frick, A. A., Fritz, P. and Lewis, S. W. (2015). Chemical methods for the detection of latent fingermarks. In: Siegel, J. A. (editor), *Forensic Chemistry: Fundamentals and Applications* (pp. 354-399). Wiley-Blackwell.
- Girod, A., Ramotowski, R. and Weyermann, C. (2012). Composition of fingerprint residue: A qualitative and quantitative review. *Forensic Science International*, 223(1-3), 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.05.018>
- Greenwood, N. N. and Earnshaw, A. (1998). *Chemistry of the Elements*. (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

- Harper-Leatherman, A. S. and Huang, L. (Editors). (2019). *Teaching Chemistry with Forensic Science*. (ACS Symposium Series 1324). American Chemical Society.
- Jelly, R., Patton, E. L. T., Lennard, C., Lewis, S. W. and Lim, K. F. (2009). The detection of latent fingerprints on porous surfaces using amino acid sensitive reagents: A review. *Analytica Chimica Acta*, 652(1-2), 128-142. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.06.023>
- Jones, M. B. and Miller, C. R. (2001). Chemistry in the Real World. *Journal of Chemical Education*, 78(4), 484-487. <https://doi.org/10.1021/ed078p484>
- Kent, T. (2013). Visualization or Development of Crime Scene Fingerprints. In: Siegel, J. A., Saukko, P. J., and Houck, M. M. (editors), *Encyclopedia of Forensics Sciences* (2nd ed., pp. 117-129). Academic Press.
- Lee, H. C. and Gaensslen, R. E. (Editors). (2001). *Advances in Fingerprint Technology* (2nd ed.). CRC Press.
- Morra, B. (2018). The Chemistry Connections Challenge: Encouraging Students To Connect Course Concepts with Real-World Applications. *Journal of Chemical Education*, 95(12), 2212-2215. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00137>
- Parga-Lozano, D. L. y Piñeros-Carranza, G. Y. (2018). Enseñanza de la química desde contenidos contextualizados. *Educación Química*, 29(1), 55-64. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63683>
- Quinche, N. and Margot, P. (2010). Coulier, Paul-Jean (1824-1890): A Precursor in the History of Fingerprint Detection and Their Potential Use for Identifying Their Source (1863). *Journal of Forensic Identification*, 60(2), 129-134. <https://www.proquest.com/docview/194804550>