



¿NECESITA EL CIENTÍFICO FORENSE COMPRENDER LA PERIODICIDAD?

Ana María Sosa¹ y Luis Jiro Suzuri Hernández²

Resumen

La enseñanza de la química para la formación de científicos forenses plantea un reto inédito, ya que el perfil de este profesional es muy diferente al de los egresados de las facultades de química. En este trabajo abordamos la enseñanza de la tabla periódica en un contexto forense, partiendo del programa de la asignatura de Química General en el Plan de Estudios de la Licenciatura en Ciencia Forense de la UNAM. Resultado de un estudio exploratorio, presentamos los usos que los profesores de las asignaturas del área de química hacen de la tabla periódica en sus clases. A manera de ejemplo ofrecemos dos casos en los que la comprensión de información de la tabla periódica desempeña un papel fundamental en una averiguación forense, casos que pueden emplearse en el aula para contextualizar la enseñanza de las propiedades periódicas, y de los cuales se desprenden recomendaciones para su enseñanza.

Palabras clave

científico forense, perfil profesional, tabla periódica, didáctica de la ciencia forense

Do forensic scientists need to understand periodicity?

Abstract

Teaching chemistry with the aim of training forensic scientists represents a challenge for teachers accustomed to aspiring chemists, in light of the different professional qualities expected from each. In this work we address how to teach the periodic table in a forensic context, as per the guidelines set for General Chemistry, an introductory course in the curriculum of the BA Program of Forensic Science of the National Autonomous University of Mexico. An exploratory study allowed us to probe teachers' use of the periodic table in classes aimed at forensic scientists. By way of examples, we offer two cases in which an understanding of information contained in the periodic table plays a key role in forensic investigations: both can be used in the classroom to teach the topic of periodicity within an interdisciplinary, forensic milieu. We conclude with recommendations for teachers, arising from insights drawn from both cases.

Keywords

forensic scientist, professional profile, periodic table, forensic science education

¹ Doctora en Ciencias y Licenciada en Química por la UNAM. Cuenta con experiencia docente a nivel Medio Superior, Superior y Posgrado. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores. Es tutora de la Maestría en Didáctica en Educación Media Superior de la UNAM. Además es autora de varios libros de texto de química y varios capítulos sobre la enseñanza de la ciencia forense. Actualmente encabeza la Unidad de Docencia de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM.

² Doctor en Educación en Ciencias por la Universidad de York (Reino Unido), y maestro en Ciencias Bioquímicas y Licenciado en Química Farmacéutico Biológica de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuenta con experiencia en la docencia en el nivel medio superior y superior, impartiendo asignaturas como Química General, Metodología de la Investigación Científica y Filosofía de la Ciencia. Actualmente se desempeña como Profesor Asociado e integrante de la Unidad de Docencia de la Licenciatura en Ciencia Forense de la Facultad de Medicina de la UNAM.

Introducción

Más que como una entidad unitaria, podemos conceptualizar a la ciencia forense como un campo dinámico que une diversas disciplinas científicas para dar cuenta de hechos que son objeto de controversias jurídicas, sobre los que hay que tomar una decisión con consecuencias legales. En las investigaciones forenses, la química aparece en la toxicología o la química analítica, o como un componente de la genética o la biología molecular, la ciencia de los materiales o la patología forense. Disciplinas criminalísticas como la dactiloscopia recurren también a la química como fundamento de sus técnicas.

La relación entre las propiedades de la materia y la investigación del delito no es nueva: la historia de Arquímedes descubriendo cómo averiguar la composición de la corona del rey Hierón ha sido reivindicada como un ejemplo temprano de la aplicación a lo forense del conocimiento de las propiedades de la materia (Schafer, 2008). En la detección de venenos y toxinas, la historia de la química se entrelaza con la de la ciencia forense, desde la máxima de Paracelso —la dosis hace al veneno— hasta los estudios pioneros de Mateo Orfila para catalogar los venenos de origen mineral, vegetal y animal conocidos en el siglo XIX y los esfuerzos de James Marsh por desarrollar una prueba para detectar arsénico que diera fin a su uso con fines homicidas (McDermid, 2014, pp. vii-ix y 88-115). Incluso en la ficción forense la química es central: en la aventura inaugural de Sherlock Holmes, “Estudio en escarlata”, lo vemos por vez primera en el laboratorio de química del Hospital de San Bartolomé de Londres, donde ha descubierto una sustancia que reacciona selectivamente con la hemoglobina en concentraciones de hasta 1 ppm (Doyle, 1887/2019). Esta estrecha relación se puede constatar hoy en el hecho de que, en un sondeo de 78 programas forenses de nivel superior, casi el 23% era administrado por departamentos de química, proporción superior a la administrada por escuelas de biología o de derecho (Samarji, 2010, p. 151).

Antecedentes

En el caso de la Licenciatura en Ciencia Forense (LCF) de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), su Plan de Estudios (Facultad de Medicina, UNAM, 2013) incluye las asignaturas de Química General, Química Orgánica, Biología Celular y Bioquímica, Química Forense y Química Forense Avanzada, Toxicología y Toxicología Avanzada, que en conjunto representan el 17.5% del total de créditos. Aunque este porcentaje pudiera parecer pequeño, la intención de la LCF no es formar peritos en química: es crear un profesional con un perfil interdisciplinario capaz de planear y supervisar la investigación de un hecho de interés forense, coordinando a los expertos y aconsejando —porque conoce el marco legal aplicable a diferentes delitos— a los operadores jurídicos sobre las interpretaciones y alcances de los hallazgos durante el proceso de justicia penal, proceso que culmina con la audiencia de juicio oral. Con este fin, además de las asignaturas de química, los estudiantes cursan materias de las áreas de física, biología, medicina, psicología, antropología, criminalística, derecho y filosofía.

Una inquietud común entre quienes imparten las materias que sientan las bases de las ciencias naturales en los primeros semestres es cómo integrar el contexto forense a la enseñanza, para hacerla más significativa. En el caso de Química General, su programa no sugiere contextos desde donde abordar los contenidos: su enfoque es semejante al de su equivalente en la Facultad de Química. La bibliografía básica del curso en la LCF remite a libros canónicos por su ubicuidad, popularidad o longevidad: Brown, LeMay, Eugene &

Bursten (2004) y Chang (2007). Entre estos textos se echa en falta alguno que complemente la introducción a la química con algo de contexto forense, como el de Johll (2012).

Con respecto al tema de “Clasificación periódica de los elementos”, el programa de la asignatura establece la enseñanza de los subtemas de familias y periodos; puntos de fusión y ebullición, volúmenes atómicos y electronegatividades; valencia y estados de oxidación, y abundancia relativa y toxicidad de los elementos. Como ocurre con estos temas, los objetivos de la asignatura abordan el contenido de manera descontextualizada. Pero con las competencias ocurre lo contrario: son los únicos indicios de que la asignatura fue diseñada para el científico forense. De las cinco que establece el programa, tres se refieren al estudio de las condiciones materiales del delito: 1) recabar el material sensible significativo; 2) procesar los indicios, y 3) verificar la calidad de los peritajes.

Desde que Química General se impartió por primera vez, la idea de que es necesario presentar los contenidos de forma significativa para los estudiantes ha influido en las decisiones sobre qué temas privilegiar y cómo abordarlos en el aula. Una de las decisiones ha sido la de reducir el tiempo dedicado a la tabla periódica para dedicar más a temas que doten al alumno de los conocimientos y las habilidades para entender la naturaleza de los indicios más comunes y de los procesos usados para identificarlos, cuándo recurrir a ellos y cuáles son sus limitaciones.

Las propiedades periódicas no han sido fáciles de enseñar en un contexto forense, contra lo que podría suponerse por el uso de algunos elementos como venenos desde la Antigüedad. Son pocos los de relevancia forense, particularmente para casos penales: antimonio, arsénico, mercurio, plomo y talio (Emsley, 2005). La gran mayoría no se ha usado con fines homicidas, y el resto de los venenos son compuestos. Esos cinco elementos no bastan para ejemplificar los patrones inscritos en la tabla: la periodicidad sólo es evidente en series de elementos. Cuando se examina un elemento en relación con sus vecinos la periodicidad de sus propiedades cobra sentido, como lo demostraron las famosas predicciones de Mendeléyev.

Métodos y resultados

La opinión de la mayoría de los profesores de química de la LCF es que la periodicidad es central para quien esté interesado en identificar sustancias y comprender los fundamentos de esta identificación. No obstante, existe también acuerdo en que un científico forense requiere de una preparación distinta a la de un profesional de la química. Estas circunstancias han llevado a reflexionar sobre cuáles son los conceptos clave de la química para el ejercicio forense y cuáles las mejores estrategias para enseñarlos. En una primera exploración de esta cuestión, encuestamos a los profesores de la LCF para saber cómo integran el tema de la tabla periódica en sus clases.

A la pregunta de si los estudiantes suelen consultar la tabla periódica en su clase, de nueve profesores, tres señalaron que la consultan con mucha frecuencia, y ninguno que nunca lo hacían (Figura 1a). Sobre la importancia de la tabla periódica (Figura 1b), solamente dos docentes no la juzgaron fundamental para el científico forense. Estos resultados concuerdan con las discusiones a las que ya se aludió, en donde a la importancia que la mayoría de los profesores atribuye a la tabla periódica se suma la preocupación por adaptar su enseñanza a las necesidades de un profesionista del que no se espera el desempeño de un químico.

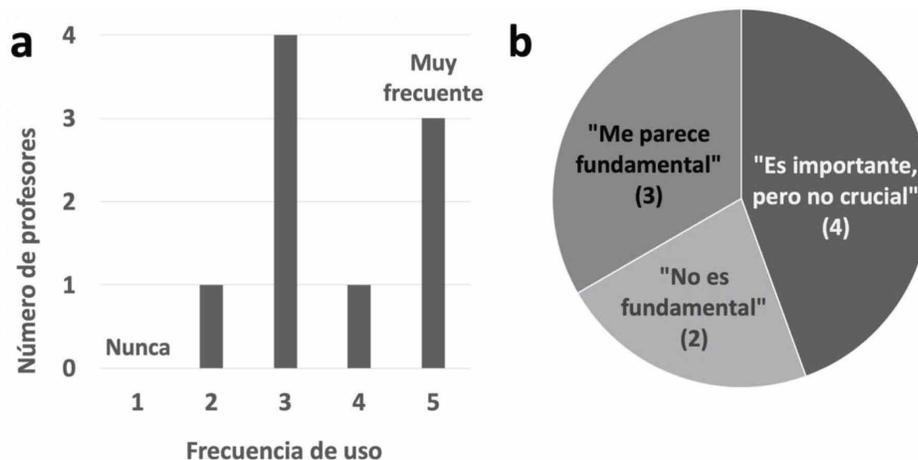


Figura 1a. Opiniones de los profesores de química ($n=9$) sobre la frecuencia con la que sus alumnos usan la tabla periódica. **Figura 1b.** Opiniones sobre la importancia que atribuyen a la enseñanza de la tabla periódica para la formación del científico forense. (Entre paréntesis se indica el número de docentes por postura.)

Para saber cómo interactúan los estudiantes con la tabla periódica, se solicitó a los docentes que eligieran qué actividades en sus clases requieren de ella (Tabla 1). De entre los usos reportados, destaca la búsqueda de la masa atómica, debido a que los estudiantes resuelven problemas de estequiometría y preparan disoluciones. Tanto la búsqueda de números atómicos como la determinación de configuraciones electrónicas fueron las menos elegidas.

Uso que se le da a la tabla periódica en las asignaturas del área química en la LCF	Docentes que lo eligieron
Buscar valores de masa atómica.	7
Buscar valores de electronegatividad.	4
Averiguar el carácter metálico o no metálico.	4
Buscar valores de radio iónico.	3
Identificar la periodicidad de algunos elementos.	3
Determinar las configuraciones electrónicas.	2
Buscar valores de Número atómico,	2

Tabla 1. Usos dados a la tabla periódica en las asignaturas del área de química en la LCF.

En opinión de los profesores, la tabla periódica es un marco común que facilita al científico forense lidiar con esa interdisciplinariedad que le exige integrar información de una variedad de fuentes relacionadas con las propiedades de los materiales. Entender la tabla equivale a entender una diversidad de fenómenos como la manifestación de un proceso subyacente regido por la periodicidad: el cambio químico. En términos prácticos, es imposible que un científico forense domine cada una de las disciplinas que integran su perfil, por lo que resulta más útil dotarlo de la capacidad para recuperar la información que necesite. De saber cómo leer la tabla periódica. La información en la Tabla 2 justifica la postura en favor de no excluir la enseñanza de la tabla periódica. Queda pendiente la pregunta de si es posible optimizar su enseñanza con miras a conseguir el perfil profesional deseado.

Revisar los cálculos estequiométricos o de concentración realizados por un perito.
Determinar si ocurrió un disparo de arma de fuego, identificando plomo, antimonio o arsénico.
Investigar delitos o accidentes ambientales o documentos cuya autenticidad esté en duda.
Procesar los indicios en un lugar de intervención, dada su naturaleza fisicoquímica.
Analizar materiales desconocidos a partir de semejanzas con otros elementos conocidos.
Preparar disoluciones de concentración conocida o extraer analitos de interés.
Evaluar si se cometió un envenenamiento u ocurrió una intoxicación.

Tabla 2. Actividades forenses que requieren de la tabla periódica según profesores de química de la LCF.

A partir del uso que hacen de la tabla periódica, es posible entrever que el nivel de comprensión requerido varía en función de las tareas. Para preparar disoluciones de concentración conocida o revisar cálculos estequiométricos basta con extraer la masa atómica. En cambio, para identificar elementos o procesar indicios se precisa de un conocimiento más amplio de las propiedades, por ejemplo, de la reactividad de las diferentes familias.

Los reportes de casos reales son otra fuente de información para hacer más significativa la enseñanza de la tabla periódica. A partir de estos casos puede aislarse qué datos de la tabla fueron necesarios para resolverlos. Además, contextualizan el conocimiento químico que se busca que los alumnos construyan. A manera de ejemplo, en los dos apartados siguientes presentamos un caso en el que la química fue fundamental para averiguar los hechos, y exponemos qué implicaciones podría tener el uso de casos para la enseñanza de la tabla periódica para científicos forenses.

Propuesta didáctica

En 1991, unos alpinistas hicieron un descubrimiento escalofriante en los Alpes, cerca de la ciudad austriaca de Ötztal: el cuerpo congelado de un hombre (Mayans, 2018). Investigadores de Innsbruck determinaron que el cuerpo perteneció a un individuo de 45 años, de un metro con 60 centímetros y 50 kilogramos. La datación por carbono-14 (^{14}C) reveló que había muerto hace más de cinco mil años. Vecino de Ötztal, fue bautizado con el nombre de Ötzi.

Entre sus pertenencias se hallaron dos flechas con sangre suya y de otras tres personas. La necropsia descubrió varios cortes y contusiones en el torso; costillas rotas que no sanaron antes de su muerte; una punta de flecha alojada en su omóplato, y señales de traumatismo craneoencefálico. Estos hallazgos apuntan a que Ötzi pudo haber sido asesinado. De ser cierto, éste podría ser el homicidio más antiguo investigado por la ciencia forense. Si bien un estudio de este tipo sería impracticable sin la coordinación de muchas disciplinas, la aplicación de la química fue crucial para elucidar las circunstancias de la vida y la muerte de Ötzi.

Establecer el intervalo post mortem, identificar materiales relacionados con los hechos y ubicar su origen son actividades clave en la investigación del delito. En el caso de Ötzi, el análisis de la composición elemental de su hacha —cobre con trazas de arsénico, plata y plomo, entre otros— y de las proporciones de los isótopos de plomo permitieron establecer que el metal provino de la Toscana (Artioli et al., 2017). Por la calidad del material y la técnica de fabricación, se especula que se trataba de un valioso objeto, lo que descarta el robo como móvil del ataque.

En los cabellos y las uñas de Ötzi se encontró arsénico, pero en concentraciones insuficientes para sospechar envenenamiento. Se planteó entonces que Ötzi trabajaba el cobre: el arsénico y otros elementos no metálicos, como el carbón, suelen mezclarse con los metales para producir aleaciones o accidentalmente como impurezas. La inhalación de los gases emitidos al fundir los metales explicaría el arsénico. Estudios posteriores de muestras de uñas, cabello, piel y otros órganos confirmaron la presencia de este metaloide sólo en las primeras, lo que no es congruente con la exposición prolongada que supondría el trabajo metalúrgico (Museo de Arqueología de Tirol del Sur, 2016).

Hasta aquí sólo hemos explorado sus aspectos químicos, pero el estudio de Ötzi ha sido ampliamente documentado y ha involucrado a una diversidad de disciplinas, por lo que resulta un punto de partida ideal para la formación interdisciplinaria de un científico forense. Asignaturas como Ciencias Morfofuncionales, Medicina Forense, Física Mecánica, Fotografía Forense, Odontología Forense, Microscopía Forense, Antropología Forense y Criminalística, entre otras, podrían abordar el caso desde sus perspectivas disciplinares. Incluso podría organizarse una actividad didáctica en la que los estudiantes argumenten, en una simulación de un juicio oral, a favor de que Ötzi murió asesinado o por alguna otra circunstancia, por ejemplo, intoxicado o por un padecimiento médico previo.

Implicaciones para la enseñanza de la tabla periódica a científicos forenses

¿Qué necesitaría saber un científico forense para abordar un caso como éste? Sobre la datación con ^{14}C , que para muchos elementos existen dos o más versiones con un diferente número de neutrones y que algunas de estas versiones emiten algún tipo de radiactividad. Si bien los isótopos no aparecen enlistados en todas las tablas, un científico forense debería tener presente que la masa atómica reportada corresponde al promedio ponderado de las masas de todos los átomos de un determinado elemento en una muestra, incluyendo a los isótopos. La datación con ^{14}C saca partido del hecho de que los isótopos tienen las mismas propiedades químicas pero un diferente perfil de decaimiento radiactivo, que en el caso del ^{14}C correlaciona con el tiempo que un organismo lleva muerto. El origen del hacha de Ötzi, por su parte, se determinó a través de una técnica basada en el hecho de que un elemento, una vez ionizado, tiene un valor característico del cociente masa/carga. Otras propiedades periódicas que podrían enseñarse en el contexto de este caso son el radio atómico, el radio iónico y la electronegatividad: la primera en relación con la distribución de los átomos metálicos en la formación de una aleación —como la del hacha de Ötzi— y las últimas dos propiedades enfocadas a explicar cómo ocurre la sustitución del Ca^{2+} por el Sr^{2+} en los huesos.

Además de ayudar a elegir contenido que sea significativo, analizar casos forenses reales nos da pautas sobre cómo enseñar la tabla periódica. Los alumnos tienen que aprender a verla como una síntesis de información sobre las propiedades de los elementos y cobrar consciencia de lo útil que resulta poder leer las tendencias inscritas a lo largo y ancho de su superficie. En segundo lugar, al menos parte de las actividades de enseñanza deberían encaminarse a la solución de problemas forenses, a fin de ejemplificar aplicaciones del conocimiento químico. Tercero, habría que orientar la enseñanza de los fundamentos de la química hacia la comprensión de los mecanismos de las técnicas analíticas. Por último, y por analogía con la tabla periódica, sería recomendable que los profesores de las asignaturas de química dispusieran de una colección de casos forenses con el fin de presentar de manera sistemática a los estudiantes cómo se han usado las propiedades periódicas en diferentes situaciones. Para aumentar su potencial didáctico, podrían ofrecerse a los docentes recomendaciones o guías sobre cómo abordar estos casos desde el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje por proyectos o el análisis de casos. Un esfuerzo así podría culminar en una tabla periódica forense en la que, para cada elemento, se ofreciera información sobre casos en los que ha sido relevante. La elaboración de esta tabla podría ser en sí una actividad didáctica que involucrara a estudiantes de diferentes generaciones y a docentes de distintas disciplinas.

A manera de prueba de concepto de la propuesta que hemos venido desarrollando, a continuación presentamos el esbozo de una investigación original en la que el conocimiento de la tabla periódica jugaría un papel importante, y que un egresado de la LCF debería ser capaz de plantear.

La historia comienza en 1986, cuando material radiactivo liberado a la atmósfera por la explosión de uno de los reactores de la central nuclear cercana a Chernóbil alcanzó las islas británicas. A pesar de las advertencias de la Organización Mundial de la Salud, cuenta la leyenda que el gobierno de Miguel de la Madrid compró a la República de Irlanda un lote de 40 mil toneladas de leche en polvo contaminado con estroncio-90 (^{90}Sr), un isótopo radiactivo que se forma durante la operación de los reactores nucleares y cuyo decaimiento emite partículas beta. Esta leche se distribuyó a través de la Compañía Nacional de Subsistencia Popular (Conasupo) a partir de 1987. Aunque esta historia ha circulado en la prensa (Zamora, 2014), hasta donde sabemos no existe ningún artículo arbitrado sobre este asunto en la literatura científica.

La presencia del ^{90}Sr es clave en esta propuesta porque, gracias a él, hoy podría emprenderse una investigación que verificara qué de cierto tiene esta historia. La ubicación del ^{90}Sr en la tabla periódica sugiere que sus propiedades deben ser semejantes a las de la familia de los metales alcalinotérreos. Su peligrosidad radica en su similitud con el calcio —en particular de su reactividad y su radio iónico—, a quien puede sustituir en la formación de hueso. Aunque una hoja de aluminio de escasos milímetros de espesor puede detener partículas beta, si un emisor es ingerido estas partículas actuarán directamente sobre los órganos, dañando los tejidos y, en particular, el ADN, pudiendo producir algún tipo de cáncer. Si es verdad que el gobierno mexicano vendió leche contaminada, existe una alta probabilidad de que el isótopo se incorporara a los huesos, y en particular a los dientes, de niños que la hayan bebido. Actualmente se cuenta con tecnología —por ejemplo, la espectrometría de masas por plasma de acoplamiento inductivo— capaz de identificar selectivamente al ^{90}Sr : si se analizaran muestras de dientes de leche de quienes fueron niños en los años posteriores al accidente, sería posible detectar niveles del isótopo anormalmente altos, de haberlos. Por no ser el ^{90}Sr un componente normal del tejido óseo, encontrarlo constituiría evidencia sólida de la ingesta de contaminantes de Chernóbil.

Para plantear una propuesta como ésta, un científico forense no requiere de nociones excesivamente sofisticadas sobre la tabla periódica, pero sí le es indispensable conocimiento sobre la existencia de los isótopos y sus propiedades; la estabilidad de los núclidos en función de su proporción de protones y neutrones; la semejanza química entre los elementos de una misma familia, y las propiedades que permiten distinguir a los átomos de un elemento y cómo se operacionalizan en técnicas analíticas. En combinación con otros conocimientos y habilidades, un científico forense podría planear una investigación interdisciplinaria que cruce información de fuentes diversas —epidemiológica, documental, testimonial— para esclarecer lo ocurrido. Desde la perspectiva de los profesores, casos como los que esbozamos en este texto abrirían la oportunidad a que especialistas de otras carreras, no exclusivamente científicas, contribuyeran a su estudio forense. Asimismo, participar en una experiencia como ésta podría contribuir a fortalecer los lazos entre los integrantes del cuerpo académico de la LCF.

Conclusiones

El número de elementos por estudiar aumentaría si en las clases de química se incorporaran, además de casos penales, litigios mercantiles, civiles o laborales: también en ellos se busca esclarecer la verdad a partir de la evidencia para dar sentencia. Un área poco atendida en la que los científicos forenses podrían cumplir un papel clave es el derecho ambiental: nuestro país sufre constantes desastres químicos que por negligencia o corrupción dañan a los ecosistemas (Albert & Jacott, 2015).

La diversidad de opiniones de los profesores en cuanto a la relevancia y el uso de la tabla periódica pone de relieve la necesidad de fomentar el trabajo colegiado, ya que el consenso entre docentes en materia curricular es una importante fuente de la validez de la enseñanza. Convendría que los docentes compartieran sus razones para sostener que la tabla periódica es fundamental o, alternativamente, que no lo es. Hay que añadir aquí que la relación entre la postura de los docentes con respecto a la tabla periódica y las actividades realizadas en sus clases parece ser compleja: el profesor que reportó un uso escaso de la tabla periódica coincidió en opinar que no es crucial para la formación del científico forense. Y hubo quien opinó que no es un tema fundamental, pero reportó un uso frecuente y diverso. No hay que olvidar que en muchas ocasiones la enseñanza se cumple en función de lo que solicitan los programas, no de las preferencias del docente: esto explicaría discrepancias entre la importancia atribuida a la tabla periódica y las actividades realizadas en clase.

Enseñar química a estudiantes que necesitarán de ella para desempeñarse profesionalmente, pero que no aspiran al título de químico, invita a pensar su enseñanza desde una perspectiva ajena a la de una escuela de química, a eludir enseñar como se hace en la Facultad de Química de la UNAM. Esta experiencia ha avivado nuestra inquietud por sumergirnos en la problemática del ejercicio y la enseñanza de lo forense, ha puesto a prueba nuestra versatilidad académica, y ha enriquecido nuestra experiencia como docentes e investigadores de la educación en ciencias. Pero más importante, ha fomentado una actitud de humildad ante la vastedad de lo que ignoramos sobre psicología, antropología y criminalística, por citar sólo tres facetas del tema forense.

Tratando de crear experiencias didácticas significativas, nos hemos percatado de que existe la necesidad de investigar cómo formar profesionales no químicos que, no obstante, requieren de ella para ser efectivos. Más allá de las iniciativas de alfabetización científica para adultos, le toca a esta didáctica de la química para no químicos pensar qué puede brindar a otras profesiones, y cuál es la mejor manera de hacerlo. Se abren muchas puertas para esta didáctica: actualizar a peritos en química forense a través de la extensión académica; formar científicos forenses que traduzcan la química para los operadores jurídicos y las víctimas del delito; enriquecer perfiles ya existentes mediante asignaturas para estudiantes de derecho o economía, por ejemplo, en la legislación ambiental o la fiscalización tributaria de la emisión de carbono.

En este Año Internacional de la Tabla Periódica, ofrecemos este granito de arena al esfuerzo global por hacer del conocimiento químico —y en particular de la periodicidad— algo accesible y valioso para personas ajenas a la profesión de la química, que llegue a formar parte integral de su manera de entender y conducirse en el mundo. Estas reflexiones son también un homenaje a quienes contribuyeron a crear no sólo un poderoso instrumento

para entender la materia, sino todo un icono cultural. Haciendo eco de los editores de la revista *Nature* en su número conmemorativo, escribimos con el ánimo de compartir, “la fascinación que despierta el año que empieza y destacar la importancia de la original, y aún la mejor, [manera de] concentrar todas las piezas fundamentales del Universo en una estructura ordenada” (Periodic celebrations, 2019). Y sí, ¿por qué no?, compartir el cariño que sentimos los químicos por esta singular tabla.

Agradecimientos

Agradecemos a Ma. Elena Bravo G., Pablo Capultitla R., Alejandra Castillo A., Armando Cortés Lozada, Paola de los Heros R., Isidro Hinojosa L., Jorge Luis López Z., Nancy Ortíz M., Alejandra Quijano Mateos, Sheila Sánchez Lazo P., Víctor Ugalde Saldívar y Alexa Villavicencio Q., profesores de Química de la LCF, por compartir sus experiencias sobre la enseñanza de la tabla periódica a científicos forenses.

Referencias

- Albert, L. A. y Jacott, M. (2015). *México tóxico. Emergencias químicas*. México D.F.: Siglo XXI Editores.
- Artioli, G., Angelini, I., Kaufmann, G., Canovaro, C., Dal Sasso, G. y Villa, I. M. (2017). Long-distance connections in the Copper Age: new evidence from the Alpine Iceman's copper axe. *PLoS ONE*, 12(7), e0179263.
- Brown, T., LeMay, L., Eugene, H. & Bursten, B. E. (2004). *Química, la ciencia central* (9a ed.). México D.F.: Pearson Educación.
- Chang, R. (2007). *Química* (9ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Doyle, A. C. (1887/2019). Estudio en escarlata: primer capítulo (A. Rodríguez Olivares, trad.). *Tierra Adentro* [versión electrónica], consultada en agosto 6, 2019, en la URL <https://tinyurl.com/y5ztcpl>.
- Periodic celebrations (2019, 3 de enero). *Nature* [versión electrónica], 565, 535.
- Emsley, J. (2005). *The Elements of Murder: A History of Poison*. Oxford: Oxford University Press.
- Facultad de Medicina, UNAM (2013). *Plan de Estudios de la Licenciatura en Ciencia Forense* (Vol.1). México D.F.: autor.
- Johll, M. E. (2012). *Investigating Chemistry: Introductory Chemistry from a Forensic Science Perspective* (3a ed.). Londres: Macmillan Learning.
- McDermid, V. (2014). Toxicology. En *Forensics: What Bugs, Burns, Prints, DNA, and More Tell Us about Crime* (pp. vii-ix y 88-115) Nueva York: Grove Press.
- Mayans, C. (2018, 18 de septiembre). Ötzi, el hombre de hielo rescatado en las cumbres alpinas. *National Geographic España* [versión electrónica], consultada en agosto 9, 2019, en la URL <https://tinyurl.com/yxm5eaeo>.
- Museo de Arqueología de Tirol del Sur (2016, 23 de septiembre). Ice man, Ötzi: a treacherous murder with links to Central Italy. *ScienceDaily* [en línea] consultada en agosto 10, 2019, en la URL <https://tinyurl.com/h5sqx7o>.
- Samarji, A. N. (2010). *Mapping the Complexity of Forensic Science: Implications for Forensic Science Education*. Tesis de doctorado. Escuela de Educación, Facultad de Artes, Educación y Desarrollo Humano, Universidad de Victoria, Australia, p. 151.

Schafer, E. D. (2008). Ancient science and forensics. En A. Embar-Seddon O'Reilly & A. D. Pass (Eds.), *Forensic Science* (Vol. 1, pp. 41-45). Amenia, Nueva York: Salem Press.

Zamora, G. (2014, 26 de abril). Leche radiactiva, negligencia sin castigo. *Proceso* [versión electrónica], consultada en agosto 11, 2019, en la URL <https://tinyurl.com/yxdrxadq>.

Recepcion: 25 de septiembre de 2019 Aprobacion: 30 de septiembre de 2019