

EXPERIMENTA

Revista de divulgación científica de la Universidad de Antioquia

Metales que salvan vidas

Plata antimicrobiana

Hacia una minería sin el uso del mercurio

Versos cantados que narran su tiempo

Edición

12



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA



Portada

Ilustración: Tobías Arboleda

Diseño de portada

Felipe González

En febrero de 2020 falleció el profesor Alonso Sepúlveda, quien fuera nuestro editor y maestro en *Experimenta*. Su sensatez, serenidad y sabiduría nos enseñaron a practicar el tratamiento metódico y cuidadoso de las palabras que publicamos y a ser responsables frente a lo que escribimos. Como él mismo dijo, en el viaje de los hombres en el espacio y el tiempo hay instantes peculiares y luminosos a los cuales deberíamos dedicarnos en rigor, puesto que cada momento es ocasión de elegirnos. Homenaje de gratitud al maestro, quien permitió que algunos de sus instantes coincidieran con los nuestros.

Comité editorial

www.udea.edu.co/experimenta

Nos interesa saber tu opinión sobre esta publicación. Escríbenos tus sugerencias y comentarios a revistaexperimenta@udea.edu.co

Edición

12

Editorial

ón

2

También conocido como hidrargirio, o, *hydrargirium*, que, literalmente, quiere decir «plata líquida»; el mercurio es un elemento cuyas peculiares propiedades —de manera especial su afinidad con el oro— y su alta toxicidad lo hacen a la vez apreciado y temido. Y es solo uno de los 118 elementos hoy conocidos y que nos fascinan, algunos de ellos incluso desde la antigüedad.

A lo largo de la historia, la humanidad se ha esforzado por conocer la composición de los materiales, para su mejor aprovechamiento, lo cual ha sido el acicate para la investigación de las propiedades de combinación, permanencia, transmutación, y reactividad de las sustancias, y esto ha derivado en modelos que dan cuenta de su comportamiento.

Debido a su importancia económica, la producción y acumulación de oro ha sido uno de los factores de poder más determinantes en la vida de las naciones, y los esfuerzos por conseguirlo a través de medios alternativos a la minería ha sido el origen de algunas de las más fantasiosas utopías, como la de la piedra filosofal, que, al igual que la ilusión de los autómatas de movimiento perpetuo, propiciaron el estudio detallado y la elaboración de modelos. Entre los más notables resultados de este anhelo están la elaboración de la tabla periódica de los elementos y la teoría atómica, en el siglo XIX; así como la teoría de campos y las partículas elementales, en el siglo XX, por tanto resulta estimulante el registro de la cantidad de investigaciones que realizan diversos grupos en la Universidad de Antioquia en relación con esta temática.

Hay quienes dedican su esfuerzo al diseño de prácticas mineras que prescindan del mercurio, para evitar sus deletéreos efectos ambientales; otras investigaciones están orientadas a la determinación de la forma en la que materiales, como el titanio y el manganeso, se pueden utilizar en el recubrimiento de prótesis humanas que no generen rechazo en el organismo de los pacientes que las reciben; así como la utilización de nanopartículas de plata promete halagadores resultados en la lucha antimicrobiana.

Dada la importancia de hacer mediciones de parámetros químicos con precisión y confiabilidad, se aplica la tecnología informática al diseño de equipos que eliminen el error de la percepción visual. De igual manera, se utilizan las ayudas computacionales en el estudio y la simulación del comportamiento de soluciones, ahorrando tiempo y dinero en equipos y reactivos.

También se investiga el aprovechamiento de productos naturales como el agua de coco en los procesos de hidratación durante las prácticas deportivas, con fundamento en el conocimiento de las reacciones químicas que hacen posible la transmisión de información nerviosa en el organismo mediante los iones de sodio y potasio. Y, como complemento perfecto para una mayor comprensión de todos los procesos asociados a las transformaciones de la materia, que se agrupan dentro de las denominadas reacciones químicas, tenemos la reseña de *La cuchara menguante*, un notable texto de divulgación sobre las propiedades de los elementos y la historia de la tabla periódica, cuyas particularidades pedagógicas son el objeto de trabajo de otro de nuestros grupos de investigación.

Como siempre, las historias de vida de Juan aportan elementos conceptuales para la comprensión de la tabla periódica. De un nivel de complejidad todavía mayor que los trabajos hasta ahora mencionados, dada su trascendencia económica y social, las técnicas de fraccionamiento hidráulico, o *fracking*, son sometidas a examen riguroso con el fin de aportar elementos de juicio que permitan tomar posiciones bien informadas sobre tan sensible problemática. De igual manera, las investigaciones orientadas al aprovechamiento de la biomasa para la producción de aceites esenciales, reduciendo los desechos y recuperando los catalizadores, apunta al mejoramiento de las condiciones ambientales.

Finalmente, el arte y la música, representados en el perfil de una de las personalidades más reconocidas en nuestro medio en el ámbito de la historia y la apreciación de las manifestaciones artísticas; y en el relato del significado artístico y cultural de manifestaciones artísticas tan raizales como la trova, completan este número 12 de la revista Experimenta que ahora ponemos a disposición de nuestros lectores, invitándolos a disfrutar y compartir esta nueva publicación.

Revista Experimenta

Publicación de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Antioquia
ISSN 2357-3503

John Jairo Arboleda Céspedes
Rector

Sergio Cristancho Marulanda
Vicerrector de Investigación

Guillermo Pineda Gaviria
Director

Sergio Urquijo Morales
Editor

Comité editorial

Guillermo Pineda Gaviria
Carmenza Uribe Bedoya
Bernardo Bustamante Cardona
Luz Marina Restrepo Múnera
Sara Cristina Vieira Agudelo
Mario Víctor Vázquez Ceballos
Lina Alexandra Gómez Henao

Producción y diseño

Lina Alexandra Gómez Henao
Ángela González Restrepo
Juliana Morales Urrego
Víctor M. Aristizábal Giraldo
Dirección de Comunicaciones de la Universidad de Antioquia

Corrección de texto

John Sebastián Otálvaro Pérez

Ilustraciones

Tobías Arboleda
Andrea Henao Jaramillo
Felipe Urquijo

Fotografía

Cortesía de los grupos de investigación y autores
Juan Alexander Monsalve Muñoz

La Revista *Experimenta* es una publicación de la Universidad de Antioquia que tiene como objetivo la divulgación de la actividad científica desarrollada en la Institución. Los artículos aquí publicados tienen fines educativos y divulgativos; por tanto, el contenido de esta publicación podrá ser utilizado únicamente con fines académicos y educativos, no comerciales, de acuerdo con la norma de propiedad intelectual.

Edición 12

Universidad de Antioquia

Vicerrectoría de Investigación
Recepción de correspondencia: Calle 70 n.º 52 - 21
Teléfono (+574) 2195190
revistaexperimenta@udea.edu.co
www.udea.edu.co/experimenta
Apartado aéreo 1226
Medellín, Colombia

Co ten do

Edición
12



29

La «tabla periódica»
de las partículas
elementales

n -

i -

- 4** Fracturamiento hidráulico y gestión de acuíferos: la coyuntura del *fracking* en Colombia
- 10** Metales poderosos que salvan vidas
- 16** Agua de coco para calmar la sed... del deportista
- 20** Hacia una minería sin el uso del mercurio
- 24** Plata antimicrobiana
- 34** La tabla periódica: ícono del poder transformador de la química
- 36** Carlos Arturo Fernández Uribe: una voz para la historia del arte
- 48** Microsolvatación y periodicidad
- 52** Menos «ojo» y mayor precisión en la desinfección
- 56** Transformación limpia de biomasa
- 60** *La Cuchara Menguante*
Sam Kean
- 68** El formato de tabla periódica que surgió en la UdeA

**42**

Versos cantados que narran su tiempo

**64**

Una cuestión elemental en la vida de Juan

Fracturamiento hidráulico y gestión de la coyuntura del *fracking* en Colom

Las implicaciones del *fracking*, uno de los temas más controversiales del momento en el país y el mundo, son evaluadas por expertos con el fin de distinguir la evidencia de los rumores, desde una perspectiva ambiental y del desarrollo.

John Fernando Escobar Martínez

Ingeniero de Petróleos, magíster en Medio Ambiente y Desarrollo;
doctor en Ingeniería. Profesor de la Facultad de Ingeniería,
Universidad de Antioquia.
john.escobar@udea.edu.co

acuíferos:

bia

Uno de los anhelos de la gestión ambiental es la búsqueda de un *equilibrio sostenible* entre la protección ambiental y la demanda social. Sin embargo, la experiencia parece mostrar que las dinámicas del desarrollo y las ambientales tienden a ser divergentes y, en muchos casos, aparentemente contrapuestas.

Esta relación conflictiva es mucho más álgida en los proyectos de explotación de recursos no renovables, pues en estos la generación de excedentes económicos no suele reflejarse en un bienestar social y ambiental tangible; por el contrario, se generan múltiples alertas de deterioro social, ambiental, cultural e incluso económico.

En este contexto, el Gobierno colombiano busca aumentar las reservas de petróleo y gas para mejorar las perspectivas de autosuficiencia energética y de

ingresos fiscales. En algunas regiones del país existe un importante potencial de yacimientos no convencionales —YNC— de estos recursos, pero a la vez se evidencian las dudas sobre los riesgos que representa la explotación de este tipo de yacimientos y las posibilidades de realizarla de forma segura, responsable y sostenible para las comunidades y el medio ambiente.

Gran parte de la discusión y los temores sobre la explotación de estos yacimientos se centran en las técnicas basadas en la estimulación por fracturamiento hidráulico multietapa en perforación horizontal —FH/PH— en yacimientos en roca generadora —YRG—, comúnmente conocidas como *fracking*. Estas técnicas implican la inyección de un líquido que fractura capas profundas de roca porosa, pero de muy baja permeabilidad, en las que se haya detectado la presencia de hidrocarburos; la fractura se convierte en una zona de menor presión a la cual fluyen los hidrocarburos, que son colectados por la tubería de producción.

Esta técnica ha generado tanta controversia que incluso está suspendida, y en algunos casos prohibida, en varios países, dados los temores de que pueda contaminar el agua, deteriorar el suelo y causar sismos.

Con el fin de aclarar las dudas que generan estos proyectos y brindar espacios de discusión basados en evidencia científica, el Gobierno nacional convocó una comisión de trece académicos y expertos provenientes de las ciencias sociales, ambientales, de la salud, económicas y de la ingeniería —con participación de la Universidad de Antioquia—, comisión que en seis meses, y utilizando como región de estudio el Valle Medio del Magdalena, investigó y consignó los resultados en un

informe presentado a los ministerios del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial y de Minas y Energía, y que está publicado en el portal www.energiaevoluciona.org.

Resistencia y desconfianza en las comunidades

Cualquier proceso disruptivo genera resistencia en las comunidades y territorios.

Entre las múltiples causas de esta resistencia

está que en procesos anteriores de extracción, realizados con el método convencional de perforación de un pozo sin fracturamiento, hay consecuencias percibidas como nocivas e inaceptables, y se han desencadenado procesos potencialmente peligrosos para la integridad del territorio, del ambiente y de sus habitantes. También, se avizora una pérdida de soberanía sobre el conocimiento mismo y se teme

un enajenamiento de las tradiciones, la cultura, la economía e incluso de la tierra.

Entre las preocupaciones ambientales expresadas por las comunidades y núcleos de opinión, sobresalen el temor a la contaminación de las aguas —subterráneas y superficiales— y a la sismicidad inducida, así como la desconfianza en la gestión socioambiental de los proyectos y en la capacidad institucional para ejercer las funciones de inspección, vigilancia y control sobre estas actividades.

Los acuíferos: temores por las aguas subterráneas

Una gran preocupación recae sobre la conservación futura de los acuíferos, dado que en otros países se han documentado numerosas afectaciones debido al denominado «boom de los no convencionales», con proyectos de explotación de YNC que privilegiaron la ganancia económica sobre las precauciones ambientales. De este boom quedan impactos ambientales indeseables, y en algunos casos irreversibles, así como algunos mitos y lecciones aprendidas que han sido extrapolados al caso colombiano, donde no se han realizado este tipo de explotaciones.

En el caso colombiano las principales preocupaciones, con las respectivas claridades por parte de la investigación, que se asocian directamente al medio hidrogeológico son la siguientes:

Temor a que las fracturas puedan propagarse hasta la superficie y afectar acuíferos superficiales. Realmente la operación de fractura se realiza por etapas en secciones de muy baja permeabilidad, donde la roca permite ser fracturada, pero que a su vez está confinada por otras secciones que no permiten ser fracturadas o cuya permeabilidad es aún menor. Incluso esa baja permeabilidad de las rocas superiores explica que los hidrocarburos estén allí, dado que no han podido escapar por estos sellos. Por tanto, no parece razonable que fracturas que se producen a profundidades mayores a 2000 metros logren conectarse o propicien la migración de fluidos hasta acuíferos someros de agua dulce.

Peligro de contaminación derivada del retorno de fluidos de fractura y aguas de formación. Los procesos de fracturamiento se caracterizan por los grandes volúmenes de agua con diversos aditivos químicos requeridos en la operación de fractura y por el retorno de estos a la superficie, a

En este escenario se evidencia un importante potencial en yacimientos no convencionales en algunas regiones de Colombia, pero también se evidencian las dudas sobre los riesgos que representa la exploración de este tipo de yacimientos.

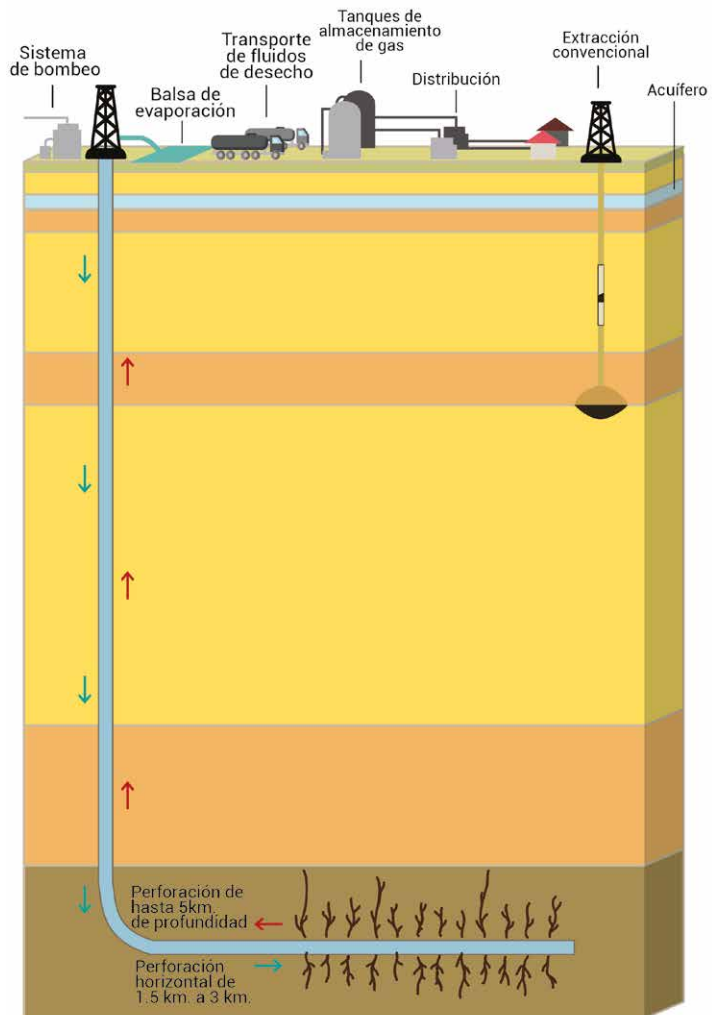
los que se suman las salmueras de formación (aguas con alta concentración de sales que llegan a la superficie). Si bien en la actualidad la reglamentación exige el conocimiento de los químicos usados y la caracterización de los fluidos de retorno y salmueras, estos fluidos deben manejarse, tratarse o disponerse en forma adecuada, ya que son fuentes potenciales de contaminación.

Temor a la sismicidad inducida y precauciones del confinamiento subterráneo de fluidos.

La disposición subterránea de fluidos de fractura, aguas oleaginosas, salmueras y detritos es una técnica largamente usada en el sector de los hidrocarburos. Sin embargo, las evidencias de afectaciones inesperadas han aumentado debido a los enormes volúmenes y a prácticas antitécnicas en algunos países. La resolución 90341 del Ministerio de Minas y Energía de Colombia —suspendida por el Consejo de Estado— presenta los requerimientos técnicos básicos para desempeñar esta operación con las técnicas y seguridades que el conocimiento actual permiten. No obstante, existen dos elementos que llaman a una especial vigilancia, especialmente en lo referente a la rigurosidad técnica de la instrumentación: el monitoreo de la operación de fractura y los procesos de reinyección de aguas de producción. Estos deben cumplir los más altos estándares, ya que comprometen la integridad estructural de la formación y del pozo de reinyección.

Preocupación por el desconocimiento de la hidrogeología regional. Esta falencia es notable y se requiere mayor conocimiento científico para su gestión.

Son muchas las aristas de un problema tan complejo; sin embargo, las recomendaciones por consenso de la comisión de expertos son igualmente válidas para la gestión de acuíferos y para el problema en general. Por ello, la comisión recomienda el reconocimiento y la protección de los recursos hídricos subterráneos en el desarrollo de proyectos pilotos de investigación controlados, transparentes, con verificación y seguimiento independiente y con la debida participación comunitaria. Para ello es esencial complementar la línea base de información ecosistémica, hidrogeológica y de sismicidad asociada, la gestión e interacción social informada y activa, la



Estructura de un sistema de fracturamiento hidráulico multietapa con perforación horizontal en yacimientos en roca generadora, comúnmente conocidos como *fracking*.

Fuente: Estudio Comisión. Rediseño: Andrea Henao.

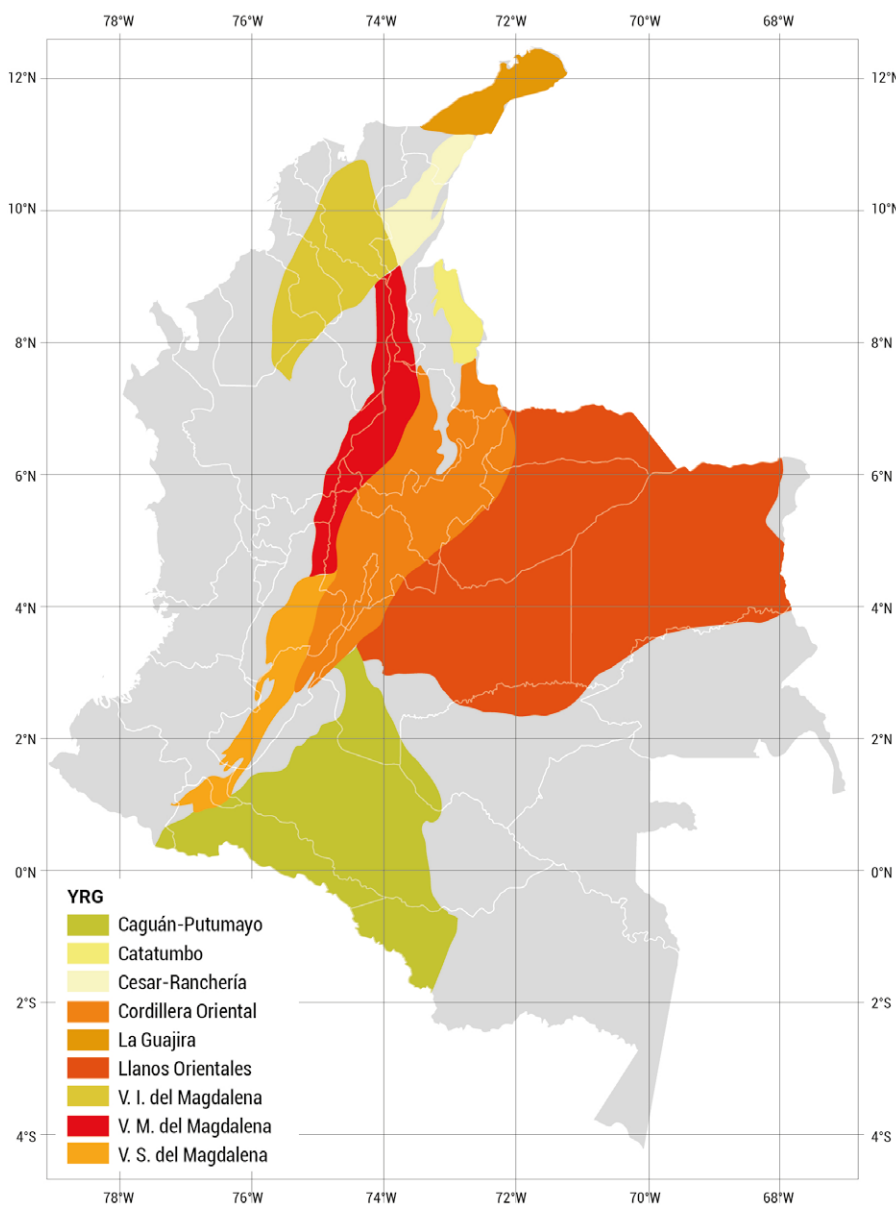
identificación de pasivos ambientales, la definición de mecanismos de participación de la comunidad en posibles desarrollos comerciales y una gestión de territorios sostenibles con claros indicadores de desarrollo local.

La urgencia: más conocimiento de los acuíferos

El Estudio Nacional del Agua 2018 indica que hay un conocimiento insuficiente del 71.7 % de los acuíferos del país, que se limita a las capas someras. Persisten grandes vacíos en el conocimiento de los flujos regionales, interconexión de acuíferos, acuíferos fronterizos, acuíferos en medio fracturado y acuíferos profundos. También se conoce poco de los usos; mecanismos de recarga, descarga y contaminación; balances hídricos integrados; e impactos y deterioros que hoy pueden ser cicatrices en estos recursos naturales.

Además es evidente el déficit de hidrogeólogos en nuestro país; los asociados colombianos en las organizaciones internacionales o nacionales de la disciplina apenas si superan los veinte. Esta situación se refleja en una presencia creciente de hidrogeólogos extranjeros al servicio de empresas de infraestructura, mineras y petroleras

que cubren las necesidades de los estudios de licenciamiento ambiental, y en la falta de personal calificado en los entes de control y ministerios que evalúan dichos estudios. No menos preocupante es la ausencia de progra-



Mapa de las zonas petroleras de Colombia, con la mayor cantidad de yacimientos convencionales y potencial para no convencionales.

Cumplir con la **Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública**: divulgar toda la información asociada disponible e identificar carencias de información.



Identificar y divulgar las **tecnologías de mínimo impacto** que se utilizarán en los proyectos piloto de investigación (PPI).



Acordar el manejo de riesgos de salud con pobladores de lugares cercanos a los PPI.



Identificar necesidades relativas a la **capacidad institucional** para hacer seguimiento al PPI.



Ajustar la regulación para selección, uso y seguimiento de tecnologías de mínimo impacto.



Construir una línea base social (salud, economía) y **ecosistémica** (conocimiento de sistemas hidrológicos e hidrogeológicos).



Identificar las necesidades de **capacitación de personal** local para participar de las actividades de PPI.



Acordar los mecanismos de **participación y veeduría ciudadana** en los PPI.



Conclusiones de la Comisión: condiciones a exigir para efectuar pilotos de fracturamiento hidráulico en Colombia

Se llama la atención, especialmente, sobre el reconocimiento y protección de los recursos hídricos subterráneos en el desarrollo de proyectos pilotos controlados y transparentes.

mas de formación específicos de pregrado y posgrado en esta área estratégica para el desarrollo y la protección del ambiente.

El medio académico no ha sido ajeno a estas necesidades de conocimiento, formación y gestión. Es así como las universidades Nacional, Universidad Industrial de Santander, Javeriana, de los Andes, de Medellín y Eafit, entre otras, han estado presentes en la conformación de comunidad académica en este entorno. En la Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación en Ingeniería y Gestión Ambiental —GIGA— ha desarrollado, por cerca de dos décadas, investigaciones que aumentan el conocimiento de los sistemas hidrogeológicos del país

y las capacidades endógenas para la gestión y protección de las aguas subterráneas.

Hoy se pueden registrar modelos hidrogeológicos en el Urabá y Bajo Cau-

ca Antioqueño, Área Metropolitana del Valle del Aburrá y La Guajira, conceptualizados, investigados y cartografiados por profesionales de Giga. Se han realizado programas de formación continua en la modalidad de diplomados en Hidrogeología y Gestión de Acuíferos para actores claves en la gestión —institucional y comunitaria—, y generado contenidos en áreas como hidrogeoquímica, modelación espacial y numérica, geoestadística, planes de manejo y gestión de acuíferos, auditoría ambiental e interacción social. Igualmente, se ha formado personal que participa activamente en investigación, docencia y extensión en esta área y en las alianzas internacionales que se han tejido con las Unesco-IHE, el Organismo Internacional de la Energía Atómica —OIEA—, el Instituto Francés de Investigaciones para el Desarrollo —IRD— y otros.

Solo un mayor conocimiento de nuestros acuíferos y una gestión transparente, eficiente y basada en evidencia de los YNC permitirá que la sociedad colombiana pueda tomar decisiones informadas y acertadas sobre un tema tan sensible como es el *fracking*. ✘

Metales poderosos que salvan vidas

Si quieres conocer superhéroes reales, poderosos y que salvan muchas vidas, acá te presentamos a dos de los mejores: el titanio y el magnesio, importantes en el desarrollo de implantes compatibles con el organismo.

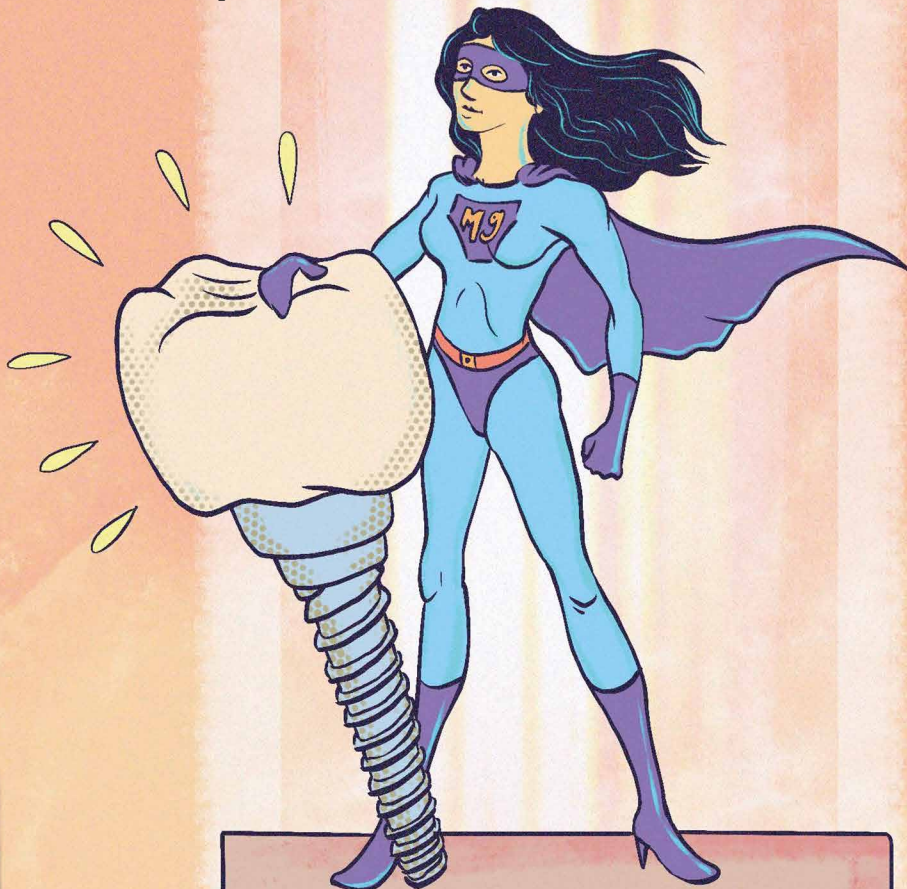


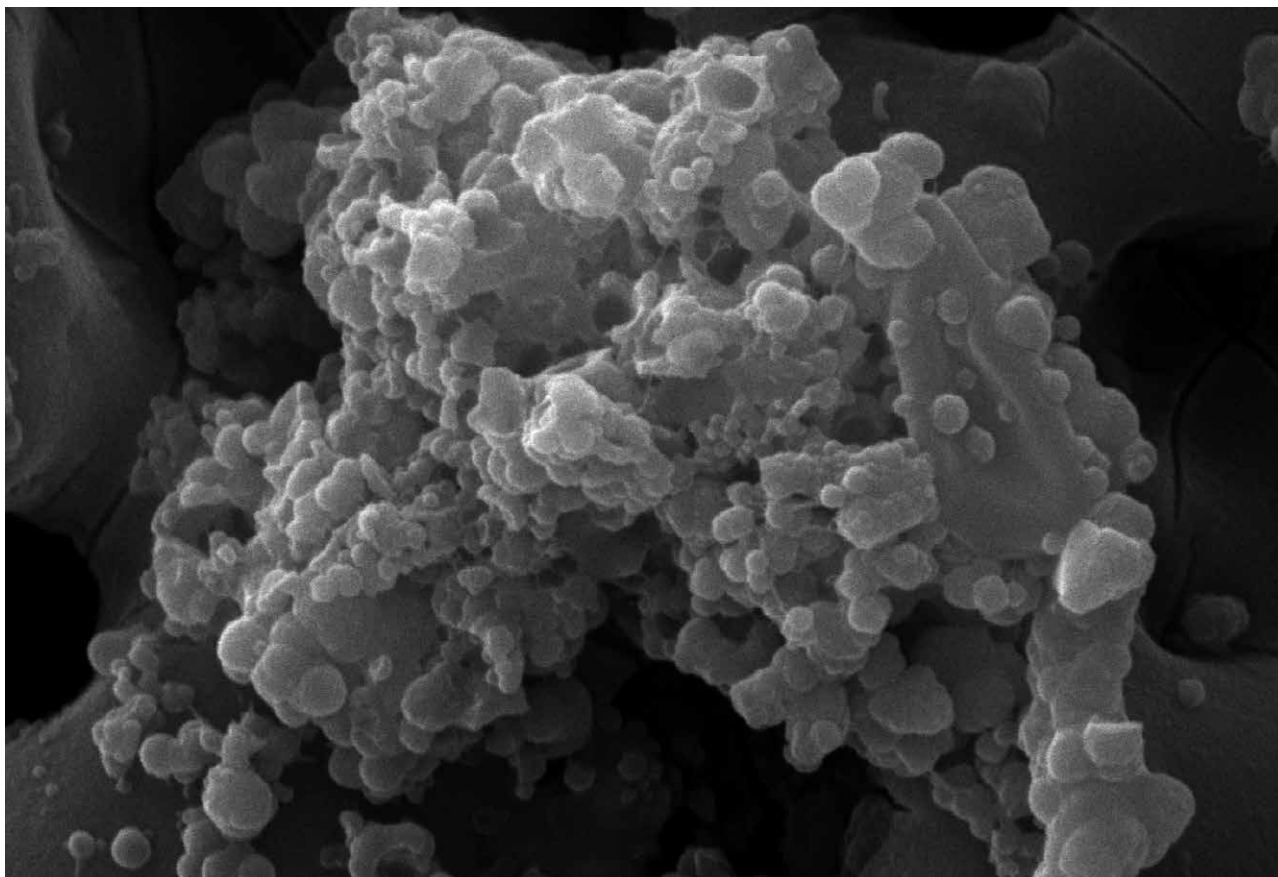
Mónica Echeverry Rendón

Bioingeniera, doctora en Ingeniería.
Miembro de los grupos de investigación Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo —CIDEMAT— y Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales —PECET— de la Universidad de Antioquia.
monicaecheverryr@gmail.com

Hablar de superhéroes está de moda. Uno de mis favoritos es el Hombre de Hierro, más conocido como Ironman. Es tecnológico, fuerte y resistente. ¡Pues claro: está inspirado en un metal! Hoy hablaremos de dos metales que sin lugar a dudas son los reales superhéroes de la actualidad, ya que salvan millones de vidas alrededor del mundo; ellos son el titanio y el magnesio.

El episodio que relataremos el día de hoy transcurre en cientos de hospitales en el mundo, donde la donación de órganos y el uso de trasplantes para reparar o reemplazar tejidos u órganos se encuentra en un punto crítico. Cada vez son menos los donantes mientras las listas de espera aumentan continuamente.





Microfotografía de una aleación Ti-Mg desarrollada en la UdeA.
Foto | Grupo Cidemat.

Lastimosamente, a esta ecuación se le suma desfavorablemente la complejidad de la biocompatibilidad —capacidad de un tejido para ser aceptado por el organismo sin generar rechazo— entre individuos. Sin embargo, como un regalo de la naturaleza, aparecen nuestros superhéroes, que vienen de la *súperliga de los metales*, y con los cuales se pueden fabricar dispositivos biomédicos implantables, que aumentan las posibilidades de rehabilitación de una gran cantidad de pacientes.

El «titán» de los metales es el titanio —Ti—, cuyo número atómico es el 22 y se encuentra en el grupo IVB de la tabla periódica. Este elemento fue descubierto en 1791 por William Gregor y desde ese momento ha sido explorado en diferentes usos: se destacan el sector automotriz, militar, industrial y biomédico. El titanio se encuentra en la naturaleza en su forma oxidada —óxido de titanio, o rutilo—, ya que es un estado más estable que el elemento puro. Entre los superpoderes del titanio se encuentra su baja densidad, que lo hace muy liviano; su alta resistencia a la corrosión y sus buenas propiedades mecánicas. En el ámbito médico, este material inerte y estable es muy biocompatible. Por ello, en los últimos años ha sido ampliamente

investigado y utilizado en la fabricación de implantes ortopédicos y dentales, y también en forma de nanopartículas.

Otro material que al igual que el titanio se encuentra en el grupo de los metales ligeros es el magnesio —Mg—. Este elemento, descubierto en el año 1618, con número atómico 12 y ubicado en el grupo IIA de la tabla periódica, es un elemento esencial para el cuerpo humano y para muchos organismos en la naturaleza. El magnesio participa en labores básicas relacionadas con la función del sistema nervioso, el crecimiento y formación de huesos, los movimientos musculares y la regulación del sistema circulatorio. En las células, en su forma iónica, el magnesio regula procesos homeostáticos y bioquímicos e interviene en el equilibrio del ADN, así como en procesos energéticos.

Como material, el magnesio es ampliamente usado en el ámbito aeroespacial y en la manufactura de piezas automovilísticas y objetos deportivos; en los últimos años su uso en aplicaciones biomédicas se ha incrementado significativamente. Los superpoderes del magnesio vienen de su alta capacidad de ser moldeado —ductibilidad— lo que hace que sea fácil de manejar y se pueda maquinar o hacer materiales con formas complejas y específicas de acuerdo a las necesidades. Otro poder es su baja densidad, que también hace de este un material muy ligero.

Pero quizás el más llamativo de los poderes del magnesio es su capacidad de degradarse en medios acuosos. Además, al ser un elemento esencial para la vida,

es un material altamente biocompatible. Por ambas cosas, en el ámbito biomédico, el uso del magnesio va orientado hacia la generación de plataformas tridimensionales temporales, como andamios, alrededor de los cuales pueden crecer las células y el tejido. Una vez reparado el tejido, el propósito es que el material desaparezca lentamente sin causar efectos adversos. La idea de tener un implante que se degrade al mismo tiempo que el tejido se regenera es todo un reto, ya que el magnesio es un material altamente reactivo. En solucio-

nes acuosas su resistencia a la corrosión es baja y por ello, con el tiempo, las propiedades mecánicas del material pueden verse deterioradas.

El titanio y el magnesio son superhéroes que trabajan todos los días y hacen parte de una nueva generación de metales que presentan un comportamiento biomédico incluso más eficiente que los metales tradicionales, como el acero inoxidable y las aleaciones de cromo-cobalto.

En nuestra Universidad de Antioquia, estos superhéroes, titanio y magnesio, son objeto de investigación cotidiana. En dos grupos de

investigación, el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales —CIDEMAT— y el Programa de Estudio y Control de Enfermedades Tropicales —PECET—, se han formado equipos de trabajo que, conjuntamente y de manera multidisciplinaria, diseñan y generan conocimiento alrededor de estos metales. Las soluciones generadas han implicado la combinación de conceptos desde la ingeniería de materiales, la biología y la medicina, aportando nuevo conocimiento

Entre los superpoderes del titanio como material se encuentra su baja densidad, que lo hace muy liviano; su alta resistencia a la corrosión y sus buenas propiedades mecánicas.



Magnesio en su forma natural como carbonato de magnesio.

Los superpoderes del magnesio vienen de su alta capacidad de ser moldeado —ductibilidad—, lo que hace que sea fácil de manejar.

para que estos materiales sean cada vez más eficientes al momento de ser usados como implantes y que, producto de ello, la rehabilitación de los pacientes que lo usan pueda ser más rápida y segura.

Una de las estrategias planteadas para mejorar estos materiales ha sido la generación de recubrimientos y el control de superficies para hacer que los procesos entre células e implantes sean más armónicos y efectivos. Este tipo de tecnología podrá luego ser usado en la fabricación de dispositivos médicos permanentes y temporales, como implantes dentales, elementos de osteosíntesis, prótesis de cadera e implantes cardiovasculares.

En el grupo CIDEMAT, el titanio y el magnesio han sido protagonistas de diversas investigaciones en las que, mediante una técnica de modificación superficial, llamada anodizado, se crean recubrimientos a partir de la oxidación regulada de estos metales. En dicho sistema, mediante la variación de parámetros tales como voltaje, densidad de corriente, tiempo y ambiente de inmersión, se pueden controlar no solo la composición de las películas obtenidas sino también su morfología y sus características fisicoquímicas.

El diseño de superficies mediante técnicas electroquímicas como el anodizado permite generar topografías —relieves en la superficie— para que las células tengan mejor afinidad y óptimas condiciones para crecer y regenerar el tejido. Una vez los materiales son modificados superficialmente,

El titanio y el magnesio son superhéroes que trabajan todos los días y hacen parte de una nueva generación de metales que presentan un comportamiento biomédico incluso más eficiente que los metales tradicionales, como el acero inoxidable y las aleaciones de cromo-cobalto.

se realiza una validación biológica y pruebas de biocompatibilidad en el grupo PE-CET. Inicialmente, se cultivan células junto al material evaluado, para verificar que este no sea tóxico y que además fomente la reparación de tejidos. Si se observan resultados promisorios, se realiza una evaluación más avanzada y profunda mediante la implantación en animales. Una vez pasados estos filtros, podemos usarlos en humanos.

Es así como termina nuestra historieta del día de hoy, afirmando el poder y la generosidad de nuestros dos héroes y concluyendo que los metales son un mundo increíble por explorar. La ciencia conjuga verbos como descubrir, entender, evaluar, modificar y validar. Mientras los superhéroes están de moda, lo que muchas veces ignoramos es que la naturaleza está llena de ellos: solo tenemos que reconocerlos y estudiarlos. ✕

Agua de coco para calmar la sed... del deportista

El agua de coco, elixir tropical famoso en la música y la gastronomía, revela a la ciencia otra de sus propiedades: ser un excelente líquido de hidratación para deportistas.

Carolina Sepúlveda

Médica. Especialista en Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte, Universidad de Antioquia.
sanus.dra1@gmail.com

Jaime Gallo Villegas

Magíster en Epidemiología. Docente de la Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia.
jaime.gallo@udea.edu.co

Grupo de Investigación en Medicina Aplicada a la Actividad Física y el Deporte —Grinmade—. Universidad de Antioquia.



uando hacemos ejercicio físico ocurren una serie de cambios en nuestro organismo, como el aumento de la frecuencia cardíaca y la presión arterial. La sangre empieza a circular más hacia los músculos activos. Cuando los músculos se contraen durante el movimiento producen una gran cantidad de calor. Como mecanismo para regular la temperatura corporal se dilatan los vasos sanguíneos en la piel y se estimula la liberación de sudor con el fin de disipar el calor. Así es como terminamos «bañados», y comienza la sed.

En el sudor se pierde tanto agua como otros elementos, denominados electrolitos. Cuando el ejercicio es prolongado, de alta intensidad o en un ambiente caluroso, las pérdidas pueden ser excesivas, y de no recuperar el líquido y las sales perdidas se puede llegar a un estado de deshidratación; la magnitud de la deshidratación estará relacionada con

la alteración en el rendimiento físico y cognitivo, además del grado de estrés cardiovascular.

Los electrolitos son importantes en diversas funciones. Son iones: átomos cargados eléctricamente y que por tanto pueden unirse con mayor facilidad a moléculas. Los iones cargados negativamente se llaman aniones y los cargados positivamente, cationes. Entre los electrolitos que más se pierden con la alta sudora-

ción se cuentan el sodio, el potasio y el cloro.

El sodio es un elemento químico de número atómico 11, miembro de los metales alcalinos y de símbolo Na. En el cuerpo humano se encuentra principalmente fuera de las células, regula la cantidad de agua corporal, las contracciones musculares, la presión arterial, el volumen sanguíneo y el pH de la sangre.

El potasio también es un metal alcalino, de número atómico 19 y símbolo K. Está principalmente dentro de las células, y entre sus funciones se encuentran el mantenimiento de los fluidos corporales —tanto dentro como fuera de las células—, la contracción de los músculos, la transmisión de los impulsos nerviosos y la regulación del equilibrio ácido-base en el organismo.

El cloro es un elemento halógeno del grupo VIIA de la tabla periódica, de número atómico 17 y de símbolo Cl. Es el principal anión presente fuera de las células; ayuda a mantener la presión de los líquidos y el equilibrio ácido-base, y es un componente del jugo gástrico.

La cantidad de líquidos y electrolitos perdidos en el sudor puede variar entre las personas, debido a múltiples factores: diferencias genéticas, el nivel de entrenamiento, la actividad de las glándulas sudoríparas, el estado de hidratación previo, la aclimatación al calor, la intensidad y duración del ejercicio, la altitud, la humedad relativa del aire y la temperatura del ambiente.

Cuando alguien hace ejercicio intenso es recomendable medir la tasa de sudoración, lo que significa determinar la cantidad de agua que se pierde al sudar en diferentes condiciones del medio ambiente —temperatura y humedad— y de duración de la actividad física. Estos factores se pueden simular en un laboratorio o en el campo de entrenamiento o competencia. En algunas condiciones es

En el sudor se pierde tanto agua como otros elementos, denominados electrolitos, entre los que se cuentan el sodio, el potasio y el cloro.

Componente	Agua	Agua de coco	Bebida deportiva
Sodio (mEq/L)	0.3	2.5±0.2	18.0
Potasio (mEq/L)	0.1	51.0±2.0	3.0
Carbohidratos (%)	0.0	4.0±0.2	6.0

posible medir también la concentración de sales que contiene el sudor, para determinar las necesidades específicas de cada atleta.

En mediciones hechas en carreras de larga distancia y ciclismo, se han calculado pérdidas de entre 0.3 y 5.7 litros de agua y de 1.6 gramos por litro de sodio por hora, así como una disminución de entre 1 y 3 % del peso corporal, si la duración es menor de 90 minutos; y, aunque existe una amplia variación entre los individuos, en diferentes ejercicios, diferentes condiciones climáticas —calor y humedad—y diferentes altitudes, se han calculado pérdidas de hasta 5 gramos de sodio por litro y de 3 a 7 % del peso corporal, durante un ejercicio de alta intensidad. Esto último, tiene implicaciones negativas en el rendimiento físico, si no se reponen adecuadamente dichos líquidos y electrolitos.

Estrategias para prevenir y tratar la deshidratación

La deshidratación se previene o se debe tratar antes, durante y después de realizar actividad física. Antes del ejercicio es fundamental garantizar, desde los alimentos y líquidos de la dieta, una cantidad adecuada de agua y de electrolitos. El consumo de agua será suficiente para retrasar o evitar el desarrollo de deshidratación durante el ejercicio, si la duración de la actividad

física es menor a 90 minutos en una intensidad baja o moderada; pero si la duración de la actividad física es mayor, la intensidad es alta, o esta se realiza en un clima de alta temperatura y humedad, se requieren bebidas que contengan agua y electrolitos, como el Na⁺, Cl⁻, K⁺ y glucosa, para tratar la deshidratación y suministrar un adecuado aporte de energía.

El agua de coco es una alternativa a las bebidas deportivas para lograr una hidratación efectiva. Se ha usado con éxito en el ámbito del deporte, especialmente durante la realización de actividad física a altas temperaturas y en esfuerzos de moderada a alta intensidad. Es una muy buena alternativa luego del ejercicio, cuando se desea reponer las pérdidas de agua y electrolitos.

Aunque la composición del agua de coco cambia de acuerdo al estado de maduración de los cocos, en general se sabe que tiene un alto contenido de K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, un bajo contenido de Na⁺, y diferentes tipos de

El agua de coco, comparada con las bebidas deportivas y el agua sola, tiene una mejor tolerancia gastrointestinal, por lo que produce menos náuseas, dolor abdominal y sensación de llenura.





Foto | Pixabay

azúcares como la fructosa, glucosa o inulina, que pueden ser una buena fuente de energía.

En diferentes investigaciones conducidas en estudios del Grupo de Investigación en Medicina Aplicada a la Actividad Física y el Deporte —GRIN-MADE— de la Universidad de Antioquia, así como por la nutricionista y profesora del posgrado en Medicina Aplicada a la Actividad Física y al Deporte, Alexandra Pérez Idárraga, se ha mostrado que el agua de coco es una bebida hidratante mejor que el agua sola. También, es igual de efectiva que las bebidas deportivas comerciales, sin diferencias con aquellas a las que se les ha adicionado o no Na^+ .

Al igual que las bebidas deportivas, el agua de coco tiene una composición de electrolitos que ayuda a la conservación de líquido dentro del organismo —entre un 75 y 80 %—, lo que significa

que se pierde menos agua por orina en comparación con el agua sola. En las bebidas deportivas la clave está en el alto contenido de Na^+ , mientras que en el agua de coco está en el alto contenido de K^+ .

El agua de coco, comparada con las bebidas deportivas y el agua sola, tiene una mejor tolerancia gastrointestinal, por lo que produce menos náuseas, dolor abdominal y sensación de llenura; además, puede ser mejor aceptada por su sabor dulce.

En resumen, es claro que un plan de hidratación basado en la tasa de sudoración y cuantificación de la pérdida de elementos como el Na^+ , tiene el potencial de mejorar el rendimiento durante el ejercicio. En este escenario, tanto las bebidas deportivas cuyo electrolito predominante es el Na^+ , como el agua de coco, con altas cantidades de K^+ , ayudan a tratar la deshidratación. ✕



De una minería responsable depende la salud de las fuentes hídricas del municipio de Andes.
Foto | Ana Milena Posada Piedrahita.

Hacia una minería

sin el uso

del mercurio

El mercurio, el único metal líquido a temperatura ambiente, es ampliamente usado en la minería del oro, con graves consecuencias para el ambiente y la salud humana. La investigación metalúrgica con un componente social logra que poco a poco los mineros aparten este material de sus tradiciones.

Jairo Ruiz Córdoba

Magíster en Ingeniería Metalúrgica.
Profesor de la Facultad de Ingeniería.
Miembro del Grupo de Investigación en Materiales Preciosos —MAPRE—.
Universidad de Antioquia.
jairo.ruiz@udea.edu.co

Es sabido que el mercurio es un metal de elevada densidad, que tiene la rara propiedad de ser líquido a temperatura ambiente. También que es muy reactivo con otros metales, con los cuales forma aleaciones llamadas amalgamas. Por esta razón, es utilizado en procesos como la minería para la extracción del oro, y en odontología para la fabricación de amalgamas dentales. Sin embargo, debido a su alta toxicidad para los humanos y demás organismos, en casi todos los países con legislaciones que protegen el ambiente ha sido prohibido

o restringido su uso. En Colombia la Ley 1658 prohibió la utilización del mercurio en la minería desde julio de 2018.

Las investigaciones han mostrado que el mal empleo del mercurio perjudica al ambiente, a la salud de las personas que trabajan con este metal y a las comunidades expuestas directa o indirectamente.

Están plenamente identificados

los efectos nocivos que el mal empleo del mercurio tiene sobre la salud de las personas que trabajan con este metal y las comunidades expuestas directa o indirectamente: debilidad mental, deficiencias y daños irreparables en el sistema nervioso, problemas en las articulaciones, deformidades físicas en los hijos de padres contaminados, así como problemas de índole genético y daño ocular, que desencadena en disminución de la agudeza visual.

Pero evitar el uso del mercurio no es tarea fácil. La pequeña y

mediana minería son actividades económicas muy importantes para aproximadamente cincuenta países en desarrollo, ubicados en África, Asia y Suramérica.

Colombia es un país con tendencia minera y con grandes reservas de oro, cuya explotación se realiza principalmente mediante minería artesanal y a pequeña escala. En el tratamiento o beneficio del oro se utilizan compuestos altamente tóxicos, entre ellos el mercurio. Antioquia, específicamente, es un departamento con abundantes recursos minerales y es el primer productor nacional de oro y plata. Esta característica puede ser una gran oportunidad social o una gran amenaza, según la perspectiva desde donde se mire.

Que nuestras comunidades lleven a cabo una actividad minera responsable y amigable con el ambiente es una prioridad del Grupo de Investigación en Materiales Preciosos —MAPRE— de la Universidad de Antioquia. Por esto ha realizado proyectos de investigación aplicada, con intervenciones técnicas y médicas, en casi todos los municipios auríferos del departamento de Antioquia, con énfasis en el municipio de Andes. En esta población, mediante una intervención de cinco años y con la financiación de la Universidad de Antioquia, la Secretaría de Salud de la Alcaldía de Andes y la Secretaría de Minas de la Gobernación de Antioquia, se ha logrado que los mineros tradicionales dejen de utilizar el mercurio en sus procesos para recuperar el oro y la plata.

Antioquia es un departamento con abundantes recursos minerales y es el primer productor nacional de oro y plata. Esta característica puede ser una gran oportunidad o una gran amenaza.

El municipio de Andes, el 11 de septiembre de 2019, fue declarado como el primer municipio aurífero en Colombia libre de mercurio en el procesamiento de minerales.



Amalgama de mercurio y oro.
Foto | Michael Thirnbeck. CC.

Se pueden enunciar, en términos generales, algunos de los principales resultados obtenidos en los proyectos de investigación aplicada, ejecutados por el grupo MAPRE en las regiones mineras:

Se creó conciencia en las comunidades auríferas sobre la existencia de áreas especiales donde no se puede hacer minería, tales como páramos, áreas de reserva, parques naturales, sitios Ramsar —reservas de agua de crucial importancia ecológica—, nacimientos ni cerca de los cuerpos de agua, etc.

Se logró convencer a los mineros de la necesidad de caracterizar o conocer perfectamente el mineral antes de procesarlo; es decir, no debe existir tratamiento de los minerales sin conocerlos profundamente. Esto es realizado principalmente con apoyo de los laboratorios de las universidades.

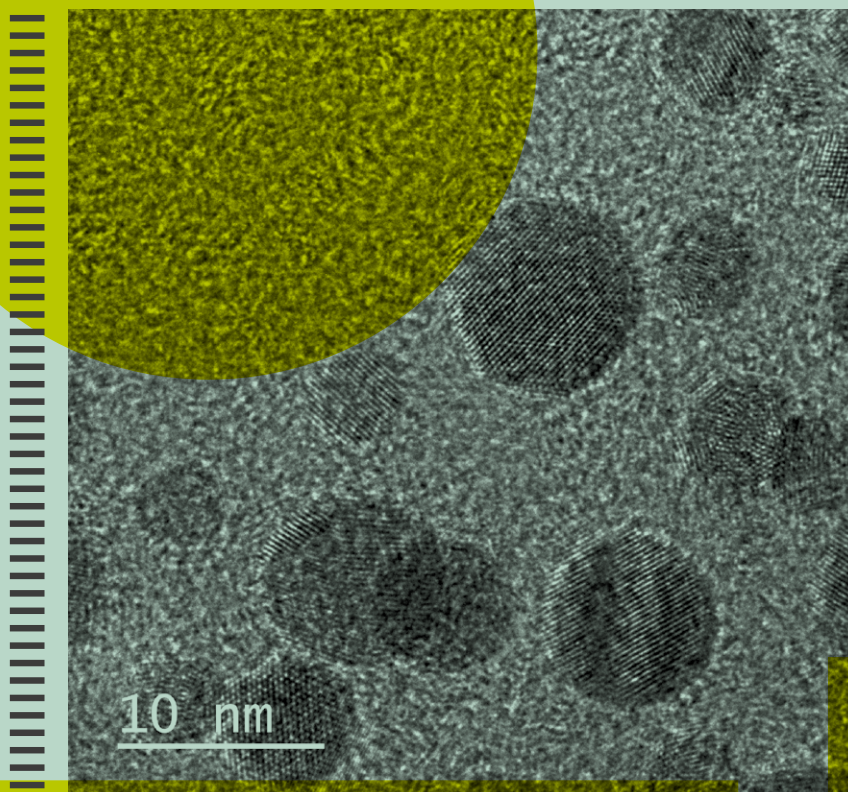
Es necesaria más investigación, capacitación, acompañamiento y asesoría técnica por parte de los grupos de investigación de las universidades, dado que algunas comunidades auríferas todavía utilizan mercurio y este está prohibido desde julio de 2018.

Las comunidades auríferas en general, y específicamente las del municipio de Andes, son muy receptivas a las intervenciones realizadas por el grupo MAPRE de la Universidad de Antioquia; esto evidencia credibilidad y confianza en la Alma Máter. Este aspecto facilitó que el acompañamiento, seguimiento y asesoría continua y personalizada realizados por el equipo investigador lograra un impacto positivo en lo relacionado con la implementación de buenas prácticas en el beneficio del oro, empleo de tecnologías limpias sin usar el mercurio, eficiencia productiva y disminución de las emisiones y vertimientos de mercurio, así como un mejoramiento ostensible en la gestión ambiental y de salud laboral en general.

El municipio de Andes, el 11 de septiembre de 2019, fue declarado como el primer municipio aurífero en Colombia libre de mercurio en el procesamiento de minerales. Esta distinción fue otorgada por parte de la Gobernación de Antioquia.

Conocer los metales e investigar de la mano de las comunidades nos permite alcanzar metas ambiciosas, que a su vez nos hacen imaginar un futuro cercano en el que la minería se pueda llevar a cabo sin grandes perjuicios para la salud de las personas y del ambiente. ✕

Plata antimicrobiana



Microfotografía de nanopartículas de plata, lograda con el microscopio electrónico de transmisión —TEM— de la Sede de Investigación Universitaria de la UdeA. **Imagen** | Grupo GIEM, línea Electroquímica.

La plata, metal usado por la humanidad desde la antigüedad y asociado a mitos y religiones, no solo sirve para matar hombres lobo; las nanopartículas de este metal pueden combatir un enemigo bastante más peligroso y real: bacterias, virus y hongos nocivos.

Lucas Blandón Naranjo

Químico, doctor en Ciencias Químicas.
Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares —GIEM—, Línea Electroquímica.
Universidad de Antioquia.

Por qué si se llama plata si en la tabla periódica su símbolo químico es Ag? Resulta que este elemento químico tiene tanto tiempo de haber sido descubierto, que su nombre no está asociado a un apellido, ciudad o país (como es el caso de otros más «nuevos» como el francio, el curio o el einstenio). El símbolo químico de la plata proviene de la palabra latina *argentum*, palabra que a su vez se deriva de una raíz indoeuropea que significa brillante. Ahora, es precisamente ese brillo característico de la plata lo que le ha dado a este elemento químico una relevancia histórica considerable, tanto así que incluso se menciona en el libro bíblico del Génesis —23:15— en una conversación sostenida entre Efron y Abraham, en la que se utilizó este metal como moneda de cambio tal y como acostumbraban los mercaderes de la época.

Muchas culturas relacionan este metal con la Luna, así como asocian el oro con el Sol. Debido a su brillo y a su maleabilidad, se ha utilizado desde la antigüedad en el arte de la orfebrería, aunque en el siglo xx fue más común su utilización en la industria fotográfica. Además de estas aplicaciones, la plata se utiliza en dispositivos electrónicos gracias a su alta conductividad eléctrica, en dispositivos ópticos por su particular interacción con la luz (prueba de esto es su color plateado característico) y en el campo de la medicina dada su alta actividad antimicrobiana.

Las últimas décadas vieron surgir también la nanociencia y la nanotecnología como áreas del conocimiento encargadas de estudiar el comportamiento de diferentes materiales, a escala nanométrica (10^{-9} m). La plata no es ajena a esta tendencia, y es así como sus propiedades a estas diminutas escalas han sido objeto

de estudios en campos como la electrónica, la óptica, la biología, la microbiología, la catálisis y la medicina; y aunque la tendencia a estudiar estas particulares propiedades data de los últimos 20 años, sabemos que ya habían sido exploradas.

El uso de este metal a escala nanométrica no es precisamente un invento actual. Como ejemplo, la copa de Licurgo —Roma, siglo iv—, fue construida con «vidrio dicróico». Esta copa, que en la oscuridad presenta un color verde opaco, produce un color rojo traslúcido que brilla intensamente cuando la luz interacciona con ella. Al realizar estudios detallados, los científicos descubrieron que el vidrio dicróico se había fabricado con un contenido pequeño de nanopartículas de plata —Ag-NPs— que le confieren esta característica, la cual, para la época, pudo haberse relacionado con cualidades divinas o mágicas.



El uso de la plata en la medicina data de décadas —y hasta siglos— atrás, cuando se usaron sales del metal como la sulfaplata —sulfadiazina de plata, $C_{10}H_9AgN_4O_2S$ — para tratar infecciones causadas por quemaduras, pero las características del metal se ven potenciadas cuando este elemento se encuentra en escala

Copa de Licurgo, elaborada en el Imperio Romano en el siglo iv e. c., varía de color según la luz que reciba gracias a la presencia de nanopartículas de plata en el vidrio.
Foto | Museo Británico.

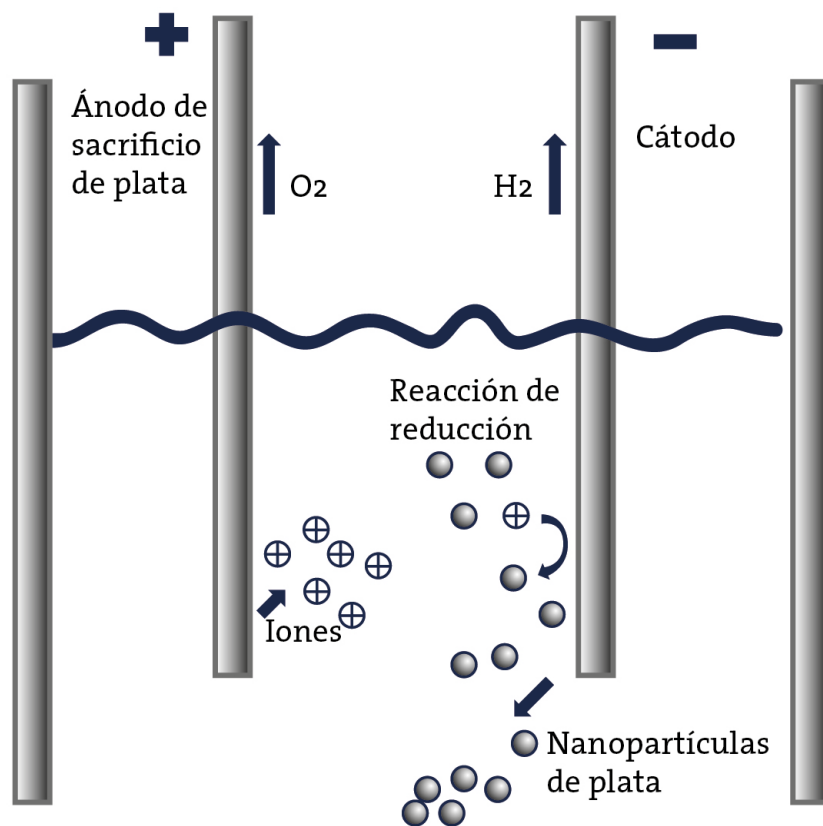
nanométrica. La mayoría de las aplicaciones en medicina y microbiología giran en torno al diseño de dispositivos que contienen plata, con el fin de fabricar materiales antimicrobianos que permitan evitar infecciones en ambientes hostiles como quirófanos, plantas de tratamiento de materia orgánica y hospitales.

En la preparación de las nanopartículas se utiliza nitrato de plata — AgNO_3 —, una sal muy soluble en agua que se ha empleado como antiséptico por vía tópica para el tratamiento de quemaduras y heridas con alto potencial de infección. Este compuesto se pone en contacto con un agente reductor que le cede electrones a los iones plata para que estos reduzcan los cationes plata — Ag^+ —, que son átomos de plata positivamente cargados, a plata cerovalente — Ag^0 —, sin carga. De-

pendiendo del agente reductor y de las condiciones de reacción, es posible fabricar nanopartículas de plata con diferentes morfologías: esferas, agujas, cilindros y otros.

Un método alternativo a esta síntesis es la vía electroquímica. En este método, se aplica una diferencia de potencial a un circuito eléctrico compuesto por un electrodo de plata, que hace las veces de polo positivo —ánodo— y un electrodo de un material de baja reactividad, como platino o acero inoxidable, que hace las veces de polo negativo —cátodo—. Este es uno de los métodos utilizados en el Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares —GIEM— de la Universidad de Antioquia para la fabricación de AgNPs con fines antimicrobianos.

A las nanopartículas de plata sintetizadas mediante esta metodología



Las nanopartículas de plata se fijan sobre una superficie con métodos electroquímicos. **Imagen | GIEM**

se les evaluó su actividad antimicrobiana usando la bacteria *Escherichia coli* como microorganismo modelo. Dicha investigación probó que las AgNPs pueden inhibir el crecimiento de *E. coli* a concentraciones inferiores a un miligramo por litro, valor comparable con antibióticos comunes usados para tratar infecciones de este microorganismo.

Aunque las AgNPs mostraron una buena actividad antimicrobiana, desde el punto de vista práctico es necesario hallar una manera de facilitar su contacto con los microorganismos y, además, prevenir que el material pueda liberarse al ambiente, en donde eventualmente podría causar problemas de contaminación. Esta estrategia se conoce como inmovilización, y no solo favorece el contacto, sino que permite que el material pueda recuperarse y reutilizarse para posteriores aplicaciones.

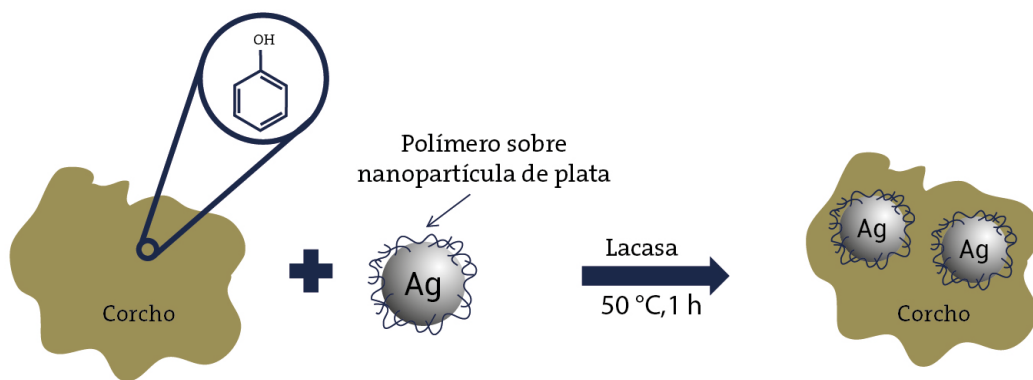
Los procesos de inmovilización se basan en la modificación superficial de las nanopartículas que buscan hacerlas compatibles con el sustrato sobre el que se desea inmovilizar. Los trabajos *Síntesis electroquímica de nanopartículas de plata en presencia de un surfactante neutro* y *Evaluación catalítica y antimicrobiana de nanopartículas de plata*, realizados en el GIEM, mostraron que es posible incorporar moléculas compatibles en el medio de síntesis, que interaccionen con la superficie de las nanopartículas, las estabilicen en suspensión y les permitan posteriormente ser inmovilizadas. Estas moléculas compatibles deben cumplir con algunos criterios de acuerdo con la aplicación deseada: ser biodegradables, biocompatibles, tener baja toxicidad y garantizar la estabilización de las AgNPs. La selección de este tipo de sustancias se hace también en función del material sobre el cual se desea inmovilizar las nanopartículas.

Es así como, en una investigación conjunta realizada entre el GIEM de la Uni-

La plata se utiliza en dispositivos electrónicos gracias a su alta conductividad eléctrica, en dispositivos ópticos por su particular interacción con la luz y en el campo de la medicina dada su alta actividad antimicrobiana.

versidad de Antioquia y los grupos GBMI y AQUASOST de la Universidad Politécnica de Cataluña, se inmovilizaron AgNPs sobre un sustrato conocido: el corcho. En el mundo se producen 340 000 toneladas de corcho al año, que se destinan principalmente a la fabricación de tapones para la industria del vino. Este material, proveniente de la corteza del alcornoque, tiene otras aplicaciones; gracias a su morfología y a su composición química, que incluye biopolímeros como lignina —que conforma buena parte de las maderas—, suberina y polisacáridos, puede ser usado como material adsorbente de contaminantes y como soporte para la inmovilización de nanopartículas de plata.

Para dicha inmovilización, las AgNPs son modificadas superficialmente con un biopolímero llamado quitosano, que se extrae del caparazón de crustáceos y está compuesto por cadenas de «azúcares» que, eventualmente, tienen enlazados grupos amino $\text{—NH}_2\text{—}$. Por



Fijación de nanopartículas de plata sobre corcho
Imagen | GIEM.

Las nanopartículas de plata mostraron una buena actividad antimicrobiana, pero desde el punto de vista práctico es necesario hallar una manera de facilitar su contacto con los microorganismos.

otra parte, y como se mencionó antes, el corcho está compuesto por lignina, que es un biopolímero estructural con grupos funcionales aromáticos conocidos como fenoles. Para realizar la inmovilización, se buscó que los grupos NH_2 del quitosano reaccionaran con los grupos fenol presentes en el corcho, y para que esta reacción se llevara a cabo, fue necesaria la incorporación a la reacción de una enzima llamada lacasa.

Al material híbrido generado mediante esta reacción —Corcho-AgNPs— se le evaluó su actividad antimicrobiana frente a las bacterias *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*; se mostraron reducciones de hasta 99.6 y 100 %, respectivamente, en la población de microorganismos. Una alta efectividad.

De esta investigación se derivaron otros estudios, realizados por la Universidad de Cataluña, ya no en el área específica de la medicina sino en áreas relacionadas con la salud pública. En estas se desarrollaron prototipos de filtros con lechos de este material con potencial aplicación en la desinfección de aguas contaminadas con microorganismos patógenos.

Si bien la plata presente en este tipo de dispositivos no brilla a simple vista, como lo indica su nombre, su aplicación en el campo de la medicina sí brilla con luz propia. ✕

La “tabla periódica” de las partículas elementales

Óscar Alberto Zapata Noreña

Físico, doctor en Física

Grupo Fenomenología e Interacciones

Fundamentales, Universidad de Antioquia

osalberto.zapata@udea.edu.co



Si bien los elementos forman y caracterizan toda la materia visible del universo, los átomos de estos están a su vez compuestos por partículas aún más elementales que se exploran desde la teoría, la experimentación y la fenomenología.

Todas las sustancias que nos son familiares y usamos de una forma u otra en la vida cotidiana están compuestas por diferentes elementos químicos. La tabla periódica de los elementos representa, de forma compacta, el conocimiento sobre todos los elementos mediante el uso de las propiedades de los constituyentes del átomo: el núcleo atómico y la nube de electrones que lo rodea. Así, los elementos están dispuestos en la tabla de acuerdo al número de protones que componen el núcleo atómico y cómo se distribuyen los electrones alrededor de este.

En un principio se creyó que los constituyentes del núcleo atómico, protones y neutrones, eran partículas indivisibles. Fue gracias a los avances científicos de mediados del siglo xx que se llegó a la conclusión de que no eran unidades fundamentales sino que están compuestos por partículas aún más pequeñas, los *quarks*, mientras los electrones siguieron considerándose elementales, indivisibles.

De estas nuevas partículas elementales, los quarks, que componen a protones y neutrones, se conocen seis tipos, con singulares nombres en inglés: u, up —arriba—; c, charm —encanto—, t, top —cima—; s, strange —extraño—; d, down —abajo—; b, bottom —fondo—. Los tres primeros —up, charm y top— tienen una car-

Modelo estándar de las partículas elementales

Tres generaciones de materia (fermiones)			Mediadores de carga / interacción (bosones)		
	I	II	III		
Masa	≈ 2.2 MeV/c ²	≈ 1.28 GeV/c ²	≈ 173.1 GeV/c ²	0	≈ 124.97 GeV/c ²
Carga	2/3	2/3	2/3	0	0
Espin	1/2	1/2	1/2	1	0
Nombre	u up	c charm	t top	g gluón	H higgs
QUARKS	≈ 4.7 MeV/c ²	≈ 96 MeV/c ²	≈ 4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ fotón	
LEPTONES	≈ 0.511 MeV/c ²	≈ 105.66 MeV/c ²	≈ 1.7768 GeV/c ²	≈ 91.19 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electrón	μ muón	τ tau	Z bosón z	
	<1.0 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<18.2 MeV/c ²	≈ 80.39 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e neutrino electrónico	ν_μ neutrino muónico	ν_τ neutrino tauónico	W bosón w	
					BOSONES ESCALARES

ga eléctrica equivalente a dos terceras partes de la carga del protón, mientras que down, strange y bottom poseen carga eléctrica negativa, dada por la tercera parte de la carga del antiprotón.

El protón de un átomo está constituido mayoritariamente por dos quarks up y un quark down, mientras que al neutrón lo componen un quark up y dos quarks down. Teniendo en cuenta este par de ejemplos, es de esperarse que puedan formarse más partículas compuestas por diferentes combinaciones de quarks. Vale la pena mencionar que, de todas las posibles partículas compuestas por quarks, solo una de ellas es estable: el protón, lo que significa que todas las demás —salvo el neutrón cuando se encuentra en el interior del núcleo atómico— se desintegran rápidamente.

En los años 40 del siglo pasado se descubrió una partícula conocida como muón, una especie de electrón pero con una

masa 200 veces mayor. Y a esto se le sumó el descubrimiento de otra partícula, también similar al electrón, pero con una masa 3500 veces mayor: el tau. Junto con el electrón, estas dos partículas hacen parte de un conjunto denominado *leptones*. Y asociado a cada uno de estos leptones se tiene la existencia de otra partícula elemental, eléctricamente neutra, conocida como el neutrino, resultando así en un conjunto de seis leptones. El primer neutrino en ser descubierto, en 1956, fue el neutrino electrónico, que había sido propuesto teóricamente cerca de 25 años antes para salvar la conservación de la energía en el proceso de desintegración del neutrón; para confirmar experimentalmente la existencia del neutrino tauónico hubo que esperar hasta el año 2000.

Una de las propiedades de las partículas elementales es el espín, que indica su comportamiento cuántico. Los quarks y leptones están agrupados en el conjunto de partículas denominado fermiones, y se caracterizan por tener espín igual a un número semientero. Para el caso de los quarks y los leptones, el espín es $1/2$. En la orilla opuesta se encuentran las partículas pertenecientes al conjunto de los bosones, con espín igual a un número entero igual a uno —partículas vectoriales— o que no tienen espín —partículas escalares—.

La primera partícula vectorial —y elemental— en ser descubierta fue la partícula de la luz, el fotón, que no tiene masa ni carga eléctrica. Hablan-

do en términos técnicos diríamos que el fotón es el mediador de la interacción electromagnética, de tal forma que las partículas con carga eléctrica diferente de cero interactúan entre ellas mediante el intercambio de fotones. Por ejemplo, los quarks pueden interactuar con otros quarks o con los leptones cargados mediante el intercambio mutuo de fotones —de la misma forma los protones, en el núcleo del átomo, interactúan con la propia nube de electrones—. En este mismo sentido actúan los otros bosones vectoriales no masivos, los gluones, mediadores de la interacción nuclear fuerte, que son intercambiados entre quarks únicamente. Puede notarse que la palabra gluón viene del inglés glue, pegamento. Es gracias a los gluones que los quarks se pueden agrupar para

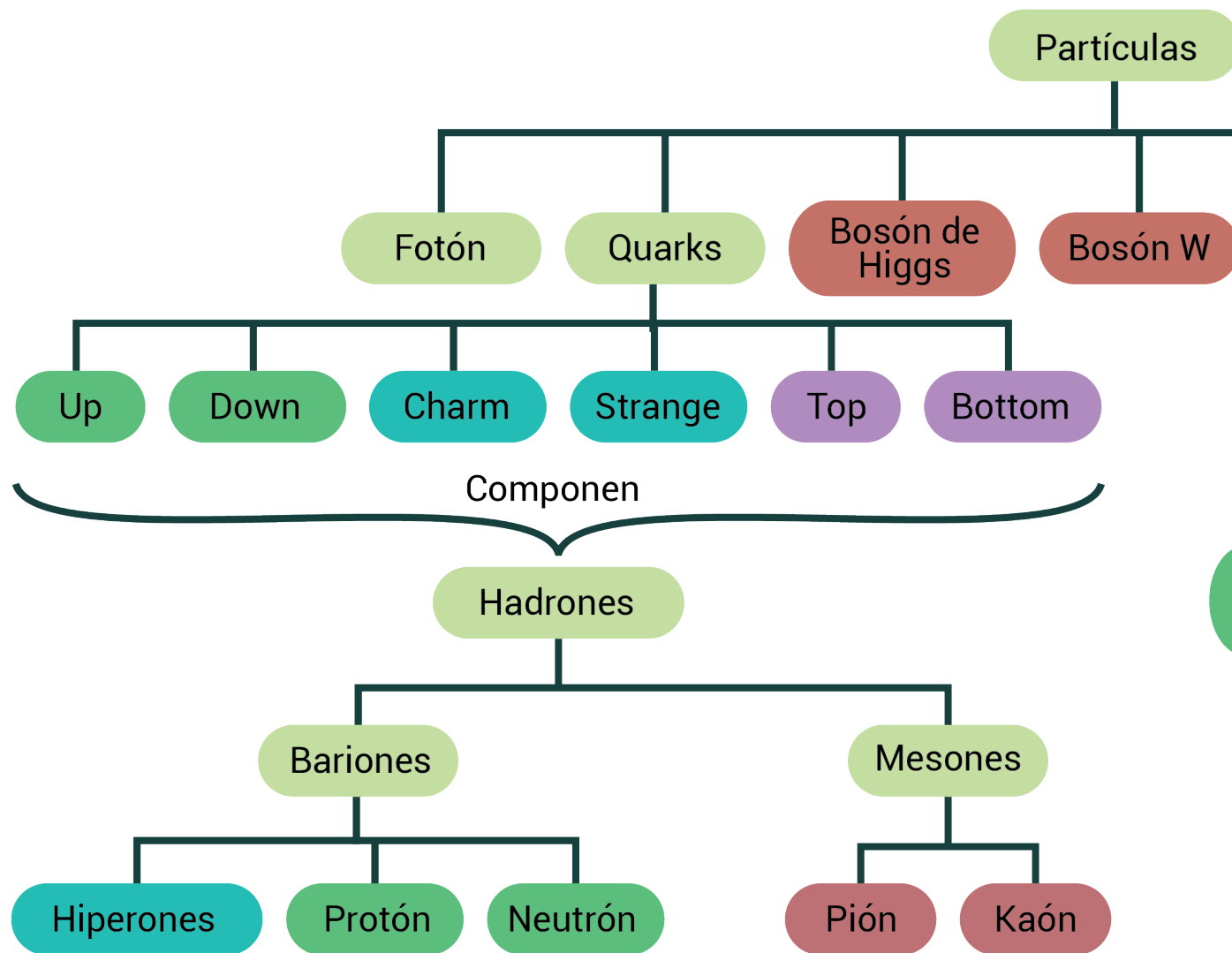
formar protones y neutrones, y también, en cierto sentido, permiten que los protones que forman el núcleo atómico se mantengan dentro de este a pesar de la repulsión eléctrica entre ellos mismos —la interacción nuclear fuerte es más intensa que la interacción electromagnética, pero es de mucho menor alcance: solo es apreciable a la escala subnuclear—.

En el mismo conjunto de las partículas vectoriales se encuentran los bosones ma-

sivos W y Z, que vienen siendo los mediadores de la interacción nuclear débil, y los únicos que pueden ser intercambiados entre todos los fermiones sin importar su naturaleza. Esta interacción es la causante, por ejemplo, de la desintegración del neutrón y de la desintegración radioactiva de los elementos químicos.

Por último, se encuentra la única partícula escalar —y elemental— que ha sido descubierta, el bosón de Higgs. Según la teoría que describe la interacción de las partículas elementales, conocida como modelo estándar, los electrones y todas las demás partículas con masa —incluido el mismo bosón de Higgs— adquieren su masa gracias a la interacción con el bosón de Higgs, de tal forma que en cuanto sea mayor la intensidad de esta interacción mayor será la masa obtenida. Así, el quark cima, el más masivo, es el que más intensamente interactúa con el bosón de Higgs, mientras que los neutrinos apenas lo hacen. Por otro lado, se tiene que el Higgs puede interactuar con otras partículas mediante el intercambio de fotones y bosones W y Z, tal como lo hacen los leptones cargados.

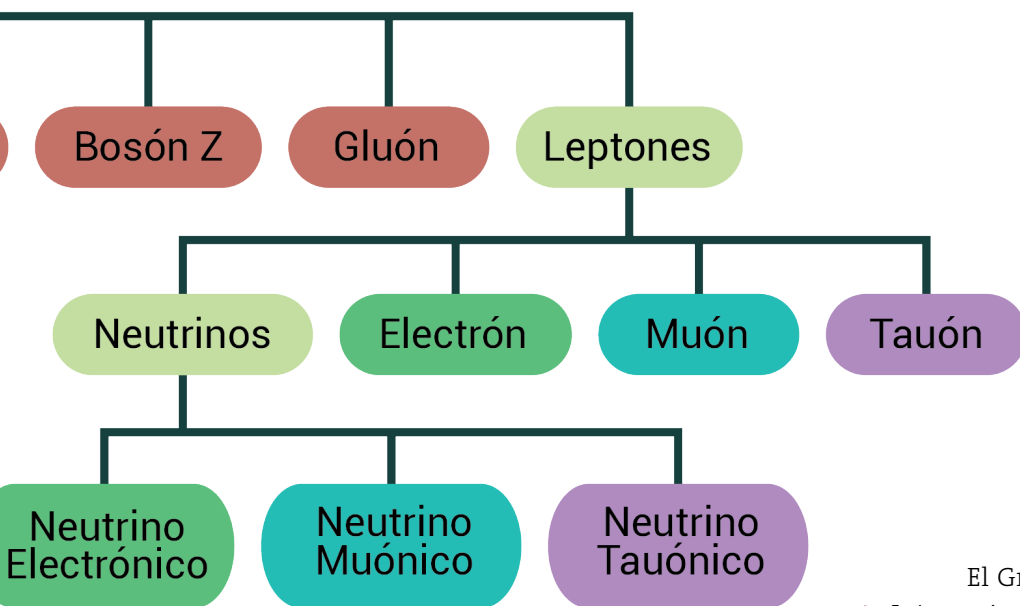
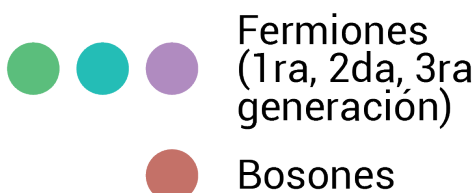
El 85 % de la materia total del universo está compuesta por partículas que desconocemos completamente: partículas denominadas materia oscura, porque ni emite ni absorbe radiación electromagnética.



El bosón de Higgs fue detectado experimentalmente en 2012, en el acelerador de partículas LHC del CERN, ubicado en Ginebra, (Suiza), casi medio siglo después de ser sugerida su existencia para explicar la masividad de los bosones W y Z.

Todas las partículas elementales observadas en la naturaleza pueden organizarse de acuerdo a la tabla mostrada más abajo, que nos habla de los

componentes más esenciales que conocemos del universo. Algunas similitudes surgen al comparar la tabla periódica de los elementos químicos con la tabla de las partículas elementales del modelo estándar. Por ejemplo, las columnas reflejan partículas con propiedades semejantes, mientras que la segunda y tercera fila del conjunto de los fermiones —también conocidas como segunda y tercera generación— son réplicas de la primera fila —generación—, difiriendo solo en el valor de la masa de las partículas, la cual es mayor según el número de la generación. Otro ejemplo es que la existencia de varias partículas también se presumía antes de su detección, debido al patrón que re-



Clasificación de las partículas fundamentales del modelo estándar, incluyendo las que se predicen y aún no se han detectado experimentalmente.
Infográfico | Andrea Henao Jaramillo.

flejaba la tabla en sus inicios. Por ejemplo, el neutrino tauónico fue inferido después del descubrimiento del leptón tau.

Al igual que la tabla periódica, que está aún en construcción debido a que hay elementos que no se encuentran de forma natural y que pueden producirse en laboratorios, la «tabla periódica» de las partículas elementales no es un producto terminado. Por ejemplo, solamente cerca del 15 % de la totalidad de la materia que compone el universo está constituida por las partículas del modelo estándar, por lo que el 85 % del universo está compuesto por partículas que desconocemos completamente, partículas denominadas materia oscura, porque ni emite ni absorbe radiación electromagnética. Dichas partículas podrían encajar en cualquiera de las casillas vacías de la tabla periódica del modelo estándar. Cualquier solución a los fenómenos que no pueden ser explicados con las partículas del modelo estándar, como la masividad de los neutrinos y la diferencia en la cantidad de materia y antimateria del universo, involucra la adición de nuevas partículas.

El Grupo de Fenomenología de las Interacciones Fundamentales, de la Universidad de Antioquia, ha desarrollado gran parte de sus actividades alrededor de dar sentido a los datos experimentales de laboratorios como el CERN y el Fermilab, para explicar los fenómenos que el modelo estándar no logra explicar, con el planteamiento y estudio de nuevas propuestas teóricas que lo expandan.

Una de las temáticas de investigación que se ha venido desarrollando intensamente durante los últimos 10 años son los fenómenos de la materia oscura y las masas de los neutrinos, terreno en el que se ha logrado formular propuestas teóricas viables que describen satisfactoriamente y de manera simultánea dichos fenómenos. Todas estas propuestas involucran diferentes tipos de partículas nuevas (escalares, fermiones y vectoriales) que constituyen la totalidad de la materia oscura y que pueden ser detectadas en experimentos actuales y futuros. ✗

La tabla periódica:

ícono del poder transformador de la química

María Victoria Alzate Cano

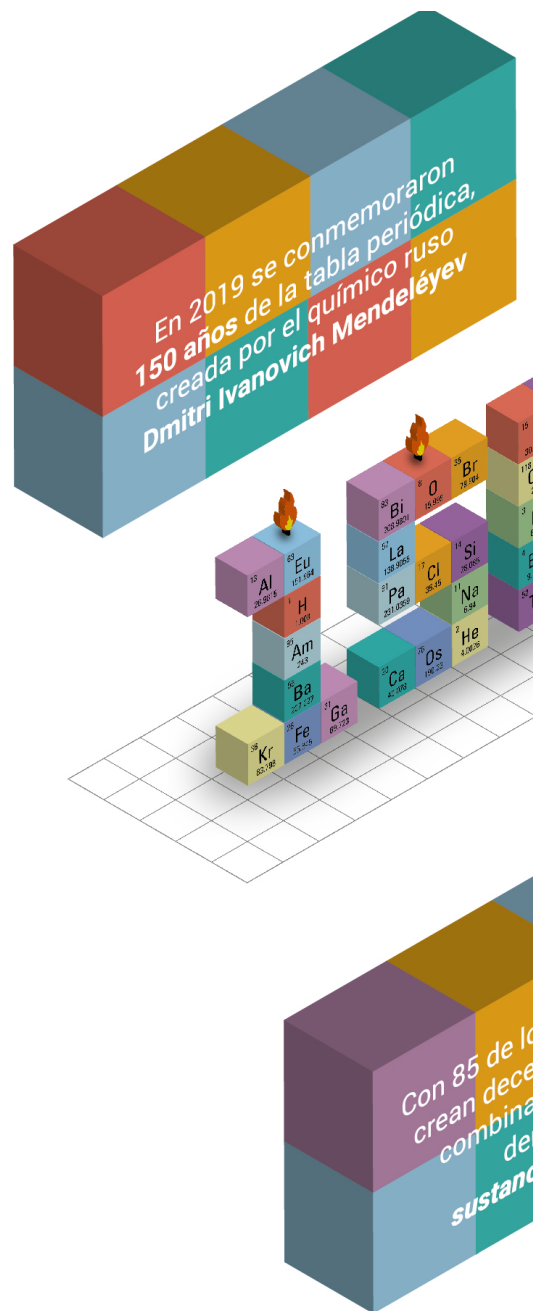
Química. Doctora en Enseñanza de las Ciencias.
Grupo Metodología en la Enseñanza de la Química —MEQ—.
Universidad de Antioquia.

La tabla periódica, entendida como un acercamiento a los elementos que constituyen todo y a todos, debería ser hoy más que nunca un compromiso de ciudadanía. Con los 118 elementos descubiertos hasta la fecha, es una expresión icónica del poder transformador de la química.

En el sistema periódico de los elementos químicos se usa una representación simbólica para núcleos atómicos, átomos y sustancias simples. Los elementos se despliegan en orden ascendente según la cantidad de protones —que es siempre la misma para cada uno, mientras la cantidad de neutrones puede variar—. Como el átomo es interacción de núcleo y electrones, y es eléctricamente neutro, el total de electrones —cargas eléctricas negativas— es igual en magnitud al número de protones.

La importancia de la Tabla se extiende mucho más allá de las ciencias. Las intervenciones humanas, como las que han permitido liberar y utilizar —para bien o para mal— la energía del núcleo de los átomos, nos comprometen con el reconocimiento de los elementos químicos en la vida política, social, cultural, económica y ética; en lo tecnocientífico y lo innovador. Contribuyen a la forma de ser de nuestra civilización, a reconocer a las sustancias simples y compuestas, los átomos, moléculas y núcleos atómicos; cómo se correlacionan, integran y expresan para dar sentido a los elementos que nos tocan a todos.

Estas intervenciones humanas también acontecen en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales, las matemáticas, la investigación educativa y, en particular, el aprendizaje significativo de contenidos químicos. Este último es el propósito de intervención del Grupo Metodología en la Enseñanza de la Química —MEQ—, que en 2019, en conmemoración de los 150 años de la tabla periódica, realizó una serie de talleres llamados *La Tabla Periódica y la Vida*, en convenio de cooperación con el Centro de Innovación del Maestro —MOVA— de la Secretaría de Educación de Medellín, así como conferencias, conversatorios y concursos, a modo de mediaciones que vinculen la comunidad educativa de los niveles básico, medio y superior con la gran fiesta de la tabla periódica. ✕



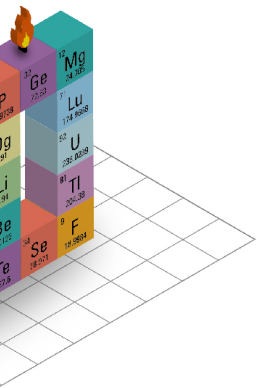
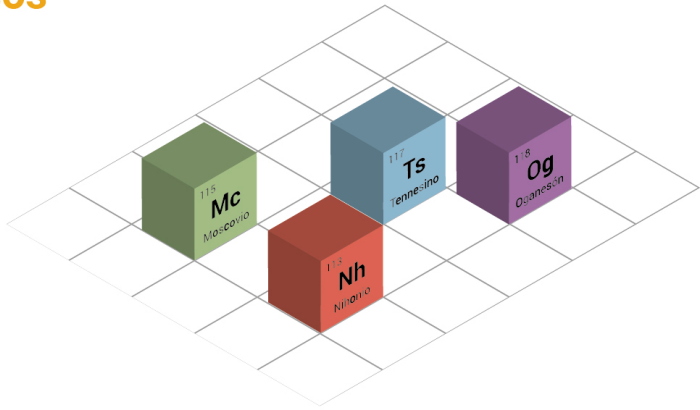
La tabla

18 grupos: nombrados IA a VIII y de IB a VIIIB.

7 períodos: numerados de 1 a 7.

118 elementos químicos

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada — IUPAC — reconoció en 2015 los elementos de número atómico 113, 115, 117, 118: **113 nihonio (Nh)**, **115 moscovio (Mc)**, **117 tenesino (Ts)** y **118 oganesón (Og)**.



Sustancias simples

como los metales:

Hierro **Fe(s)**, Cobre **Cu(s)**, Uranio **U(s)**;

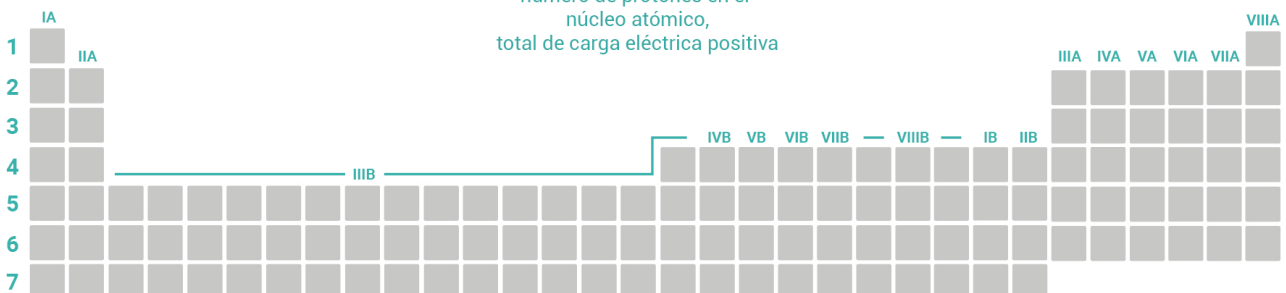
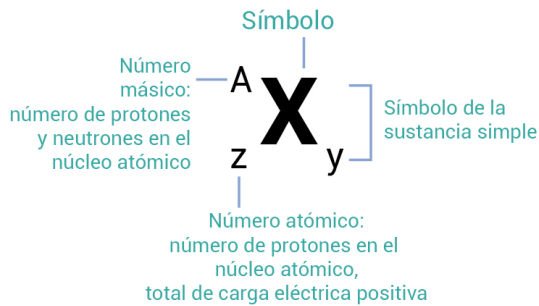
no metales:

Octazufre **S8(s)** y Dinitrógeno **N2(g)**.



Sustancias compuestas

Como agua líquida **H2O(l)** o dióxido de carbono gaseoso **CO2(g)**.



Carlos Arturo Fernández Uribe:

una voz para la
historia del arte

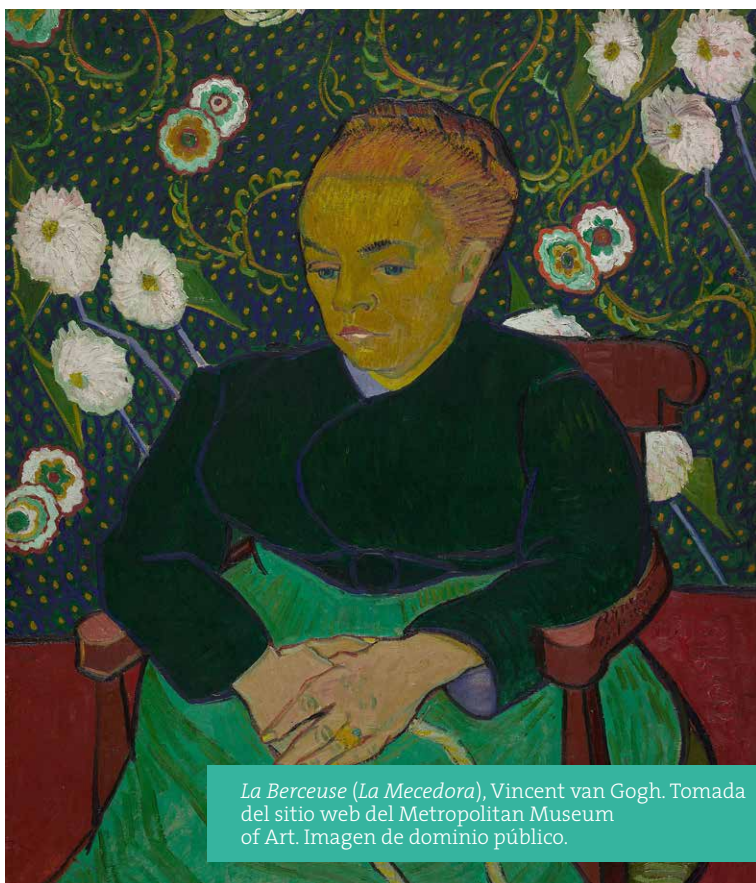
Carmenza Uribe Bedoya

Química. Profesora jubilada, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia.





Foto | Alexánder Monsalve.



La Berceuse (La Mecedora), Vincent van Gogh. Tomada del sitio web del Metropolitan Museum of Art. Imagen de dominio público.

Los estudiantes de la maestría en Historia del Arte de la Universidad de Antioquia recuerdan con emoción el día en el que a su profesor, Carlos Arturo Fernández, se le llenaron los ojos de lágrimas mientras describía *La Berceuse* —*La Mecedora*— un retrato por Vincent van Gogh de comienzos de 1889. Al respecto dice el profesor que le emociona narrar esta anécdota en clase, porque con esta obra Vincent afirma que el arte tiene, entre otros, un valor consolador porque ayuda a que la vida sea más llevadera. Así el profesor Fernández describe la obra:

En una de sus cartas a Theo, su hermano, Vincent le cuenta que había pintado ese cuadro pensando que debería estar en la cabina de un marino islandés, triste y solo, niño y mártir al mismo tiempo, de tal manera que ese marino melancólico lo mirara, experimentara un sentimiento de arrullo que le recordara los cantos de cuna, los abrazos y el calor de su madre o de su nodriza. Como si el cuadro fuera un abracito de la mamá. Me gusta en especial porque la gente se emociona mucho con él (también yo, claro); eso hace que el discurso sobre van Gogh sea muy eficaz y me parece que hay una cantidad de valores de la obra de arte que se pueden descubrir en su pintura.

Esta anécdota es solo una muestra de la sensibilidad de una persona que ha dedicado su vida a la historia del arte y que se ha convertido en referente en un área del conocimiento especialmente atractiva y compleja, alejada de otras disciplinas más populares en el medio. La manera como este antioqueño pasó de ser un estudiante juicioso de colegio a ser la persona reconocida que es hoy, experto en historia del arte, pasa por una buena familia, decisiones acertadas, mucha disciplina y hasta por giros inesperados de las circunstancias.

Los primeros años: el deseo de conocer

La violencia de mediados del siglo xx obligó a su familia a salir de Salgar, en el Suroeste antioqueño, y viajar a Medellín. Carlos Arturo, el sexto entre siete hermanos, contaba con solo 29 días de nacido. La imagen de sus padres es significativa: mi papá, Arturo, fue modelo de ética y coherencia, un gran lector, sensible, sincero, serio, callado, recto. Mi mamá, Gabriela, era una mujer tierna y dulce, trabajadora, cuidadosa, metódica, una gran administradora del dinero, que guardaba en sobres con destinación específica, método clave para llevar una familia numerosa como la nuestra. Cuando le pregunto sobre inspiradores en su familia, reconoce que no hubo artistas ni interesados por el arte en la familia, excepto su tía Susanita, quien pintó un bodegón, que es la única obra de arte que conoció en su infancia.

Estudió en el Colegio San Ignacio de Loyola, donde pronto se convirtió en un alumno ejemplar, disciplinado y con un interés particular por saber del mundo. Acostumbraba a coleccionar recortes de periódicos, revistas y clasificarlos; sus temas preferidos eran los aviones y la

carrera espacial. Era su propio «cortar y pegar», y con este acervo, al terminar su bachillerato, tuvo una visión global que se convirtió en ventaja frente a sus compañeros. Fue tercero por Antioquia en el Concurso Mejores Bachilleres Coltejer, en una época en la que no existían los exámenes del Estado. El premio al concurso fue, como se verá más adelante, una premonición: un viaje por toda Colombia.

Aparece el arte

Estudió Filosofía y Letras en la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. “En la Javeriana tuve profesores que me marcaron: el español Francisco Gil Tovar, un estudioso del arte colombiano; con el jesuita Enrique Gaitán aprendí que la historia del arte es una manera enriquecedora de acercarse a la cultura, y que tiene un encanto porque es sobre cosas concretas. Yo estudiaba Filosofía, que es sobre las ideas, pero las esculturas, las pinturas están ahí; eso me gustó mucho; en la profesora Alicia Lozano vi pasión y fascinación por la historia del arte”. Al terminar el pregrado estudió italiano y viajó a Bolonia con la expectativa de estudiar Literatura Italiana, pero este curso no estaba disponible y en lugar de ello le permitieron estudiar Historia del Arte Medieval y Moderno, que era lo que realmente le gustaba.

Abriendo puertas

Regresó a Colombia en 1981 con un doctorado. Estuvo dos años como profesor en la Universidad Pontificia Bolivariana y, en 1983, se vinculó a la Universidad de Antioquia en un momento en el que solo había dos cursos sobre el tema en la Facultad de Artes. Allí comenzó una labor que no se ha detenido en más de 30 años, durante los cuales Carlos Arturo Fernández ha abierto las puertas de la historia del arte no solo en la Universidad de Antioquia

sino en Medellín, donde se volvió un referente cultural, consultor, crítico y divulgador. “Fue como colonizar un terreno que ni se sabía que existía porque lo que se entendía sobre el arte era lo que decían los críticos; sin embargo, no se sabía muy bien cómo era la tarea de enfrentar una pintura ni de cómo interpretarla. Paulatinamente fuimos entendiendo eso para qué servía, aumentamos el número de cursos, luego creamos la maestría, y finalmente el doctorado”.

El profesor Alejandro Tobón, de la facultad, recuerda que tomó un curso en el que Carlos Arturo Fernández dictaba la parte de historia del arte, el maestro Rodolfo Pérez la de música y Mario Yepes dramaturgia y literatura, época memorable en la Facultad de Artes por la conjunción de tres verdaderos expertos en cada una de las temáticas.

De tener dos cursos en el tema, tres décadas más tarde la facultad pasó a tener un doctorado en Artes con énfasis en la línea Historia de las Artes Plásticas, y aunque insiste en que

esto fue labor de muchas personas, esas personas reconocen que, gracias a su liderazgo, entusiasmo y paciencia se logró hacer realidad la presencia de la historia del arte en un medio en el que existe una situación cultural desfavorable a la creación, pero propicia para dispersar concepciones equivocadas de lo que significa entender el arte.

Interpretar obras de arte va más allá de comentar lo que un artista plasmó en una obra determinada. Es «escuchar» lo que el artista dice, y para ello hay que interactuar pacientemente con la obra.

Profundizando en la reflexión sobre el arte

En medio de una nutrida agenda de actividades, entre ellas la de ser decano de la Facultad de Artes, Carlos Arturo fue el primer matriculado en el doctorado de Filosofía de la Universidad de Antioquia. Con la tutoría de Javier Domínguez desarrolló una tesis de grado que dio lugar al libro *Concepto de arte e idea de progreso en la historia del arte*. Según el doctor Domínguez “la tesis es una completa exposición del núcleo de autores y conceptos filosóficos más significativos en la constitución de la historia del arte como disciplina”.

El núcleo de pensamiento que expone Carlos Arturo en su tesis de grado es la base de su quehacer como divulgador: la idea de humanidad realizada en cultura, y este hecho lo expresa de varias maneras. En primer lugar, aclara que lo que conocemos como historia del arte son, por lo menos, dos cosas distintas: de un lado están los artistas, lo que hicieron, la cronología, sus intereses, y de otro lado están los saberes más epistemológicos; hacer historia del arte es hacer un tipo especial de historia, porque la historia es sobre hechos pasados, pero la del arte es sobre el presente porque las obras están ahí. En segundo lugar, está la interpretación de las obras de arte: “Lo que un profesor de Historia del Arte hace con los alumnos es invitarlos para que se aproximen a ver que un cuadro no es solo un conjunto de materiales sino una ventana que se abre a un momento de la historia, a una cantidad de problemas humanos que son profundos y apasionantes. Las obras de arte están ahí para hablarnos, para establecer una relación con nosotros”.

Divulgar el arte: escribiendo y enseñando

El quehacer del profesor Fernández oscila entre la enseñanza, la divulgación y la crítica de arte. Interpretar obras de arte va más allá de comentar lo que un artista plasmó en una obra determinada. Es «escuchar» lo que el artista dice, y para ello hay que interactuar pacientemente con la obra, reconociendo que los artistas siguen hablando a través de sus obras, y que a veces lo que dicen puede enmarcarse en reflexiones que ayudan a entender la realidad actual. Parte de esta labor divulgativa se ha desarrollado durante años en la columna que ha mantenido en la publicación *Vivir en El Poblado*, donde, además de divulgar, hace pedagogía considerando la obra como el documento por excelencia.

De otro lado sus clases son un viaje al pasado a través del presente de las obras de arte. Asistí a una clase sobre neoclasicismo para estudiantes de la maestría en Historia del Arte, y encontré que el profesor exhibe una memoria prodigiosa al describir épocas, estilos, personalidades de los artistas, hechos que ubican a los estudiantes en la temática de la clase, pasando fácilmente de lo artístico a lo filosófico sin descuidar la óptica geopolítica y social. Sus estudiantes asisten a la clase con un interés que se hace evidente en las preguntas que formulan. Él no escatima tiempo para responder detalladamente, enlazando hábilmente sus respuestas con temáticas vistas en clases an-



teriores o anunciando lo que vendrá en las próximas y aportando una mirada integral.

Viajes culturales: un mundo por descubrir

Un espacio que Carlos Arturo ha sabido aprovechar surgió en la academia de arte Yurupary. Allí ha sido profesor de Historia del Arte, pero su labor divulgativa más relevante se ha desplegado a través de viajes de tres a cuatro semanas alrededor del mundo, con objetivos culturales, en los que es guía y organizador de la agenda. A la fecha, el profesor Fernández ha guiado aproximadamente 40 viajes.

«Nadie debería irse triste del lado de un príncipe»

De Carlos Arturo Fernández sus compañeros, alumnos y amigos le reconocen versatilidad, universalidad en sus intereses intelectuales y en sus fundamentos, capacidad de diálogo, sensibilidad, serenidad y carácter excepcional como persona. Le definen como gran amigo y buen conversador, maestro de vida con capacidad para compartir el cono-



Foto | Alexander Monsalve.

cimiento sin perder el nivel o la profundidad de los temas. Lo que es, lo entrega incondicionalmente, y en medio de su sabiduría tiene una sencillez profunda. Su actividad en la universidad marca una ruta que liga a la Facultad de Artes con la dinámica cultural del medio desde el arte. Es el símbolo y el signo de una formación artística y es el polo a tierra de la construcción académica de la formación de artistas en la ciudad; además, es referente importante en crítica del arte y en estudios de investigación artística.

Cuando le pregunto cómo se ve a sí mismo, Carlos Arturo dice: “yo me acuerdo siempre de algo que aprendí en la clase de Historia Universal de segundo de bachillerato. Cuando al emperador Tito lo criticaban porque hacía concesiones con mucha facilidad, respondía: “No conviene que ninguno se aleje con tristeza de la vista del príncipe”, no porque yo me crea un príncipe, sino porque nadie debería hablar conmigo e irse triste... quiero que siempre que tenga una

interacción con una persona, el resultado sea positivo, que piense que le ayudé, que le mostré algo que no sabía o por lo menos que el rato fue agradable”.

Carlos Arturo Fernández es una voz vibrante y emotiva para la historia del arte, pero sobre todo una voz impregnada de sensibilidad, esa que lo conmueve mientras describe una obra de arte a sus estudiantes, tal como lo saben los alumnos de la Maestría en Historia del Arte, quienes se consideran los más afortunados al tener un profesor como él, cuyo mensaje claro y profundo podría asimilarse a las palabras de Marcelino Menéndez Pelayo que resaltan la importancia de valorar el pasado a través del arte:

Donde no se conserva piadosamente la herencia del pasado, pobre o rica, grande o pequeña, no esperemos que brote un pensamiento original ni una idea dominadora. Un pueblo nuevo puede improvisarlo todo menos la cultura intelectual, un pueblo viejo no puede renunciar a la suya sin extinguir la parte más noble de su vida y caer en una segunda infancia muy próxima a la imbecilidad senil. ✕

Versos cantados que



narran su tiempo

El Grupo Músicas Regionales, de la Universidad de Antioquia, se ha dado a la tarea de estudiar las múltiples expresiones que nos constituyen como pueblo. Para ello ha transitado por una línea de investigación que analiza los procesos de identidad y cambio cultural en Colombia y América Latina a través de la música.

Alejandro Tobón Restrepo
León Felipe Duque Suárez
Héctor Rendón Marín
Grupo de Investigación Músicas Regionales.
Facultad de Artes.
Universidad de Antioquia.





Gran final del Festival Nacional de la Trova Ciudad de Medellín. Plaza Gardel, agosto 2018.
Fotógrafo | Hugo Villegas Hernández.

Son las doce de la noche en la plaza Gardel y la expectativa invade a las miles de personas que se congregan en este lugar. Mientras unos especulan sobre quién es el mejor, otros corean el nombre de su favorito. ¿Quién será el rey? Entre corrillos y algarabías, las cábalas van y vienen. Leonardo Cuervo, Juan Pablo Martínez y Juan José Castaño suben al escenario, se acercan a la mesa del jurado, tiran los dados para determinar quién inicia la tanda y se ubican al frente de sus respectivos micrófonos. El momento definitivo ha llegado después de tres meses de competencia entre selectivos, clasificatorias, semifinales y gran final. De los 280 participantes inscritos, solo ellos tres siguen en contienda, disputándose la corona. Cuando la tensión está en su máximo punto, los acordes de las cuerdas de un tiple se dejan escuchar en todos los rincones, señalando que la ronda del diablo va a comenzar.

Pero, ¿qué tiene que ver esta anécdota con un proceso de investigación? ¿Por qué narrar historias de espectáculos masivos, concursos, juego de dados, rondas del diablo y reyes? Porque cada uno de los componentes aquí mencionados, y muchos otros, hacen parte del engranaje histórico que ha constituido la cultura popular colombiana. Así, en una búsqueda por descifrar los elementos simbólicos que caracterizan al noroccidente andino del país, el Grupo Músicas Regionales está desarrollando el proyecto *Trova antioqueña: entre la estabilidad poética y la transformación cultural*.

Para realizar esta investigación fue necesario buscar las fuentes vivas, es decir, a los protagonistas, que desde años atrás son reconocidos por la sociedad como exponentes significativos de esta manifestación. En segundo lugar, recopilar grabaciones de audio, videos, fotografías y textos, materiales desde los cuales se hace visible la memoria. Tercero, sumergirse en el mundo de la trova a través de la asistencia a escenarios donde ella está presente. Por último, estudiar el testimonio aportado por los trovadores, los documentos recopilados y la vivencia en el trabajo de campo, con el fin de consolidar el conocimiento histórico, sociocultural, poético y musical que se necesita para entender la trova antioqueña.

Comencemos entonces por contar qué es la trova:

Mira mis manos de tiple
 con cuerdas bien afinadas,
 están listas pa' cantarte
 mis trovas improvisadas.

Como se lee, se trata de una copla conformada por cuatro versos, cada uno de ocho sílabas, por ejemplo: Mi-ra-mis-ma-nos-de-ti-ple. Además, el segundo y el cuarto terminan con la misma rima, es decir, al pronunciar el final de estos versos debe haber coincidencia sonora, en este caso: afinadas, que es la última palabra del segundo, rima con improvisadas, la última palabra del cuarto; pero eso no es todo, hay un hecho que es el más significativo, estos versos se inventan en el momento en que se cantan, no se preparan, no son aprendidos de memoria. Cuando el trovador los dice, es porque en ese instante se le ocurre la idea, teniendo en cuenta, por ejemplo, el tema de conversación o la situación que está viviendo. La mayoría de las veces, la trova se da por medio de un enfrentamiento de opiniones entre dos personas que se intercalan la creación de coplas.

Contrario a lo que pasa con los versos, que siempre son improvisados, la música con la que se canta esta manifestación es generalmente la misma: una tonada tradicional de bambuco que se acompaña de un tiple; no obstante, en algunas ocasiones, durante los últimos años, este acompañamiento se amplía a otros instrumentos de cuerda, viento o percusión, como la guitarra, la bandola, la flauta y la batería. La creatividad de los trovadores ha permitido innovar en otras formas musicales y para ello se recrean expresiones diversas; particularmente, es relevante el uso de la música tropical antioqueña en la llamada trova doblética, modalidad en la que se utilizan ocho versos octosílabos donde riman el segundo con el cuarto y el sexto con el octavo.

En la copla que se ofrece en la página anterior, se puede evidenciar el carácter cotidiano, comunicacional y, a la vez, literario que entraña esta forma de expresión arraigada en la cultura popu-

lar antioqueña. Ella encierra, desde una estructura poética sencilla y una melodía reiterativa, casi como un mantra, un profundo sentido social y cultural, muchas veces no dimensionado, que logra traspasar las barreras del tiempo. Porque la trova sigue transitando por ámbitos íntimos y grandes escenarios como mecanismo de interacción y diálogo.

Las raíces de esta expresión poético-musical están muy lejos de la plaza Gardel de Medellín. Esta manera de comunicarse, que en la región cafetera de Colombia se ha conocido como trova antioqueña, hace parte de una tradición oral que se remonta miles de años atrás y es común en distintas partes del mundo. Fueron los españoles quienes introdujeron, entre otras múltiples manifestaciones, formas poéticas que después de largos procesos de mestizaje dieron vida a la trova tal como se conoce hoy. Se sabe que ya en el siglo XIX se improvisaba con la estructura actual; personajes como Antonio José Restrepo, Nito Restrepo, y Manuel Salvador Ruiz, Salvo Ruiz, nacidos en ese siglo en Concordia, Antioquia, son figuras legendarias y referentes para los actuales trovadores.

De cantarse en minas, en cultivos de café, en fondas camineras, en la intimidad de las familias o en encuentros cotidianos, la trova se abrió a espacios públicos a través de concursos, que se han llamado festivales, y que se celebran desde los años 70 del siglo pasado. Estos eventos, donde el ganador obtiene el título de rey, han ido adquiriendo importancia a lo largo del tiempo, hasta llegar a ser masivos y de alcance nacional. Tanto es así que algunos de los reyes de los festivales más relevantes en las últimas décadas son hoy personajes reconocidos en el mundo de los medios de comunicación y del humor.

De regreso a la plaza Gardel, los tres finalistas que se disputan el título de rey se enfrentan entre ellos en el último tramo del espectáculo, conocido históricamente como la ronda del diablo. Juan José, el más joven de ellos, es consciente de la dificultad que entraña responder a la calidad de sus contrincantes y de la tensión que se vive en este momento. Él es heredero de esta larga tradición que cuenta, cantando en versos improvisados, acontecidos de ayer y de hoy; legado que recoge de su padre, Raúl Mario Castaño, hombre nacido en Marinilla, quien bebió de su pueblo y de sus veredas formas campesinas de hacer poesía. De esta manera, la trova ha pasado, a lo largo de los siglos, de generación en generación a través de la transmisión oral, es decir, se aprende a hacerla escuchando las voces de padres, abuelos y contemporáneos.

Pero Juan José, al igual que Juan Pablo y Leonardo, es un joven de ciudad que ha crecido en una época de profunda crisis social en Colombia, y la trova no es ajena a esta circunstancia. Por eso, en medio de la alegría que se vive en la plaza, escenario de la gran final del Festival Nacional de la Trova Ciudad de Medellín, hay espacio para la crítica y la reflexión alrededor de las diversas problemáticas sociales:

«No merece ver el sol
el que asesina a un ser vivo,
sea humano o animal,
sin tener ningún motivo»
(Juan Pablo Martínez, 2018).

No obstante estas posibilidades, el fenómeno del verso improvisado se ha movido entre la construcción de un espacio para denunciar y recrear los acontecimientos que viven la región y el país, y el imaginario de que el hombre paisa es un «ser superior» respecto al resto de las gentes de Colombia, y que Antioquia representa una supremacía histórica, política y social en el desarrollo de la nación. Tampoco se puede ignorar que el fenómeno del narcotráfico, en las décadas del 80 y el 90, permeó la trova y a sus exponentes, poniéndolos a su servicio recreativo —al igual que pasó con otras manifestaciones artísticas y culturales—. En palabras del profesor y trovador Luis Fernando Macías, «el principal cliente de esta expresión empezó a ser el narcotraficante exitoso de comienzos de la época del 80; en sus fiestas privadas, en sus bares, en sus restaurantes, en sus viajes... requería del servicio de los trovadores y pagaba bien. La trova nos permitió conocer la intimidad de lo que sería después ese terrible ocasionador de la corrupción y la violencia en el país».

A pesar de estos ires y venires, la vigencia de esta práctica cultural se corrobora en el significativo número de personas que se expresan a través de ella, quienes en muchos casos se forman en escuelas de improvisación ubicadas en Medellín y en distintos municipios de Antioquia. También, en la presencia de trovadores en los medios de comunicación, donde esta manifestación se instau-

ra como una alternativa cierta de humor y crítica. Finalmente, se verifica su actualidad en escenarios, como la plaza Gardel, donde miles de personas asisten a escuchar y presenciar la controversia que define al rey.

Termina la ronda del diablo y llega el momento definitivo. Juan Pablo y Leonardo ya han sido reyes en años anteriores y, a partir de sus trayectorias, retan a Juan José diciéndole que todavía le falta experiencia. Pero la suerte está echada, el hijo de Raúl Mario Castaño, “Crispeta”, quien también fue rey nacional, saca su casta y, como heredero de una larga tradición, se impone y logra, a los 19 años de edad: convertirse en el nuevo rey del Festival Nacional de la Trova Ciudad de Medellín 2018, en el marco de la Feria de las Flores. Su canto así lo testimonia:

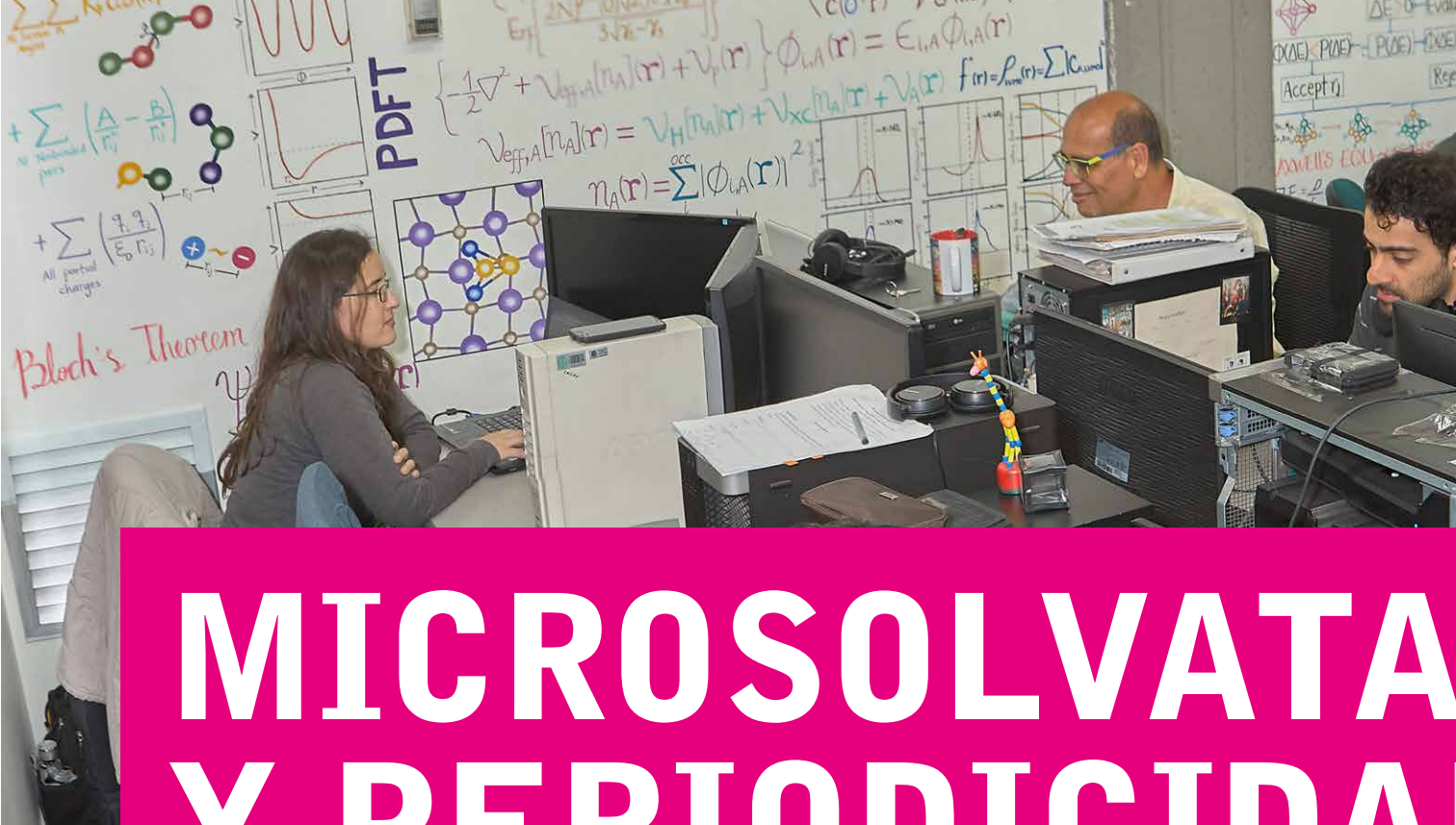


Juan José Castaño, rey del Festival Nacional de la Trova Ciudad de Medellín 2018.

Fotógrafo | Hugo Villegas Hernández.

«Desde hace mucho,
Medallo pedía renovación
y hoy estoy aquí parado
pa' cumplir su petición»
(Juan José Castaño, 2018).

Los últimos aplausos y gritos de la noche se escuchan con más fuerza que nunca en la plaza Gardel. Mientras Juan José colmado de alegría levanta su trofeo, su padre, en primera fila, llora emocionado, y el público, poco a poco, abandona el lugar. Los versos cantados que narran su tiempo una vez más contaron, entre controversias personales, crítica social, juicios políticos, regionalismo y humor, los aconteceres de hoy y de siempre. ✕



MICROSOLVATA Y PERIODICIDAD

Una microsolvatación es una solución homogénea, cuyas propiedades son estudiadas por la química física teórica, desde sus elementos constituyentes, usando herramientas computacionales.

Albeiro Restrepo Cossio

Químico, doctor en Química.
Profesor de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Director del Grupo de Investigación Química-Física Teórica.
Universidad de Antioquia.

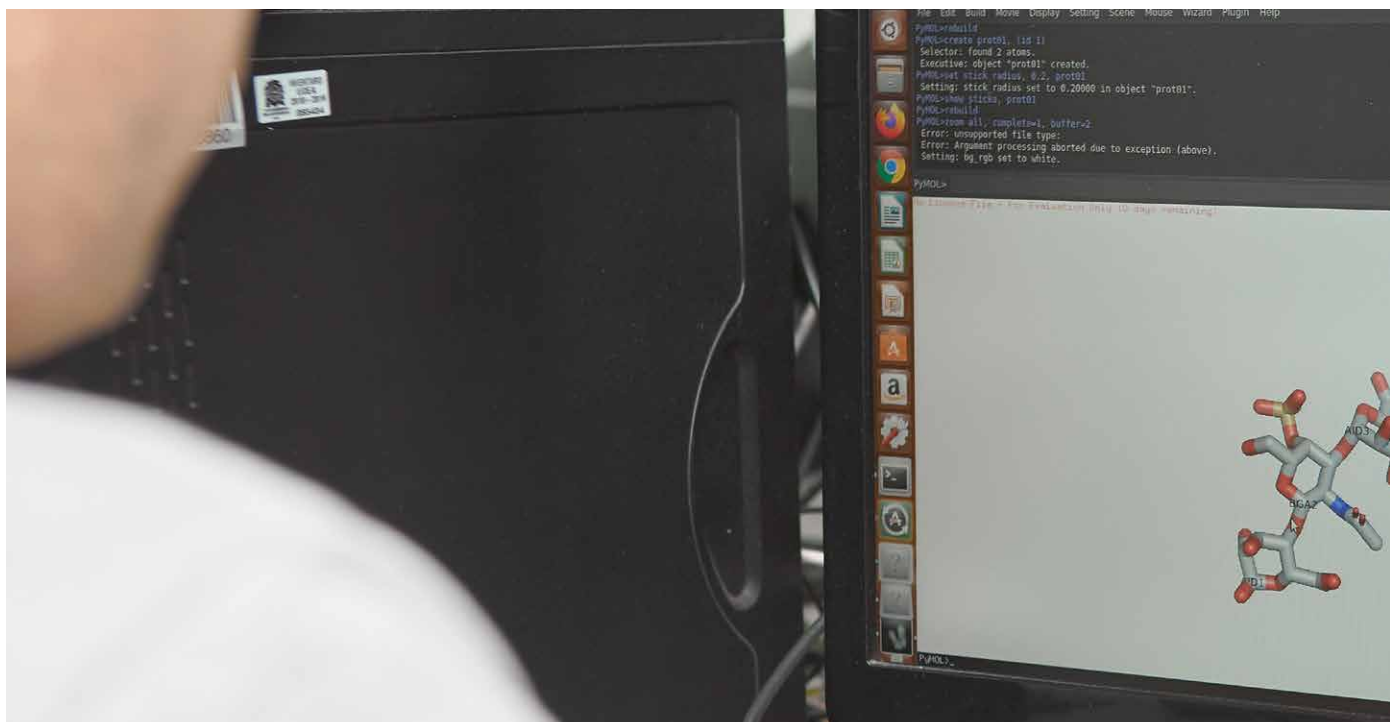
CIÓN D



Foto | Alexander Monsalve.

El café en la mañana, la sangre que lleva nutrientes y limpia las células, el aire que respiramos, las lágrimas que delatan nuestras emociones, el agua de los mares y ríos, la tinta que se adhirió en minúsculos patrones al papel en el que lees esta nota... la lista es aparentemente interminable. Hablamos aquí de un tipo de mezclas homogéneas de dos o más sustancias, a las que técnicamente nos referimos en química como soluciones. La naturaleza sería inimaginablemente diferente si sustancias tan distintas como, por ejemplo, el agua y el azúcar, no tuviesen la capacidad de, al mezclarse, de convertirse en una nueva entidad en la que no podemos reconocer sus componentes por simple inspección. La asimilación y superposición de los opuestos individuales reteniendo sus identidades, una suerte de utopía combinatoria. ¿Qué distintas serían nuestras sociedades si viviésemos bajo soluciones de ideas!

¿Qué misterios se ocultan detrás de esta asombrosa habilidad de combinarse sin dejar rastro aparente? ¿Es esta observable homogeneidad macroscópica retenida en escalas más pequeñas, específicamente en el dominio de los átomos y las moléculas que constituyen las sustancias? ¿Qué tipo de interacciones llevan a situaciones en las que, en el todo, los componentes retienen sus identidades? ¿Cuál es el efecto de estas interacciones en las propiedades de las soluciones que permiten, por ejemplo, mantener un pH constante en la sangre, necesario para que ocurran los procesos fisiológicos? Este tipo de problemas los abordamos en



el grupo de Química-Física Teórica de la Universidad de Antioquia, desde la perspectiva de la microsolvatación, es decir, desde el estudio de sistemas constituidos por unas cuantas moléculas de soluto y solvente.

Microsolvatación es un término general, aplicable a cualquier tipo de sistema que contenga más de un tipo de componentes. Celebrando el Año Internacional de la Tabla Periódica, describimos aquí algunos de los más recientes resultados de investigaciones relacionadas con la microsolvatación acuosa de cationes de metales alcalinos (grupo I) y alcalinotérreos (grupo II). Los átomos y moléculas son, por lo general, eléctricamente neutros; los cationes, por el contrario, son sistemas con exceso de carga positiva. En nuestro contexto, un catión monovalente es un átomo que ha perdido un electrón —carga negativa—, un catión divalente es un átomo que ha perdido dos electrones, y así sucesivamente.

Nuestros sujetos de estudio pueden describirse de manera general por la fórmula $[X(H_2O)_n]^{q+}$, donde X es el catión microsolvatado con n moléculas de agua y una carga positiva total q+. Los métodos son proporcionados por la química teórica y computacional, específicamente, aplicación de la mecánica cuántica al problema de la estructura electrónica molecular. (Una nota para quienes llevan el muy saludable escepticismo científico al extremo cuando de soluciones computacionales se trata: los Boeing 777 son una familia de aviones con excelente reputación de seguridad. Sucede que cada B777 está constituido por más de 3 millones de

Microsolvatación es un término general, aplicable a cualquier tipo de sistema que contenga más de un tipo de componentes.

La capacidad de la tabla periódica de los elementos para predecir y explicar observaciones experimentales no cesa de asombrarnos.

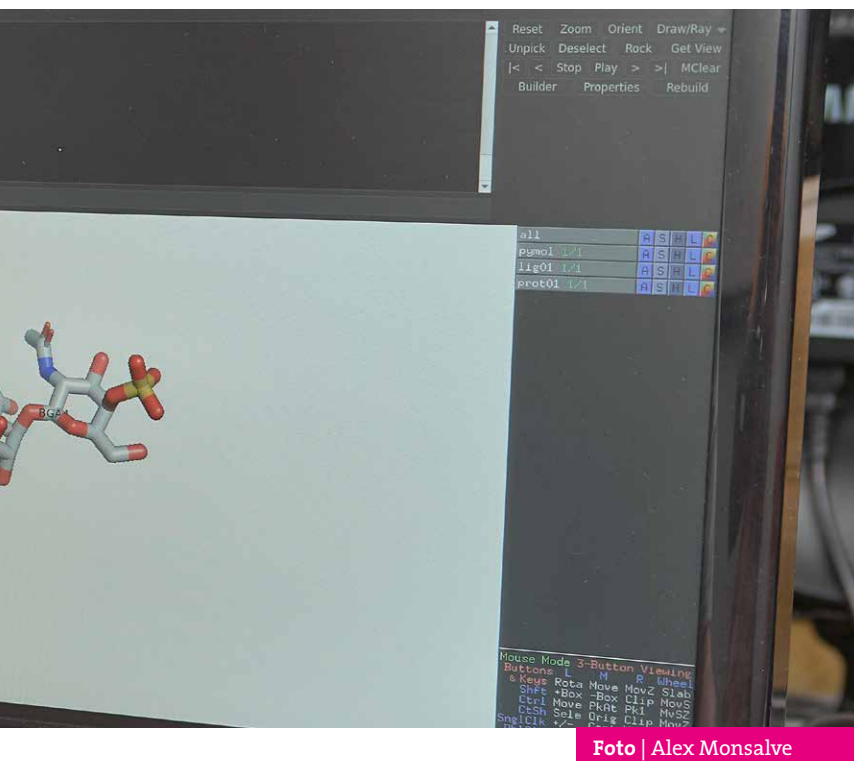


Foto | Alex Monsalve

partes, completamente diseñadas en computadores. Así que, si no confía en el trabajo computacional, no debería volar en ellos).

Los sistemas moleculares cargados son altamente inestables, al punto que, para átomos y moléculas pequeñas, solo aquellos monovalentes pueden ser observados aislados; los multivalentes necesitan de un medio que ayude a estabilizar el exceso de carga. En nuestro caso, las moléculas del solvente sirven a ese propósito. El mecanismo de estabilización es una redistribución de carga: el exceso de carga positiva se deslocaliza, redistribuyéndose hacia regiones en las moléculas de agua circundantes que tienen exceso local de carga negativa —los famosos pares libres en los átomos de oxígeno—, produciendo una interacción estabilizante. Toda historia tiene por lo menos dos interpretaciones: una explicación perfectamente equivalente, quizás más intuitiva, es que la interacción estabilizante es el resultado de la redistribución de carga negativa desde los pares libres en los átomos de oxígeno hacia el centro nuclear, que tiene exceso de carga positiva.

La tabla periódica permite establecer grupos de elementos con propiedades comunes. En nuestro caso, los elementos del grupo I existen frecuentemente como cationes monovalentes, mientras que los elementos del grupo II forman cationes divalentes. La capacidad de perder uno o dos electrones aumenta a medida que bajamos en el grupo I o II respectivamente. La carga

efectiva es la carga positiva que resulta luego de la pérdida de electrones, y se encuentra «apantallada» hacia el exterior del catión por los electrones que aún permanecen. De esta manera, en el Li^+ , por ejemplo, la carga que se siente en el exterior del catión es mayor que la que se siente en el Fr^+ . Como consecuencia, la carga efectiva disminuye en el grupo I para los cationes monovalentes y en el grupo II para los cationes divalentes a medida que bajamos en el grupo. La evidencia muestra que esta tendencia se cumple en el caso de la microsolvatación de cationes: (i) las energías de unión con el agua disminuyen al bajar en los grupos independientemente del número de moléculas de agua; (ii) las distancias de enlace $\text{X} \leftrightarrow \text{agua}$ y $\text{agua} \leftrightarrow \text{agua}$ disminuyen al bajar en los grupos (iii) la carga efectiva es tan fuerte para el Mg^{2+} , el catión divalente con menos electrones “apantallando” el núcleo, que induce disociación de las moléculas de agua cercanas.

La capacidad de la tabla periódica de los elementos para predecir y explicar observaciones experimentales no cesa de asombrarnos. Nada mal para un modelo de arreglo periódico de los elementos que fue propuesto por Mendeléyev en 1869 —no deberíamos olvidar propuestas similares, aunque no tan exitosas, como la de John Newlands en 1863—, en una época en que la mecánica cuántica no había sido postulada y en que la mecánica clásica era suficiente para explicar la evidencia experimental. La tabla periódica ha sobrevivido como herramienta útil hasta nuestro presente de la era espacial, de los computadores y de la conectividad, productos todos ellos de nuestro conocimiento de la naturaleza, que ha transformado este planeta y nuestras vidas en formas que, para aquellos que vivieron tan solo una o dos generaciones atrás, rayan con la ficción. ✖

MENOS «OJO» Y PRECISIÓN EN LA DESINFECCIÓN

La concentración de un desinfectante industrial se mide con tirillas que toman un color que debe ser evaluado por el ojo humano, con todas las desventajas de la subjetividad. Un dispositivo creado por estudiantes permite una evaluación precisa y objetiva y simplifica el proceso.

Miguel Ángel Valencia Orozco

miguel.valenciao@udea.edu.co

Juan Pablo Marín Jiménez

juan.marin33@udea.edu.co

Estudiantes de Ingeniería Agroindustrial, Seccional Oriente.
Semillero de Investigación en Desarrollo Agroindustrial
Universidad de Antioquia.

MAYOR

En toda casa, oficina o local se utilizan de vez en cuando soluciones desinfectantes como el hipoclorito de sodio —el famoso Límpido, una marca comercial—. Pero todos sabemos que este compuesto puede ser tóxico, por lo que importa usarlo en la concentración adecuada.

En las industrias en las que se manipulan alimentos

es obligatorio llevar a cabo y registrar procedimientos de desinfección con altos estándares, para lo cual se emplean diferentes agentes químicos, entre los que es común encontrar los mencionados agentes clorados.

Por ejemplo, las enfermedades de transmisión por alimentos se dan por la ingestión de alimentos o aguas contaminadas con agentes infecciosos tales como bacterias, virus, hongos o parásitos, que en la zona intestinal pueden multiplicarse, producir toxinas o invadir la pared intestinal y desde allí alcanzar otros aparatos o sistemas.

Pero, por otro lado, si la concentración de un desinfectante como el cloro es mayor que la indicada y el alimento queda impregnado de este, puede generar quemaduras, inflamaciones, lesiones pulmonares, necrosis, daño a vasos sanguíneos y hasta mutaciones en células y genes.

Así, los procesos de desinfección son los puntos más críticos en las industrias alimentarias, y existen tres escenarios:

Que la concentración del agente desinfectante sea la adecuada, asegurando así una correcta desinfección.

El color debe ser interpretado por una persona, lo que implica el primer problema: la subjetividad a la hora de determinar la equivalencia entre el color marcado por la fracción de papel y la concentración de la solución.

Nuestro desarrollo no solo permite lograr una medida que no depende de cada persona, sino que además genera un dato que se puede registrar y no se deteriora como el color de las tirillas.

Que la concentración del agente desinfectante sea menor que la adecuada, lo que implica una desinfección incorrecta.

Que la concentración del agente desinfectante sea mayor que la adecuada, contaminando el producto y generando un riesgo de intoxicación en el consumidor.

Por todo esto, en dichos procesos es muy importante conocer la concentración de cloro y otros elementos en las soluciones desinfectantes. Para ello, generalmente se utilizan kits de papeles reactivos que según la concentración del agente toman determinado color y así se puede saber qué concentración de elementos hay en la sustancia. Pero este color debe ser interpretado por una persona, y ahí es donde está el primer problema: la subjetividad a la hora de determinar la equivalencia entre el color marcado por la fracción de papel y la concentración de la solución según un estándar dado.

La subjetividad se debe a que los conos presentes en el ojo humano responden a diferentes estímulos y varían entre personas. La retina tiene tres tipos de receptores del color: rojo, verde y azul. Varias investigaciones muestran que los hombres y las mujeres difieren en la mezcla de colores percibidos, ya que los conos del promedio de las mujeres son estimulados con mayor facilidad que los de los hombres, lo que les permite apreciar una mayor cantidad de colores.

Debido a estos factores, a la hora de realizar una medición de la concentración exacta de cloro libre —el cloro que se encuentra disponible para desinfectar— presente en una solución usando tirillas puede haber diferencias si la realizó un hombre o una mujer, o incluso entre personas que tengan mayor sensibilidad a los colores, como pasa con los diseñadores gráficos entrenados para ello.

Este tipo de tirillas presentan otro inconveniente, y es que tras ser guardadas como registro de la concentración de cloro libre se degradan con el tiempo, lo que genera imprecisiones al momento de mostrar o validar la información.

Por eso, para la industria es sumamente importante evitar esa subjetividad y tener una medida precisa de la concentración de agentes como el cloro, que además se pueda registrar sin importar el paso del tiempo.

Una solución se aportó desde el Semillero de Investigación en Desarrollo Agroindustrial (SE-IDEA), de la Seccional Oriente, con el apoyo del Tecnoparque SENA. Allí desarrollamos un dispositivo que indica con un número único la concentración de cloro libre a partir de la tirilla del Kit Hydrion Chlorine®, un kit de medición de cloro, eliminando la subjetividad en el proceso.

El dispositivo, que mide 16 x 18 x 7 cm, tiene un *hardware* Arduino® UNO, que se encarga del sistema de control del equipo. Una cámara Raspberry® Pi registra el color de la tirilla, y envía los datos a la *board* Raspberry® Pi 3 modelo B, en la que un modelo matemático desarrollado en el semillero analiza la información suministrada por la cámara y determina así la concentración de cloro libre según el color de la tirilla. Esta concentración se expresa en un número claro y preciso que se refleja en una pequeña pantalla LCD, en la que además se pueden ver algunas variables de control del equipo.

Nuestro desarrollo no solo permite lograr una medida que no depende de cada persona, sino que además genera un dato que se puede registrar y no se deteriora como el color de las tirillas. De este modo se simplifica y corrige la labor de las industrias y se pueden evitar malas lecturas o registros incompletos, que pondrían en riesgo la salud de los consumidores. ✕

Agradecimientos:

Daniel Mauricio Pineda y Óscar David Acevedo, gestores Tecnoparque SENA.

Liliana María Úsuga, docente Universidad Nacional y Universidad de Antioquia.

1 Display LCD

2 Acceso al Arduino

3 Acceso a la *board* y a la cámara Raspberry Pi

4 Portamuestras



Estructura del dispositivo para una lectura objetiva de las tirillas de cloro, diseñado y construido en el Semillero de Investigación en Desarrollo Agroindustrial de la Universidad de Antioquia, Seccional Oriente.
Foto | Semillero SE-IDEA.

Transformación limpia de biomasa

Desarrollar procedimientos para obtener materiales de valor a partir de biomasa y de forma amigable con el ambiente, es una excelente iniciación al trabajo científico en el Semillero de Catálisis Ambiental.

Laura Tabares y José Bolemos

Estudiantes de Ingeniería Química.

Integrantes del semillero del Grupo de Investigación Catálisis Ambiental, Universidad de Antioquia.

Julián Sánchez Velandia

Químico, estudiante del doctorado en Ciencias Químicas. Integrante del Grupo de Investigación Catálisis Ambiental. Universidad de Antioquia.

Aída Luz Villa

Docente de la Facultad de Ingeniería. Coordinadora del Grupo Catálisis Ambiental.

Universidad de Antioquia.

aida.villa@udea.edu.co





Muchos productos que usamos en nuestros hogares, empresas e instituciones utilizan aceites esenciales, desde el desinfectante de pino hasta los aromatizantes con olor a canela. Estos aceites se obtienen normalmente del material vegetal que conforma la biomasa y que en ocasiones se considera como desecho. Los aceites esenciales contienen compuestos que pueden ser transformados para obtener otros de valor para diferentes industrias como la farmacéutica, de aromas y sabores. Estas transformaciones se pueden mejorar usando técnicas catalíticas, que consisten en acelerar y optimizar las reacciones químicas que permiten generar las sustancias de interés. Es precisamente esta exploración la que se realiza en el Grupo de Investigación Catálisis Ambiental de la Universidad de Antioquia y en su semillero, en el que los estudiantes de pregrado de Ingeniería Química y Química que desean acercarse al mundo de la ciencia son invitados a apoyar proyectos que se desarrollan en el grupo. Allí conocen las etapas de una investigación y cuentan con la orientación de docentes y estudiantes de posgrado del grupo.

Uno de esos proyectos se enmarcó en la línea de investigación Valorización de aceites esenciales, que busca transformar desechos agrícolas en compuestos que puedan ser usados en diferentes industrias.

Los aceites esenciales que se obtienen de diferentes partes de las plantas, y que tienen olores característicos, son empleados generalmente como solventes y están constituidos por unos compuestos orgánicos denominados terpenos. Por ejemplo, de las cáscaras de cítricos como la naranja se obtiene un aceite que está compuesto principalmente por limoneno, y del aceite de trementina, que se extrae de pinos y como subproducto de la industria del papel, se obtienen los pinenos.

Si se extraen los aceites de los desechos agroindustriales y luego son transformados mediante reacciones químicas, se aprovecharían residuos, que normalmente son considerados como «basura», para su uso como materia prima en la industria farmacéutica, de alimentos y aromas. El objetivo del grupo de investigación es que, mediante el uso de materiales sólidos catalizadores, los terpenos sean transformados en otros compuestos de mayor valor comercial, a bajas temperaturas, en forma rápida y segura, mediante procedimientos que no generen desechos y con la posibilidad de recuperar y reutilizar el catalizador sólido.

En el proyecto se partió de una forma oxidada de uno de los compuestos del aceite de trementina, denominado epóxido de α -pineno, que se obtiene del α -pineno por reacción con una fuente de oxígeno. El epóxido es poco estable y por ello puede ser transformado en otras sustancias. Por ejemplo, del epóxido del α -pineno es posible obtener, bajo las condiciones adecuadas, una sustancia llamada aldehído canfolénico, que tiene amplias aplicaciones en la industria de los aromas. Por ello, es importante encontrar una metodología que sea amigable con el ambiente, es decir, que genere la menor cantidad posible de contaminantes y que requiera costos energéticos bajos, al tiempo que permita una transformación selectiva al producto de interés, pues sería útil para su aplicación a escalas mayores..



Foto | Pxhere.

En la investigación del Semillero se probaron materiales sólidos preparados en el laboratorio y compuestos principalmente por silicio y oxígeno en arreglos hexagonales. Se generó un material denominado MCM-41, que fue utilizado para soportar pequeñas cantidades de hierro —Fe— y cobre —Cu—. El sólido obtenido, que se denominó Fe-Cu/MCM-41 —por la conjunción de estos elementos con el material—, fue puesto en contacto con diferentes cantidades del mencionado epóxido de pineno, en

condiciones controladas de temperatura.

Las muestras extraídas cada tanto se analizaron en un equipo denominado cromatógrafo de gases, que permite hacerle seguimiento a la transformación del terpeno y cuantificar dos variables: la conversión — cuánto reaccionó respecto a la cantidad con la que se inició— y la se-

Los semilleros de investigación que se ofrecen en la Universidad de Antioquia son una gran oportunidad para los estudiantes que desean acercarse al mundo de la ciencia.

Es importante encontrar una metodología que sea amigable con el ambiente, es decir, que genere la menor cantidad posible de contaminantes y que requiera costos energéticos bajos.

De las cáscaras de cítricos como la naranja se obtiene un aceite que está compuesto principalmente por limoneno, y del aceite de trementina, que se extrae de pinos y como subproducto de la industria del papel, se obtienen los pinenos.

lectividad —cuánto se obtuvo de aldehído canfolénico respecto a todos los productos en los que se transformó el reactivo—.

Del análisis estadístico se identificó el efecto de los factores —cantidad de catalizador, temperatura, tiempo de reacción y tipo de solvente— en las respuestas deseadas, que para la presente investigación corresponden a la conversión del sustrato y la selectividad al aldehído canfolénico. Se observó que la conversión aumenta al disminuir la cantidad de catalizador y la temperatura; adicionalmente, se encontró que los factores que afectan la conversión son la cantidad de catalizador, la temperatura y el tipo de solvente, mientras que la temperatura afecta la selectividad.

La investigación con el sistema catalítico Fe-Cu/MCM-41 permiti-

tió establecer los factores más significativos que afectan de manera positiva la conversión del epóxido del α -pineno y la selectividad. Así, el uso de esta alternativa catalítica en el semillero del Grupo Catálisis Ambiental les permitió a los estudiantes conocer metodologías para llevar a cabo investigaciones y aplicar conocimientos adquiridos durante su pregrado de Ingeniería Química, para el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la obtención de productos de alto valor agregado. La investigación del semillero aporta soluciones para que estos interesantes compuestos puedan extraerse de biomasa que, de otra manera, sería desechada, reduciendo el impacto ambiental y apoyando las industrias nacionales. ✕

Glosario

Catalizador: sustancia que, en pequeña cantidad, incrementa la velocidad de una reacción química y se recupera sin cambios esenciales al final de la reacción, es decir, un catalizador modifica la velocidad de reacción química.

Coefficiente de correlación: factor de ajuste que indica una relación matemática entre una respuesta y sus variables independientes de estudio.

Conversión: cantidad de reactivo que es transformado respecto a su cantidad inicial.

Cromatógrafo de gases: equipo que permite el análisis (identificación y cuantificación) de sustancias dependiendo de la polaridad y del punto de ebullición de estas.

Factor solvatocrómico: parámetro que permite relacionar interacciones soluto-solvente en solución.

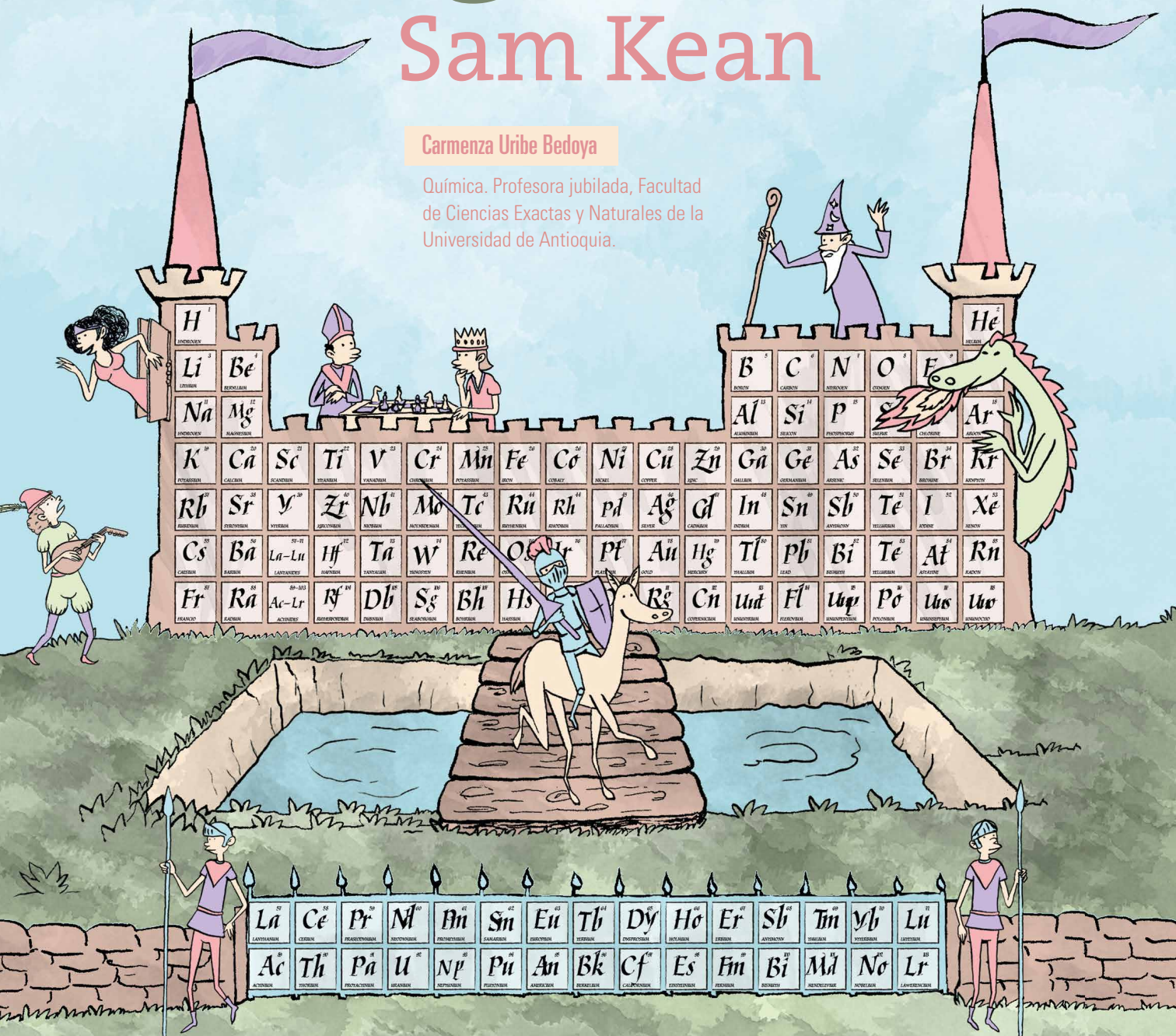
Selectividad: cantidad de un producto respecto al total de productos de la reacción.

La Cuchara Menguante

Sam Kean

Carmenza Uribe Bedoya

Química. Profesora jubilada, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia.



Siempre la recordaremos colgada en las paredes del salón de clase, compartiendo escenario con mapas o atlas de anatomía y no olvidaremos la mezcla de fascinación e incapacidad que nos inspiraba, ni el tiempo que pasó entre el momento en que nos la presentaron y el día en que pudimos usarla correctamente. La tabla periódica es un catálogo de todos los tipos de materia del universo. Su valor radica en presentar información de manera ordenada y resumida sobre cada uno de los elementos químicos conocidos, en una de las mejores exhibiciones de la capacidad de síntesis que ha tenido la ciencia.

Quizá lo más adecuado para iniciar el estudio de la tabla periódica sería vaciarla de toda información y empezar por describir su estructura: una especie de castillo con muros desiguales,

como si los albañiles no hubieran terminado su tarea, pero con dos torres altas de defensa en sus extremos. Son dieciocho columnas irregulares y siete filas horizontales, además de un par de filas adicionales separadas de la base. Pero no siempre fue así; la primera versión de la tabla solo tenía 62 elementos, ordenados de otra forma.

El castillo está hecho de ladrillos, con la particularidad de que no hay dos bloques iguales y que cada uno de ellos ocupa un lugar específico. Hoy se sabe que si uno solo de los ladrillos dejara de estar donde está, todo el castillo se derrumbaría.

Analogías de este tipo abundan en *La cuchara menguante*, un ameno libro del escritor estadounidense Sam Kean, cuyo estilo de divulgar la ciencia le ha valido múltiples reconocimientos, lo que indica que se puede hacer divulgación científica equilibrando lo técnico, convenientemente explicado, con lo anecdótico que tanto atrae a cualquier lector. El título del libro se refiere al galio, elemento metálico que se funde a 29.7 °C, lo que permite que los químicos hagan bromas a sus amigos fabricando cucharitas de galio e invitándolos a tomar un café caliente, para disfrutar la expresión de asombro cuando esta se derrite.

Una de las primeras versiones de la tabla periódica es atribuida a un siberiano huraño, el menor de una familia de 17 hijos, huérfano de padre, pero con una

La tabla periódica es un catálogo de todos los tipos de materia del universo. Su valor radica en presentar información de manera ordenada y resumida sobre cada uno de los elementos químicos conocidos, en una de las mejores exhibiciones de la capacidad de síntesis de la ciencia.

Podría enseñarse tabla periódica a los adolescentes mediante analogías, y el libro de Sam Kean presenta un buen conjunto de ellas.

Al terminar el libro queda claro que la tabla periódica encarna no solo los logros sino las frustraciones en todos los campos de la empresa humana y que su historia es científica pero también, y no en menor medida, social.

madre visionaria que viajó con él por miles de kilómetros para conseguirle universidad: Dmitri Ivánovich Mendeléyev (Tobolsk, 1834-San Petersburgo, 1907). Por su trascendencia, el conjunto de su trabajo se ha comparado con los hallazgos de Darwin o con la teoría de la relatividad de Einstein. Su genialidad consistió en organizar los elementos con base en propiedades periódicas y, muy especialmente, haber dejado casillas vacías con predicciones precisas sobre las propiedades del elemento que las ocuparía. Fue su particular modo de ver el futuro. A medida que se iban identificando más elementos cuya información se ajustaba a las predicciones, la tabla fue consolidándose y, desde Mendeléyev —cuya tabla data de 1869— hasta hoy, ha sido fuente de inspiración para una efervescente actividad científica, en la cual su meta es siempre la misma: dar identidad a cada casilla. Asimismo, se han planteado más de 700 formas diferentes de tabla, no todas planas: algunas circulares, helicoidales, espirales e incluso un novedoso cubo de Rubik cuyas caras están formadas por elementos.

Aparentemente fría y colmada de datos, la tabla periódica es en realidad un lugar donde coexisten diversos relatos. Está la información básica y propiedades de cada elemento, la posibilidad de interacción entre ellos y la probabilidad de formación de moléculas, la historia de los científicos —algunos realmente locos— que dedicaron la vida y hasta la perdieron en su descubrimiento, además de los relatos sobre las incontables



Portada del libro *La Cuchara menguante*, de Sam Kean. 2010.

manifestaciones de la presencia de los elementos en la vida diaria. Sam Kean hace un recorrido histórico por los hechos, anécdotas, personajes, accidentes y aventuras que llevaron al conocimiento plasmado en la tabla periódica actual de 118 elementos —el último fue registrado en 2016¹—, en un texto seductor con dosis de buen humor, que se mueve entre la divulgación científica y la historia de la humanidad y que presenta la tabla como un verdadero ícono del lenguaje universal de la ciencia.

Podría enseñarse tabla periódica a los adolescentes mediante analogías, y el libro de Sam Kean presenta un buen conjunto de ellas. La tabla es un gran mapa lleno de actores en conflicto, cuya ubicación geográfica les aporta una personalidad distintiva. En el extremo oriente están los aristócratas gases nobles; una zona desmilitarizada, pero con unos vecinos problemáticos y belicosos, los halógenos. En el lejano oeste están los generosos metales alcalinos.

En el medio, las llanuras donde habitan los metales de transición. Hay un pasillo de venenos. El oxígeno es agresivo, el antimonio es símbolo de lo femenino, el carbono es promiscuo, aunque gracias a esto, existen los compuestos de la vida. Los radiactivos nos matan, pero otros nos salvan la vida. Algunos son inútiles, como el polonio que se desintegra tan de prisa que es una metáfora burlesca de la propia Polonia. Los preciosos oro y plata han despertado ambiciones y conflictos. Algunos engañan al organismo, otros han influido en la política y algunos más, en las guerras. Los hay que moldean nuestro carácter y otros que inspiran a los artistas.

Pero lo mejor de *La cuchara menguante* es la serie de anécdotas y curiosidades, porque

¹ En el 2010, año de publicación del libro de Sam Kean, la tabla periódica tenía 112 elementos.

detrás de cada elemento hay una narración divertida, insólita o fascinante. Por ejemplo, los nombres. En una mina de Ytterby, pequeña población de Suecia, se descubrieron siete elementos que llevan nombres relativos a dicho lugar y país: iterbio, itrio, terbio, erbio, gadolinio, holmio y tulio. El californio y el berkelio aluden a la Universidad de California en Berkeley, donde fueron obtenidos. Solo dos se asignaron a científicos vivos: seaborgio y oganesón, mientras otros hacen honor a fallecidos: mendelevio, curio o einstenio. Algunos se refieren a países o regiones: europio, escandio o francio. Otros se relacionan con planetas: neptunio, uranio o plutonio, y los hay cuyo origen son divinidades: titanio, iridio o torio. El selenio se refiere a la luna y el helio al sol.

A través de la lectura de *La cuchara menguante* se sabe, por ejemplo, cuál es el gas que se comporta como «asesino amable»: pasa por delante de los sistemas de seguridad del cuerpo con un saludo familiar. El metal solitario que suele encontrarse sin acompañantes en las minas, y el que siempre aparece mezclado. El mejor espermicida jamás concebido. El metal que hipnotiza a las células sanguíneas y no desencadena ninguna reacción inmune, o sea que engaña al cuerpo «por su propio bien». El elemento dulce que mató a Enrico Fermi. El metal que se considera el de los envenenadores. Un elemento que mató a *madame* Curie y otro que mató a su hija Irene. Los que sirvieron para fijar la fecha de nacimiento del planeta Tierra. El lantánido que es la pesadilla de los falsificadores de euros. El elemento más efímero y frágil de todos, y el metal de la vida media de 20 trillones de años. El que se considera el metal por excelencia de las guerras mundiales y el gas que hizo parte de una sustancia sintetizada para ayudar a Alemania a ganar la Segunda Guerra Mundial —y aún así, la perdió—. El pequeño y efectivo elemento que se administra como droga siquiátrica. El que enloqueció al Sombrero de Alicia y los que embellecen las pinturas al óleo. Los 92 que se encuentran en la naturaleza y los 26 que se han obtenido en laboratorios. Los seis que constituyen más del 99 % de nuestros organismos y las decenas de otros elementos que están en trazas pero que son indispensables para la vida, y muchas más curiosidades que vale la pena conocer.

Al terminar el libro queda claro que la tabla periódica encarna no solo los logros sino las frustraciones en todos los campos de la empresa humana y que su historia es científica pero también, y no en menor medida, social. Es la historia de nuestra especie escrita en un texto conciso y elegante. En resumen, *La cuchara menguante* es un libro que gustará a cualquier persona cercana o no a la ciencia, porque tal como afirma Sam Kean:

«Comemos y respiramos la tabla periódica; la gente apuesta por ella grandes sumas, y pierde grandes cantidades de dinero; a otras personas las envenena; e incluso provoca guerras. Entre el hidrógeno de su extremo superior izquierdo y las imposibilidades sintetizadas por el hombre que acechan desde los bajos fondos, encontramos burbujas, bombas, dinero, alquimia, mala política, historia, veneno, crimen y amor. Y si me apuran, hasta ciencia»

La cuchara menguante (y otros relatos veraces de locura, amor, y la historia del mundo a partir de la tabla periódica de los elementos). Sam Kean. 423 p. Ed. Planeta, Barcelona. © 2010. X

UNA CUESTIÓN ELEMENTAL EN LA VIDA DE JUAN

Mario Víctor Vázquez Ceballos

Químico, doctor en Ciencias Químicas.
Profesor y divulgador científico del Instituto de Química,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad de Antioquia.





quella mañana Juan despertó de mal genio producto del poco descanso la noche anterior. Mala digestión e inoportunos y sonoros vecinos no le habían permitido conciliar el sueño deseado. Con esa actitud enfrentada con la humanidad toda, se dispuso a desayunar leyendo en su tableta las principales noticias que circulaban por la red. Algo le llamó la atención en las secciones de ciencia. Se mencionaban varias distinciones a renombrados científicos por logros que prometían «cambiar el curso de la humanidad» y «modificar el mundo tal como lo conocemos», entre otros elogios exagerados. Sin embargo hubo una pequeña noticia que atrapó su atención mientras el resto del café se enfriaba: la decisión de las Naciones Unidas de nombrar al año 2019 como el de la tabla periódica, en honor a un científico ruso al que siempre mostraban con una larga barba blanca, como si nunca hubiera sido joven. —¿Qué te tiene preocupado, Juan?

Al escuchar la voz de don José, el vecino esmerado en cuidar su jardín, se dio cuenta que por estar enfrascado en sus pensamientos no solo había dejado enfriar el café y el jugo sin beber, sino que había abierto la puerta de la casa —gesto que su gato agradeció—, todo sin darse cuenta.

Le contó a su vecino el motivo de sus pensamientos en aquel día de mal despertar.

Estaba leyendo sobre distinciones y homenajes relacionados con ciencia, pero esto me parece el colmo.

Expresó entonces su disconformidad por darle tanta importancia a alguien que «solamente había inventado una tablita», es decir, alguien que solo había acomodado unos símbolos en un papel. Era como homenajear a quien se le ocurrió unir puntos en una recta, dibujar un círculo, entre otras delirantes analogías.

Haber organizado los elementos teniendo en cuenta su número atómico, es decir, con la cantidad de protones que tenía cada uno de ellos, fue algo genial.

—Obviamente estás exagerando y no conoces la importancia *de esa tablita* —contestó don José, mientras suspendía su labor para pasar a cultivar ahora la cabeza de su peculiar vecino.

Apelando a la vieja táctica de enseñar mediante la demostración, invitó a Juan para que lo acompañara a un pequeño lote cercano, del que solían provenir las flores que se veían coloridas en su jardín. Era una pequeña extensión de tierra, donde había construido unos viveros fácilmente identificados por el plástico transparente que los cubría. Pero no solo en su interior crecían pequeñas plántulas, también se observaban grupos de densa vegetación en la que una mezcla de especies crecía de manera aparentemente natural. Completaban el paisaje una serie de árboles que aportaban zonas de sombra y un pequeño curso de agua a un lado.

La visión de aquel lugar provocó un cambio de ánimo en Juan, quien a esta altura ya casi había olvidado el motivo de la visita.

—Mira Juan, observa con detenimiento y dime qué ves.

—Veo un lugar hermoso.

—No lo calificques, aunque te lo agradezco; dime literalmente qué ves— insistió el buen vecino.

—Veo mucha vegetación, muchas plantas, árboles, flores, el agua correr, los pájaros...

—Quedémonos con las plantas. —sugirió don José mientras invitaba a Juan a sentarse sobre una gran piedra—. Como ves, cada una de ellas crece bajo una determinada condición, algunas requieren bastante luz, otras prefieren la sombra; algunas crecen mejor en aquella zona húmeda, otras debo regarlas de vez en cuando porque un exceso de agua las daña. Imagina ahora que te pidiera que las acomodaras, de manera imaginaria, para que queden organizadas en toda la superficie de este lote.

— ¿A todas ellas? —preguntó Juan.

—A todas, siguiendo el criterio que creas mejor.

—Luego de pensarlo un momento, Juan propuso que se podrían ubicar de acuerdo a la preferencia de luz—. Podría ser, pero también las podrías ordenar con relación a la necesidad de riego, ¿verdad?

—Sí.

— O podría ser de acuerdo a la altura en la que se cultiven, aunque ese parámetro en este lote no sea importante; o de acuerdo al color de las flores en un extremo las rojas y en el otro las azules. En otras palabras,

tendríamos muchas maneras de organizarlas.

—Juan asintió cómodo por el paisaje, aun sin entender aún qué tenía que ver todo esto con su protesta matutina—. Algo así fue el trabajo de Mendeléyev, el científico de barba blanca.

— ¿Organizó plantas? —preguntó Juan, intentando ser gracioso.

Don José ignoró el comentario

— En su momento él intentó organizar, de acuerdo a sus propiedades, todos los elementos conocidos para 1869.

—¿Los elementos, esos...?

—Sí, «esos», de lo que está hecho todo lo que nos rodea, incluso de lo que estamos hechos nosotros. Un puñado de elementos que combinados puedan terminar dando forma a «esto» —dijo don José de forma divertida mientras lo señalaba, aunque Juan no pareció entender la broma—. Te decía que, al igual que estas



plantas, los elementos se podrían agrupar de acuerdo a propiedades comunes. Eso no era tan complicado, era como poner a todas las plantas de sol juntas y a las que necesitan el agua juntas; el desafío era encontrar la manera de organizar a todas las plantas, es decir, a todos los elementos.

—Me perdí.

—Mira, siguiendo con el ejercicio, imagina que pudieras tomar todas estas plantas y organizarlas de una manera que el color fuera variando de una en una siguiendo el orden que aparece en el arco iris.

—Bueno, se podrían organizar, pero no quedarían tan lindas como se ve en el arco iris.

—Claro, porque seguramente faltarían algunas plantas y algunos colores para cubrir todo el espectro. Imagina que Mendeléyev encuentra la manera de organizar todo esto, y no solo lo hace teniendo en cuenta el color, sino que a su vez, quedan agrupadas las plantas de acuerdo a la necesidad de agua, de luz, altitud del terreno y muchas propiedades más.

—Sin usar ninguna aplicación, ningún *software*.

—Nada, usando solo su cabeza. Haber organizado los elementos teniendo en cuenta su número atómico, es decir, con la cantidad de protones que tenía cada uno de ellos, fue algo genial. Como si descubrieras la manera de organizar todas las plantas de acuerdo a las propiedades de las mismas y que ellas cambien de manera periódica en alguna dirección que las observes, de izquierda a derecha, de adelante hacia atrás, etc.

—Algo genial, sin duda.

—Pero eso no es lo que más recordamos de este científico ruso, sino la actitud que tomó al observar que esa manera de organizar los elementos conducía a huecos, es decir, lo que decíamos recién de esas flores que nos faltarían para cubrir el espectro del arco iris.

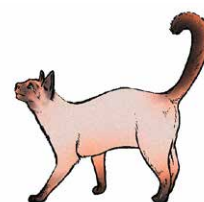
—¿Cuál fue el argumento que usó Don Mende?

—Mendeléyev —resaltó Don José—. Estaba tan convencido de su propuesta que dijo que los sitios que quedaban vacíos en su tabla de propiedades co-

rrespondían a elementos que aún no habían sido descubiertos.

— Los colores que faltaban para el arco iris... algo genial sin duda —dijo Juan comprendiendo el trabajo de Dimitri Mendeléyev.

— Digamos que es algo... “elemental mi querido Juan” —concluyó don José, antes de comenzar a toser por la gracia que le causó su propio comentario. Pero quedó satisfecho al ver que Juan, por fin, entendía la magnitud de la obra de ese señor de barba blanca de hace 150 años. ✕



Mendeléyev estaba tan convencido de su propuesta que dijo que los sitios que quedaban vacíos en su tabla de propiedades correspondían a elementos que aún no habían sido descubiertos.

EL FORMATO DE TABLA PERIÓDICA QUESURGIÓ EN LA UDEA

Desde las paredes del colegio, muchos estamos acostumbrados a ese formato de tabla periódica donde algunos elementos, los lantánidos y los actínidos, quedan desconectados de la serie principal, relegados a un recuadro inferior. Esta configuración nos hacía pensar en el papel de esas tierras raras y hasta verlas como antagonistas en una historia irreal de elementos buenos, malos y radiactivos.

La realidad es que, en el formato completo de la tabla, completada durante décadas luego de ser propuesta por Mendeléyev, estos elementos sí están en el cuerpo principal. Esta es una de las opciones integradas en el formato de tabla periódica diseñado por dos investigadores de la Universidad de Antioquia: Luis Fernando Moreno, de los grupos de investigación Metodología de la Enseñanza de la Química —MEQ— y Química Física Teórica, y Pedronel Araque Marín, del Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares —GIEM—. Elaborada durante meses de estudio y ensayos, la tabla incluye mucha más información que los formatos estándar del mercado.

Como gran aporte al trabajo de laboratorio de muchas áreas y al estudio conceptual de la química y de áreas como la mineralogía, este for-

mato tiene dos caras: por una faz está el Sistema periódico para las sustancias elementales, que exhibe los elementos químicos con sus propiedades; por la otra cara se presentan las sustancias simples —la forma como estos elementos se presentan libres en la naturaleza— y sus respectivas propiedades, un sistema periódico para las sustancias simples.

Para los investigadores, la mayor ventaja de la gran cantidad de información contenida en la tabla es que ha llevado a los profesores de colegios y universidades a reinventar la forma de preguntar. La respuesta a las preguntas tradicionales, como «¿cuál es la valencia del carbono?», se encuentran resueltas en este formato. Por tanto, los docentes se sienten motivados a hacer preguntas más conceptuales, que impliquen análisis y comprensión del sistema periódico. Además, los autores actualizan la tabla cada año con los reportes de la IUPAC —siglas en inglés para la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada—.

La determinación para comenzar este enorme trabajo surgió del compromiso con la enseñanza de la química. A menudo, los autores encontraban en el mercado tablas periódicas con datos imprecisos. Consideraron entonces que una solución podría ser aportar una versión rigurosa, completa y práctica de la tabla, y se pusieron manos a la obra. Luego de diseñar el formato, estuvieron seis meses dedicados a completarla y probarla, hasta publicarla en 2012. Incluso tuvieron que aprender a usar el programa de ilustración Corel para poderla elaborar y sortear mensajes desmotivadores de los propios colegas.

El resultado: después de nueve ediciones y muchos ejemplares vendidos, la tabla es ya apreciada y buscada. «Todavía vemos algunas cositas para mejorar, pues así funciona la ciencia», indica Luis Fernando Moreno Ariza. Pero ahora los correos que llegan al buzón de nuevoformatotp@gmail.com son para solicitar la tabla o averiguar cómo conseguirla. «No solo atendemos los pedidos del formato, también estamos pendientes para brindar asesoría sobre cómo usarla y llevar a los colegios o instituciones que lo requieran, conferencias sobre la tabla periódica», explica el profesor Pedronel Araque Marín.

La tabla es muy útil para todas las personas que en algún momento se relacionen con la química, desde los estudiantes a nivel de colegio y escuelas, hasta universitarios, profesores y profesionales de las áreas afines, como ingenierías, física y biología.

La revista *Experimenta* brinda con la edición 12, dedicada a los elementos de la tabla periódica, una versión gratuita del nuevo formato UdeA. Para adquirir más ejemplares y beneficiar directamente los desarrollos de investigadores universitarios, los interesados pueden escribir a nuevoformatotp@gmail.com.

Para investigadores:

Si usted investiga en la Universidad de Antioquia y quiere divulgar su trabajo, puede postular un artículo a la revista *Experimenta*.

- Buscamos artículos o reportajes gráficos que divulguen el resultado o avance destacado del trabajo de un investigador, un grupo de investigación o una asociación de grupos de la Alma Máter. No es una revista de difusión científica, sino una publicación de ciencia e investigación para un público general.
- Si usted no está afiliado a la UdeA, pero participa en una investigación con alguno de nuestros grupos, también puede presentar un artículo.
- El lenguaje debe ser sencillo y comprensible, dirigido a un público general —especialmente jóvenes—, para contarles los objetivos, el proceso, los hallazgos y los resultados o impactos de su estudio.
- El artículo deberá utilizar recursos que ayuden a las personas a comprender un tema desde su propia vivencia. Use ejemplos y casos que relacionen la investigación con la vida cotidiana.

Si requiere asesoría o mayor información, no dude en contactarnos al correo revistaexperimenta@udea.edu.co. Lo acompañaremos en todas las etapas de la generación del artículo o reportaje, para que su investigación sea conocida y comprendida por muchas personas.

Para lectores:

Si le interesan nuestros temas y quiere recibir la revista en su institución —no importa que no esté afiliado a la UdeA—, regístrese, y se la haremos llegar. Envíenos un correo electrónico a revistaexperimenta@udea.edu.co con:

- Nombre completo.
- Dirección completa en la que desea recibir la revista —institución, domicilio u oficina—.
- Nombre de la institución donde trabaja o estudia.
- Carrera, curso o área del conocimiento a la que pertenece.



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**



EXPERIMENTA



www.udea.edu.co

#UdeACiencia

 @UniversidadDeAntioquia

    @UdeA