

EXPERIMENTA

Revista de divulgación científica de la Universidad de Antioquia

Edición

19



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

Edición 19

Editorial

Portada

Bolsas piramidales de té. Fotografía: José Luis Londoño López.

www.udea.edu.co/experimenta

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

A

ctualmente, la sociedad considera a la Universidad de Antioquia como un modelo especial de institución por el resultado de una combinación de factores que difícilmente se presentan en otras. Gracias al desarrollo de conocimientos en todos los campos de la cultura humana, la Universidad tiene prestigio, amplios márgenes de autonomía, legitimidad y una cultura organizacional, y permanece al día en la evolución del pensamiento científico y social. Es por ello que los resultados de las investigaciones que se llevan a cabo en una universidad como la nuestra siguen aportando a dicha evolución. En esta edición de *Experimenta* se presentan artículos

relacionados con temáticas de interés social, cultural y ambiental, que no solo exhiben tópicos particulares investigados en la Universidad de Antioquia, sino que contribuyen al ensanchamiento del conocimiento en sectores sociales más amplios.

Es poco frecuente que el lector asiduo se preocupe por saber si la edición de un libro que lee conserva la voluntad del autor, sin que nada se haya perdido o modificado en el camino. En el Departamento de Lingüística de la Facultad de Comunicaciones un estudiante de pregrado elaboró un interesante análisis sobre el papel del filólogo cuando hace de editor crítico con el fin de verificar qué tanto se conserva la voluntad de un autor; para ello, usó un texto de Tomás Carrasquilla. En cuanto al tema ambiental, investigadores de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias encontraron que es posible reemplazar el uso de solventes orgánicos convencionales por el de otros de origen natural, extraídos del cactus, la penca sábila, el brócoli o la yema de huevo, cuyo impacto ambiental es menor. En el Instituto de Biología un profesor-investigador encontró una creativa manera de experimentar junto a sus estudiantes con bolsitas de té enterradas en materas y jardines domésticos, mientras todos aprendían sobre el funcionamiento del suelo; esta actividad se denominó «ciencia entre todos». Con el fin de alargar la vida de las estructuras metálicas y protegerlas de la corrosión, investigadores del Instituto de Química desarrollaron recubrimientos poliméricos a base de agua que, además de proteger las superficies metálicas, reducen la contaminación del aire. Investigadores del Grupo CIDEMAT han venido trabajando en el desarrollo de materiales activos para fabricar componentes de baterías de ion-litio de bajo costo, alta densidad energética y alta capacidad de entrega de corriente eléctrica, e incluyen un análisis del impacto ambiental, la seguridad operativa, la portabilidad y la duración. Un investigador del Instituto de Física comparte su artículo sobre la materia oscura, que es una piedra en el zapato de los físicos porque, aunque esta clase de materia constituye una cuarta parte del universo, no solo se desconoce su naturaleza, sino que no se ha encontrado la mejor manera de buscarla. En el ámbito de la salud, investigadores de la Facultad de Medicina exploran la relación entre la inflamación crónica y el síndrome metabólico, y resaltan cómo las nuevas terapias experimentales, desde las intervenciones dietarias hasta la inmunomodulación, están transformando el enfoque en el tratamiento de las enfermedades crónicas. También de la Facultad de Medicina nos informan cómo han estudiado el virus del dengue, el cual, de manera sigilosa pero implacable, debilita las uniones celulares de la capa de nuestros capilares, nuestra autopista roja.

El investigador con quien conversamos en la sección «Vidas para el conocimiento» es el profesor Carlos Alberto Peláez, del Instituto de Química, incansable lector y buen maestro, líder del Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares de dicho Instituto durante más de treinta años. También del Instituto de Química, conocimos la trayectoria del Grupo de Investigación Ciencia de los Materiales, cuyo interés interdisciplinario ha recorrido desde los cauchos y las zeolitas hasta la nanotecnología, los biopolímeros y la búsqueda de materiales inteligentes en tiempos de la inteligencia artificial. Compartimos además la reseña del libro *Los números no mienten*, de Vaclav Smil, un experto en economía y sociología que analiza cómo los números y las estadísticas pueden ser una herramienta poderosa para comprender la realidad, pero también se pueden usar para manipular a las personas. Y finalmente, en el acostumbrado cuento, Juan tiene una interesante experiencia visual que provoca, una vez más, una sugestiva conversación con su vecino don José.

Revista Experimenta

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

John Jairo Arboleda Céspedes
Rector

Claudia Marcela Vélez
Vicerrectora de Investigación

Carmenza Uribe Bedoya
Directora

Laura Ospina Montoya
Editora

Comité editorial

Carmenza Uribe Bedoya
Bernardo Bustamante Cardona
Luz Marina Restrepo Múnera
Sara Cristina Vieira Agudelo
Mario Víctor Vázquez Ceballos
Gloria Valencia Bustamante
Luz Adriana Ruiz Marín

Producción y diseño

Dirección de Comunicaciones
Vicerrectoría de Investigación
Universidad de Antioquia

Corrección de texto

Silvia Vallejo Garzón
Jens Gärtner Gutiérrez

Ilustraciones

Christian Benavidez - Voyager Illustration

Infografías

Felipe Uribe Morales

Fotografía

Cortesía de los grupos de investigación y autores
Alejandra Uribe Fernández
José Luis Londoño López

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.

Universidad de Antioquia

Vicerrectoría de Investigación
Recepción de correspondencia: Calle 70 N.º 52-51
Teléfono (604) 2195190
revistaexperimenta@udea.edu.co
www.udea.edu.co/experimenta
Apartado Aéreo 1226
Medellín, Colombia

2024

Con tendi do

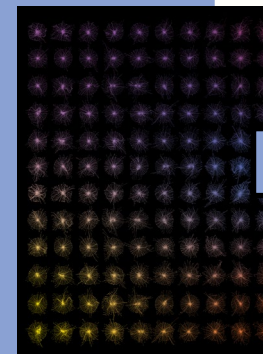
Edición
19

- 7 Bolsitas de aromáticas en el estudio de microcosmos subterráneos
- 14 Los solventes naturales como alternativa a los solventes orgánicos volátiles potencialmente peligrosos
- 21 El arte de preservar: recubrimientos contra la corrosión
- 27 Carlos Alberto Peláez Jaramillo
Las personas son importantes, pero son sus obras las que trascienden
- 36 Autopista roja: disfunción endotelial por dengue
- 44 La inflamación crónica, enemigo silencioso en la obesidad
- 52 La incomodidad cósmica: la materia oscura como la piedra en el zapato de la física
- 59 Diagnosticar, empaquetar y reciclar la energía
- 65 Grupo de Investigación Ciencia de los Materiales | De los polímeros a los materiales inteligentes
- 73 La edición crítica o de cómo los obsesivos hallamos algo que hacer con los textos
- 79 Reseña | Los números no mienten, de Vaclav Smil
- 81 Cuento | Un asunto borroso en la vida de Juan
- 84 El alquimista



27

Carlos Peláez |
Las personas son importantes, pero son sus obras las que trascienden



52

La incomodidad cósmica: la materia oscura como la piedra en el zapato de la física



73

La edición crítica o de cómo los obsesivos hallamos algo que hacer con los textos

Bolsitas de aromáticas

en el estudio de microcosmos subterráneos

Al enterrar una bolsita de aromática se ofrece alimento a hongos, bacterias y organismos invertebrados del suelo. Incluso la bolsita de celulosa que contiene la planta aromática se puede degradar. Al cabo de unos días, la bolsita y su contenido desaparecerán ante los ojos del observador, y su proceso podrá medirse para conocer la salud del suelo.

Juan Felipe Blanco-Libreros

Ph. D. en Biología Poblacional y Ambiental

Grupo de Investigación Procesos Ecosistémicos a la Escala del Paisaje

Universidad de Antioquia

juan.blanco@udea.edu.co

Bolsitas de aromática piramidales usadas para medir el índice de las bolsitas de té. Fotografía: José Luis Londoño Lopez.

La naturaleza subterránea

Un gusano microscópico del suelo llamado nematodo se encuentra un trozo de hoja descompuesta. Lame su superficie y se alimenta de una mezcla fermentada de hongos y bacterias. Ha caído un aguacero y la tierra está húmeda. Sube algunos milímetros en busca de un lugar seco y, de repente, se encuentra en una galería de una gran lombriz de tierra que acaba de pasar. Como una gran excavadora, deja un túnel amplio cuyas paredes se cubren rápidamente de ácaros rojos; son miles, tal vez decenas de miles. Estos se alimentan del moco que deja la lombriz. Ella, como una gran ingeniera, construye un complejo de galerías dentro del suelo, algo así como un gran acueducto por el que corren agua y nutrientes. Las raíces finas de las plantas se elongan hasta encontrar estos oasis. Al morir, las lombrices y las raíces se convierten en el alimento de hongos y bacterias. A su vez, una oruga de cucarrón encuentra en estos cadáveres un platillo nutritivo. Es, en escena, una muestra de la interdependencia de la producción y la descomposición de la materia orgánica. Esto pasa todos los días en el suelo. Bien sea en un bosque, en un cultivo, en un potrero o en una zona verde de la Universidad de Antioquia. Es un mundo complejo y microscópico, un microcosmos, una suerte de universo.

Microcosmos y bolsitas de aromáticas

Los microcosmos no son solamente «pequeños mundos». También son herramientas que los ecólogos han creado para comprender mejor el funcionamiento de la naturaleza. La complejidad de las interacciones biológicas, las reacciones químicas y los procesos físicos que ocurren en el suelo también se pueden observar dentro de una bolsita de té o cualquier planta aromática. Sí, leyó bien. Pero la condición para que ello ocurra es que se entierre la bolsita para que se convierta en un microcosmos. Una bolsita de té verde (*Camellia sinensis*) o de cualquier planta aromática (por ejemplo, la manzanilla o la flor de Jamaica) se compone de una membrana de celulosa y un contenido de materia orgánica vegetal, usualmente pequeños fragmentos de hojas, flores, raíces y cortezas. Dichas estructuras también están presentes en cualquier planta de un bosque o una zona verde, y caen día a día al suelo. Así, entonces, enterrar una bolsita de aromática simplemente significa ofrecer una nueva opción de alimento o recurso que los hongos, bacterias y organismos invertebrados del suelo pueden utilizar. Pero incluso la bolsita de celulosa



En un hoyo de 8 cm de profundidad y de 10 cm por cada lado se entierran las bolsitas de aromáticas debidamente marcadas. Fotografía: Jose Luis Londoño López.

se puede degradar. Por ello, al cabo de unos días, la bolsita y su contenido desaparecerán ante los ojos del observador. Se habrá descompuesto por la acción de la biota y los elementos de la naturaleza.

Hace una década se empezaron a comercializar el té verde y otras infusiones dentro de bolsitas de nailon, y un grupo de investigadores europeos encontró en esta presentación una oportunidad para la experimentación y para comprender el funcionamiento del suelo. Se desarrolló el método de las bolsitas de té o *tea bag index* —TBI—. Como la envoltura no se degradaba, con el pasar del tiempo se podía seguir la descomposición del contenido por acción de los microorganismos. En los primeros experimentos se observó que, si pasaba suficiente tiempo, el contenido desaparecía casi totalmente, y esto era el resultado de la actividad biológica del suelo. Por lo tanto, al retirar las envolturas intactas, pero con su contenido ahora degradado, se obtuvo un registro del funcionamiento complejo del suelo en el cual estuvieron enterradas las bolsitas. Las bolsitas de té verde rápidamente se convirtieron en útiles, observables y medibles microcosmos. Actualmente, este procedimiento con las bolsitas de té es un estándar metodológico utilizado a nivel global en las ciencias

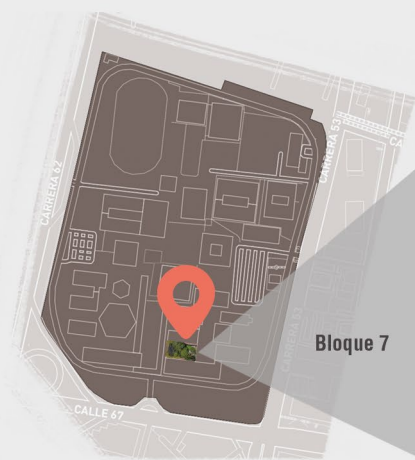
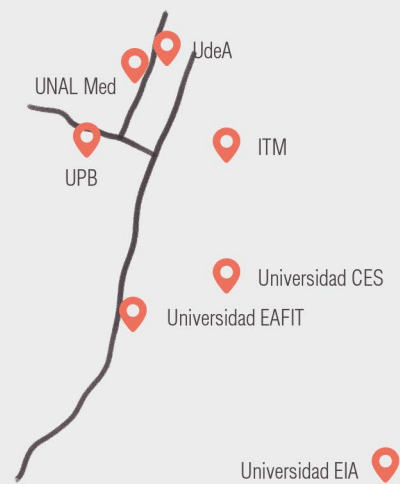
del suelo, una prueba que cualquier investigador puede realizar, teniendo en cuenta que bajo las mismas condiciones se obtendrá el mismo resultado, con lo cual se trata de una prueba diagnóstica.

Una forma de hacer investigación científica: entre todos

Después de algunos ensayos realizados en casa durante la pandemia, entre el 2021 y el 2022, con el retorno progresivo y la nueva normalidad, implementé prácticas formales de docencia con experimentos de campo en las zonas verdes de la Universidad de Antioquia. Estos nuevos experimentos se realizaron con té verde dentro de bolsitas de NeoSoilon® (un biopolímero de bagazo de caña de azúcar con una resistencia similar a la del nailon), aprovechando que una empresa nacional ya había empezado a producir las (Bitaco de Agrícola Himalaya). Durante el 2022 realizamos experimentos de treinta días con los estudiantes del Grupo de Investigación Procesos Ecosistémicos a la Escala del Paisaje de la Universidad para adaptar el componente del té verde del TBI a las condiciones criollas en la formulación de un nuevo estándar. El modelo básico eran quince bolsitas distribuidas en cinco puntos dentro de un cuadro de un metro de lado. Después de repetir varias veces el experimento, entre julio

El experimento de las bolsitas de té

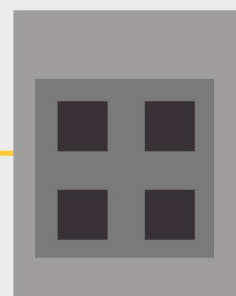
Siete universidades del Valle de Aburrá hicieron un experimento del suelo en sus jardines. Con una **adaptación local** de la metodología del Índice de las bolsitas de té —*Tea Bag Index* en inglés—, este proyecto de ciencia ciudadana logró medir la actividad de descomposición del suelo como un indicador de la salud del ecosistema utilizando bolsitas de té verde de Bitaco.



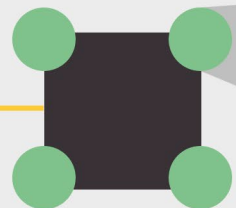
En un jardín del Bloque 7 de la UdeA se realizó uno de los montajes del experimento de las bolsitas de té



Niveles de anidamiento



Nivel de anidamiento 1



Nivel de anidamiento 2



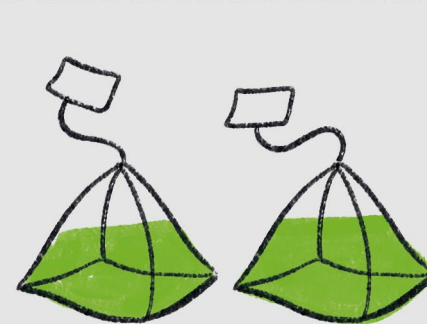
Nivel de anidamiento 3



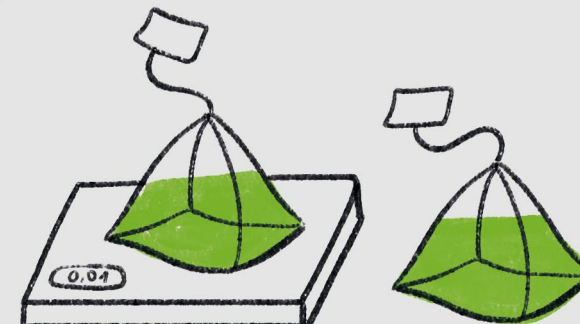
El suelo no es homogéneo. Por eso, para analizarlo, se debe capturar su variabilidad. Dentro de una zona verde, áreas separadas por varios metros y aún dentro de un mismo metro cuadrado puede diferir entre sí. Incluso en dos puntos separados por pocos centímetros se pueden presentar diferencias significativas. A esto se le llama niveles de anidamiento espacial de la variabilidad.

Medir en el microcosmos del suelo propio

El Índice de las bolsitas de té —*Tea Bag Index* en inglés— es una medida de las tasas de descomposición que pueden ser comparadas en todo el mundo para el estudio del suelo con el fin de promover la comprensión de fenómenos como el cambio climático y la deforestación. Dicho índice usa té verde y té rojo (rooibos) de la marca Lipton. Sin embargo, la adaptación propuesta por el investigador Juan Felipe Blanco-Libreros usa té verde de la marca nacional Bitaco.



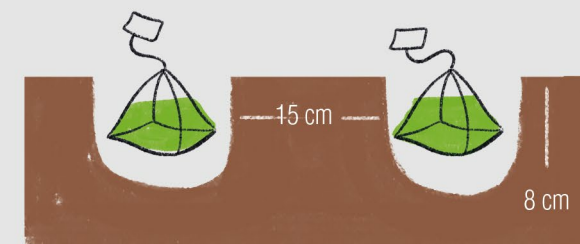
1 Toma bolsitas, sin utilizar, del té verde de la marca nacional Bitaco o té verde y té rojo (rooibos) de Lipton.



2 Pesa cada bolsa de té en una balanza de hasta 3 dígitos.



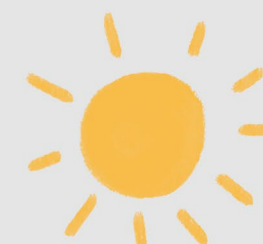
3 Encuentra un lugar adecuado (en el exterior, en tu jardín o huerto) para enterrarlas. Ten en cuenta diversas variables para comparar: unas en un lugar seco y otras en uno más húmedo, etc.



4 Entierra las bolsas en agujeros independientes de 8 cm de profundidad, a una distancia de unos 15 cm entre ellos. Mantén las etiquetas visibles por encima del suelo. Anota la fecha, el grado de sombreado del suelo (1-5, de nulo a completo), el impacto antrópico o grado de alteración (1-5, natural/impacto nulo a totalmente alterado), el tipo de vegetación, etc.



5 Recupera las bolsas de té después de aprox. 30 o 90 días.



6 Retira las partículas adheridas del suelo y seca las bolsas de té por 4 días al sol.



7 Abre la bolsa, saca el té con cuidado de no perder nada.



8 Pesa el té y registra los datos.

Puedes realizar este paso a paso en un lugar de interés y registrar los datos al correo del investigador Juan Felipe Blanco: juan.blanco@udea.edu.co y participar en este proyecto de ciencia ciudadana. Este paso a paso es una adaptación del *Tea Bag Index* desarrollado por un equipo de científicos de la Universidad de Utrecht y la Universidad de Umeå.

y octubre del 2022, en un solo metro cuadrado de una zona verde de referencia, se observó cómo la descomposición cambiaba entre las temporadas seca y lluviosa. Concluimos que al cabo de treinta días se pierde alrededor del 50 % de la masa de una bolsita.

Durante el 2022 y el 2023, también hicimos ciencia «entre todos», o ciencia ciudadana, para celebrar el Día Internacional de la Madre Tierra y el Día del Biólogo en la Ciudad Universitaria, y el Día Internacional de la Diversidad Biológica en la Seccional Occidente, en Santa Fe de Antioquia. En ambos lugares participaron voluntariamente estudiantes, docentes y personal administrativo trayendo suelo de diferentes zonas verdes para hacer montajes del experimento en semilleros dentro de un invernadero. Una frase recurrente entre los participantes durante estas actividades fue «el suelo está vivo». Por su parte, los estudiantes del grupo de investigación y los semilleros asociados que ayudaron a montar estos experimentos comprendieron la complejidad de diseñar y ejecutar un estudio de ese tipo con un centenar de bolsas y unidades experimentales. Conseguir el suelo, las materas, las bolsas plásticas y de papel, comprar cajas con las bolsas de té verde y otras aromáticas, pesar todo, marcar todo, describir claramente las instrucciones, invitar a los participantes, vigilar el montaje, luego desmontar todo, secar las bolsas y pesarlas, y analizar los datos: fueron semanas de planeación y ejecución en las que los equipos comprendieron, sobre todo, la importancia del trabajo colaborativo.

Finalmente, entre septiembre y octubre del 2023, ampliamos los puntos de experimentación en el Valle de Aburrá. Con el coliderazgo del ingeniero ambiental Edwin Mora, del Área de Gestión Ambiental de la División de Infraestructura Física de la Universidad de Antioquia, se sumaron profesionales y docentes del área ambiental de siete universidades del Valle de Aburrá, para realizar un gran experimento con las bolsitas de té verde en el ámbito urbano. Así nació G8-SueloX, el experimento de descomposición en el suelo de las universidades del G8+. El diseño se hizo así: se trazaron en el suelo cuatro bloques de un metro cuadrado dentro de una zona verde por cada universidad, y en cada bloque se enterraron diez bolsitas. En total se repartieron doscientas ochenta bolsitas desde

la planicie del Valle de Aburrá (Universidad de Antioquia, Universidad Nacional Sede Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín y Universidad Eafit), pasando por las lomas de Boston (Instituto Tecnológico Metropolitano) y El Poblado (Universidad CES), hasta llegar al Alto de las Palmas (Universidad EIA). Uno de los resultados que obtuvimos fue que, a pesar de las diferencias en las condiciones superficiales y el clima de las universidades, las condiciones bajo el suelo son similares y en promedio la descomposición ocurrió con la misma tasa o velocidad.

Estas acciones de ciencia ciudadana que promovimos siguen creciendo. Ya se han realizado otros experimentos con comunidades escolares en Chigorodó y la isla de San Andrés, con estudiantes universitarios y ciudadanos convocados a una actividad de aula abierta en la Sede de Carepa, con profesores y amigos de varias universidades, e incluso de otras ciudades. También, de manera individual, como parte de mi actividad de año sabático, en el 2023 realicé dos montajes complejos en la zona rural de Sucre: uno con trescientas sesenta bolsitas, en un manglar, con un

seguimiento de seis meses, y otro con mil seiscientos ochenta, en el paisaje agropecuario de la finca familiar, con un seguimiento de un año. Estas experiencias constatan que la observación de la naturaleza tiene el gran poder de transformar el pensamiento de los individuos a la par de la realización de investigaciones científicas. Por ello, invito a otros docentes a implementar actividades de ciencia ciudadana, incluyendo a las comunidades escolares, utilizando este nuevo estándar criollo: bolsitas de aromáticas como microcosmos. X

Agradecimientos: Profesores: Edwin Mora, Juan Camilo Villegas, Camilo Ramírez, Juan Diego León, Natalia Álvarez, Alberto Tobón, Adriana Pabón, Esteban Carvajal, María Fernanda Beltrán, Jaime Uribe, José Riascos, Fernando Parra, Nataly Gutiérrez, Jairo Lasso y Edgardo Londoño. Estudiantes: Juan José Ruiz, Ana Sofía Gil, Kristal Sánchez, Danna Valentina Mojica, Sebastián Agudelo, Erica Buitrago, Susana Ríos, Estefanía Galeano, Daily Ramírez y muchos más. **Personal administrativo:** Ana Mercedes Montoya, Ana Esperanza Franco y John Henry Rosso. **Financiación:** Instituto de Biología y proyecto «Apropiación social del conocimiento sobre biodiversidad de la región de Urabá»-Sistema General de Regalías-MinCiencias. Con el apoyo de Agrícola Himalaya.

Glosario

Niveles de anidamiento: En términos generales, el espacio dentro del suelo no es homogéneo, por lo cual es importante capturar dicha variabilidad. Dentro de una zona verde, algunas áreas separadas varios metros pueden diferir entre sí. Dentro de un metro cuadrado también existe variabilidad. Aún en dos puntos separados unos pocos centímetros también se pueden presentar diferencias significativas. A esto se le llama niveles de anidamiento espacial de la variabilidad.

Los solventes naturales

como alternativa a los solventes orgánicos volátiles potencialmente peligrosos

Diana Carolina Restrepo-Espinosa

Doctora en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias
diana.restrepoe@udea.edu.co

Verónica María Tamayo-Rincón

Magíster en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias
veronica.tamayo@udea.edu.co

Jhonny Colorado-Ríos

Doctor en Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias
jhonny.colorado@udea.edu.co

Diana Margarita Márquez-Fernández

Doctora en Ciencias Químicas
diana.marquez@udea.edu.co

Alejandro Martínez-Martínez

Doctor *Scientiae* Ciencias-Química
alejandro.martinez@udea.edu.co

Grupo de Investigación Productos Naturales
Marinos de la Universidad de Antioquia

El consumo generalizado de solventes orgánicos tiene efectos negativos sobre el ambiente y la salud, por lo que, en recientes trabajos del Grupo de Investigación Productos Naturales Marinos, se ha promovido el uso de solventes naturales como alternativa con bajo impacto ecológico y biodegradables.



La miel puede considerarse como un solvente natural que gracias a su viscosidad no se puede evaporar fácilmente.
Fotografía: Pexels.com.

Desde hace más de un siglo la humanidad ha utilizado ampliamente diferentes líquidos en los procesos industriales, académicos y de investigación. Entre los principales usos de estos se encuentran, por ejemplo, el funcionamiento de los motores, la limpieza y la conservación de muestras biológicas y la extracción y la separación de diversas sustancias. En la extensa gama de solventes orgánicos convencionales aparecen los hidrocarburos, los alcoholes, los éteres, los ésteres y las cetonas, los cuales en su mayoría se obtienen del procesamiento del petróleo, la fermentación o la síntesis química. Los solventes más producidos a nivel mundial son el ciclohexano, el diclorometano, el cloroformo, la acetona, el tolueno y el etanol.

Aunque estos solventes han permitido el avance de la ciencia y el desarrollo de productos en diferentes campos de la industria, en general son más costosos, poco viscosos y, por tanto, más fáciles de evaporar, lo que dificulta el almacenamiento, el transporte, la manipulación, el reciclaje y la disposición final. Además, al evaporarse a temperatura y presión ambiental, generan gases que representan un problema por su impacto negativo sobre la salud y el medioambiente, ya que en su gran mayoría son muy contaminantes y tóxicos, y pueden causar efectos crónicos como el cáncer, las mutaciones, el daño visual y auditivo, y contribuyen al calentamiento global y a la disminución de la capa de ozono. Ante esta situación, hace alrededor de veinte años se han probado mezclas de sustancias naturales como una alternativa sostenible para obtener nuevos solventes menos nocivos.

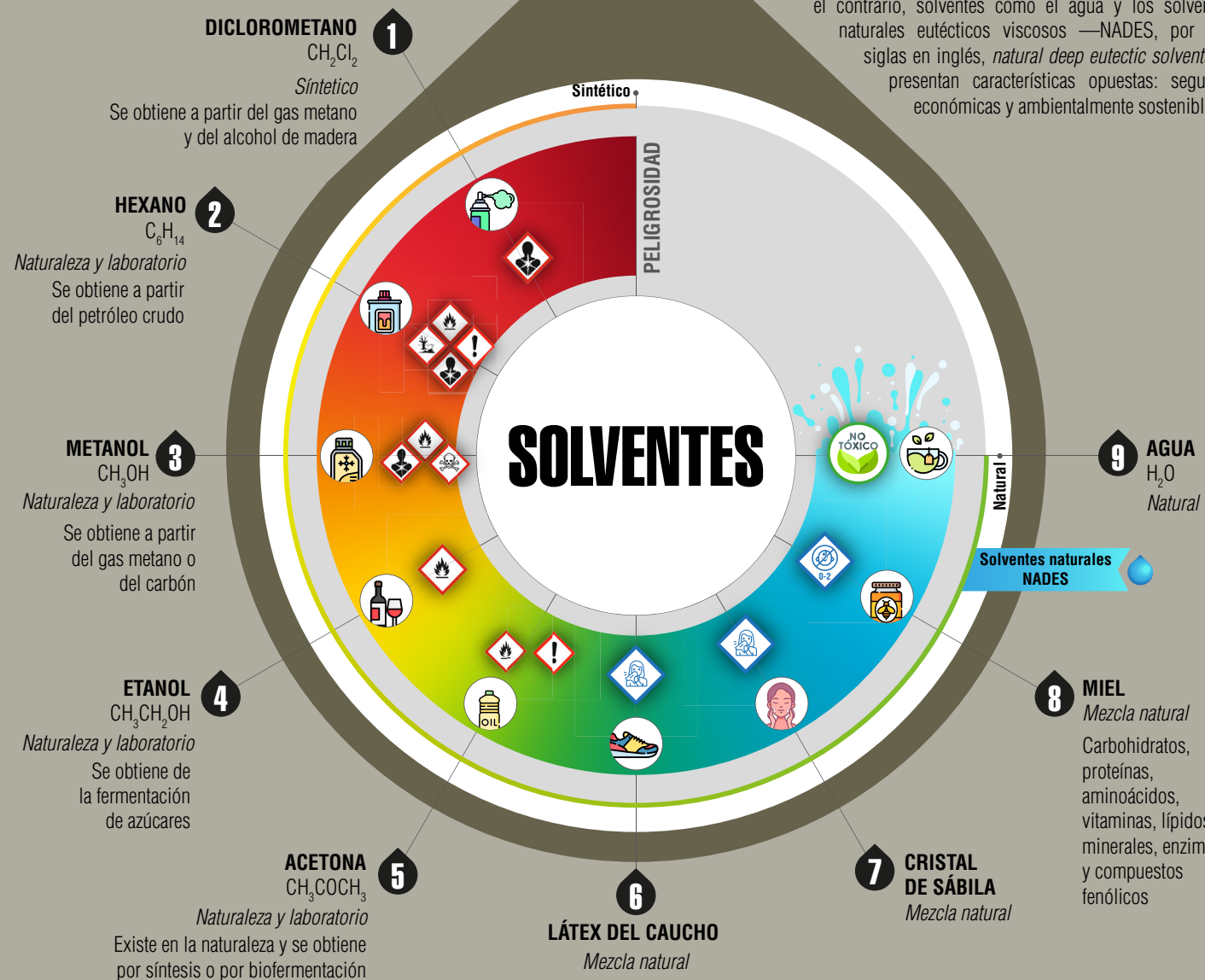
En el año 2019, investigadores del Grupo de Investigación Productos Naturales Marinos de la Universidad de Antioquia iniciaron trabajos pensados para preparar y estudiar solventes naturales con el objetivo de remplazar, en parte, aquellos usados frecuentemente (solventes orgánicos convencionales) en los diferentes laboratorios de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. Esto con el fin de disminuir el impacto negativo que tienen sobre la salud de la comunidad universitaria y reducir la contaminación del ambiente causada por su uso. Así, con la participación de profesores y estudiantes de pregrado y posgrado, se ha empezado a preparar solventes naturales y a evaluar su uso en los procesos de extracción y análisis químicos de productos naturales de interés cosmético, farmacéutico y alimentario. Los

estudios del grupo han mostrado resultados prometedores, ya que han permitido la obtención de extractos con solventes naturales no tóxicos a partir de sustratos como residuos de frutas, los cuales tienen un uso potencial en la elaboración de productos cosméticos como antioxidantes.

Una nueva generación: los solventes naturales eutécticos

Actualmente, se explora una generación emergente de solventes que representan una alternativa a los solventes orgánicos convencionales. Entre ellos se incluyen los llamados solventes eutécticos viscosos —DES, por sus siglas en inglés, *deep eutectic solvents*—, obtenidos por la reacción de dos sustancias (generalmente en estado sólido) en condiciones ambientales normales y bajo calentamiento (bajas temperaturas), originando una mezcla que es líquida a temperatura ambiente y que se caracteriza por su viscosidad y su baja volatilidad. Sin embargo, debido a que las sustancias que constituyen estas mezclas pueden ser metales, se ha reportado cierta toxicidad, direccionando la mirada hacia otras opciones: los solventes naturales eutécticos viscosos —NADES, por sus siglas en inglés, *natural deep eutectic solvents*—, mezclas de sustancias orgánicas naturales presentes en organismos vivos como los azúcares, las sales, los alcoholes, los aminoácidos, los ácidos orgánicos y otros compuestos que, cuando se mezclan en ciertas proporciones y se calientan, cambian su estado de sólido a líquido y forman un sistema que ayuda a solubilizar mejor las sustancias de interés.

BREVE DESCRIPCIÓN del impacto en la salud y el ambiente de los solventes convencionalmente usados



Los solventes orgánicos convencionales son, en su mayoría, tóxicos para la salud y el ambiente. Además, muchos son de alto costo y requieren condiciones de manejo y almacenamiento especial debido a riesgos como su inflamabilidad. Por el contrario, solventes como el agua y los solventes naturales eutécticos viscosos —NADES, por sus siglas en inglés, *natural deep eutectic solvents*— presentan características opuestas: seguras, económicas y ambientalmente sostenibles.

USOS COMUNES

- 1 Disolvente. Puede estar en aerosoles, pinturas y otros productos.
- 2 Disolvente y medio de reacción química.
- 3 Anticongelante para radiadores de automóviles, un ingrediente de la gasolina.
- 4 Antiséptico (al 70 %), disolvente, conservante, y como ingrediente principal de bebidas alcohólicas.
- 5 Disolvente, limpiador (ceras, gomas, resinas, grasas, aceites, colorantes, revestimientos, barnices).
- 6 En implementos y equipos médicos, preservativos, juguetes, pinturas, artículos de natación, vestimenta.
- 7 El cristal (gel) se usa como hidratante y cicatrizante cutáneo, expectorante. El látex del aloe debe ser retirado pues puede ser laxante.
- 8 Edulcorante natural, agente antiinflamatorio, antioxidante y antibacteriano.
- 9 El disolvente universal, agente de suspensión, refrigerante hidratante, generación de vapor, constituyente fundamental de alimentos y bebidas.

NUEVOS PICTOGRAMAS DE PELIGRO



Abejas, cactus, pencas: la naturaleza como inspiración

Lo que tienen en común las abejas, los cactus, la penca sábila, la sangre, la yema de los huevos y el brócoli es que poseen o producen sustancias naturales que pueden ser útiles en la producción de solventes viscosos, líquidos que usan para su supervivencia y que pueden servir para la extracción de sustancias de interés, como materias primas para la producción en diferentes industrias (de alimentos, medicamentos, cosméticos, etc.).

Hace muchos años, los científicos se preguntaron cómo era posible que los cactus resistieran las condiciones extremas de temperatura y la baja humedad del desierto y, luego de diferentes estudios, concluyeron que las hojas anchas y gruesas presentes en estas plantas están cubiertas por una película o capa resistente que les permite disminuir la evaporación del agua, líquido requerido por estos organismos para sobrevivir bajo esas condiciones adversas. También encontraron que, al abrir las hojas, estas contienen un líquido muy viscoso compuesto por agua y otras sustancias disueltas, importantes para su ciclo vital, similar a lo que ocurre con la miel de las abejas.

Estos fluidos, que también contienen sustancias beneficiosas para los organismos que las producen, pueden tener efectos positivos sobre la salud de las personas y sirven de inspiración a los científicos para proponer solventes alternativos que puedan usarse en la obtención de sustancias útiles para los seres vivos, de una manera más sustentable y a partir de diferentes fuentes naturales. Un ejemplo de los solventes naturales con estos beneficios se encuentra en la miel, un líquido viscoso y dulce obtenido a partir del néctar de las flores, que es más difícil de evaporar que el agua, lo que permite que las abejas puedan almacenarlo para su alimentación dentro del panal durante largos periodos, sin necesidad de utilizar refrigeradores altamente costosos.

El agua, la sangre, la miel y el líquido espeso de los cactus son solventes, unos menos viscosos (el agua) que otros (la sangre, la miel y otras mezclas, como los mucílagos, el látex y los aceites naturales), a los cuales podemos, entonces, llamar de manera general como solventes naturales. Con el avance de la ciencia, hoy se sabe que los líquidos más viscosos que el agua requieren mayores temperaturas para evaporarse, circunstancia que al parecer aprovechan los seres vivos para evitar las pérdidas de agua por evaporación, lo que podría explicar la presencia de muchos líquidos viscosos útiles para los procesos vitales en la naturaleza.

**El agua, la sangre,
la miel y el líquido
espeso de los cactus
son solventes, unos
menos viscosos que
otros**

**Los solventes «verdes»
no son tóxicos, son
biodegradables y se
pueden reciclar**

Los cactus retienen la poca agua disponible en lugares desérticos gracias a la gruesa y resistente membrana externa de sus hojas y a que contienen compuestos disueltos que le confieren viscosidad y que ayudan a evitar su evaporación.
Fotografía: Pexels.com.



Ventajas de los NADES relacionadas con la producción, el riesgo y la contaminación

Los NADES han ganado mucha popularidad debido a que se consideran solventes verdes, es decir, no son tóxicos, son biodegradables y se pueden reciclar; características importantes para la obtención de compuestos o extractos de interés en la elaboración de productos para uso humano o veterinario. Otras ventajas de estos solventes tienen que ver con que son de fácil preparación en el laboratorio, no requieren de equipos de alta tecnología, involucran el uso de sustancias naturales abundantes en la naturaleza (como carbohidratos y aminoácidos) y no requieren de condiciones de seguridad exigentes, como las campanas de extracción de gases usadas para manipular los solventes orgánicos que se evaporan fácilmente y son tóxicos. Otro atributo de los NADES, además de que son ecoamigables, es que permanecen en estado líquido a temperaturas más altas que los solventes orgánicos convencionales, lo que facilita la extracción de sustancias de interés a mayores temperaturas.

Como se mencionó anteriormente, en los últimos años el Grupo de Investigación Productos Naturales Marinos ha implementado en su práctica el uso de solventes denominados verdes, entre los que se incluyen preparados de solventes NADES con diferentes mezclas de sustancias naturales (glucosa, sacarosa, betaína, ácido cítrico, lactosa, entre otras), buscando proponer alternativas que sirvan para obtener extractos de interés y al mismo tiempo disminuir los efectos negativos que producen los solventes orgánicos convencionales sobre el ambiente y la salud de los seres vivos.

Industrias farmacéutica y cosmética

Considerando el auge del uso de los NADES, se han empezado a incorporar en diferentes formulaciones farmacéuticas y cosméticas como ingredientes clave en la estabilidad de los productos finales, que brindan algún beneficio al consumidor. También, la comunidad científica ha realizado esfuerzos para obtener sustancias y extractos que no sean tóxicos usando este tipo de solventes, promoviendo tanto estudios de sustancias que no se disuelven fácilmente en agua como estudios que permitan determinar si estas son útiles en el tratamiento de algunas enfermedades. Asimismo, los solventes eutécticos se están investigando para su aplicación en la síntesis orgánica, como catalizadores de reacciones químicas, como componentes de productos farmacéuticos y para capturar el dióxido de carbono de la atmósfera, entre otras posibilidades.

Monumento *El despertar de los sueños* ubicado en Cúcuta, Norte de Santander. Fotografía: cortesía de Luis Gerardo Contreras Gaitan.

Estas aplicaciones se han validado y han tenido excelentes resultados, por ejemplo, en el rendimiento de aceites esenciales obtenidos a partir de las plantas, el cual ha sido mayor cuando se usan NADES que cuando se usan solventes orgánicos convencionales. Esto concuerda con lo obtenido en diferentes trabajos liderados por el grupo de investigación tras haber usado los solventes NADES para obtener extractos ricos en compuestos fenólicos y microsporinas con uso potencial en la industria cosmética a partir de macroalgas marinas colombianas.

Los NADES en el clima y la salud

Debido a que en el mundo se tiene cada vez más conciencia sobre la importancia de disminuir la contaminación ambiental para beneficiar la salud humana, el equilibrio del clima y evitar que diferentes seres vivos se sigan extinguiendo en nuestro planeta, es probable que en los próximos años muchas de las industrias que utilizan diferentes procesos químicos para la obtención de sus productos se sigan sumando al uso de estos solventes naturales. Otro aspecto importante es que el proceso de disposición final de este tipo de solventes es mucho menos contaminante que el de los residuos de solventes orgánicos convencionales, por lo que también se pueden aprovechar con fines agropecuarios y se pueden usar como nutrientes o fertilizantes de suelos. ✕

La sábila contiene en sus hojas un líquido viscoso que, además de permitirle a la planta almacenar el agua que requiere para vivir, se utiliza como materia prima en la producción de alimentos y productos farmacéuticos
Fotografía: Pixabay.com.

Glosario

Eutéctico: Mezcla de sustancias que presentan un punto de fusión más bajo que el de cada uno de sus componentes.

Peligrosidad: Cuando se refiere a una sustancia química, se entiende como una propiedad inherente a ella que la hace nociva para la salud o el ambiente, que le permite categorizarse como

corrosiva, reactiva, explosiva, inflamable o tóxica.

Rendimiento: En términos químicos, se refiere al porcentaje que se obtiene de determinada sustancia o de una mezcla de sustancias, a partir de un peso de muestra inicial, por ejemplo, de diferentes partes de una planta (hojas, tallos, flores,

frutos, toda la planta), usando un solvente o un disolvente líquido. También se usa cuando se obtienen una o varias sustancias de una reacción química.

Sustancia: Materia homogénea de composición fija con propiedades específicas que le permiten diferenciarse de otras sustancias.

El arte de preservar: recubrimientos contra la corrosión

Jeaneth Teresa Corredor González

Química. Doctora en Ciencias
Jeaneth.corredor@udea.edu.co

El proceso natural que con el paso del tiempo inexorablemente deteriora y desgasta los metales, por la interacción con su entorno, se conoce como corrosión. En el intento de preservar y alargar la vida de las estructuras metálicas mediante soluciones ecológicas y sostenibles surgen los recubrimientos poliméricos a base de agua, que además de proteger las superficies metálicas, reducen la contaminación del aire.

Hace veintisiete años que el monumento *El despertar de los sueños* se encuentra en la mitad de una de las glorietas más transitadas del noreste de Colombia, inmóvil y vulnerable ante los impactos del paso del tiempo. El polvo presente en el aire, la elevada humedad relativa, la lluvia y las once horas de sol de cada día provocaron que el bronce y la hojalata perdieran gradualmente su apariencia brillante, afectando su integridad, su resistencia y su durabilidad.

La corrosión de los metales es un problema global que cobra un alto precio en términos económicos y de seguridad en todo el mundo. Cuando los metales están expuestos en ambientes agresivos ocurren dos tipos de corrosión: la química, que se da como resultado de reacciones directas entre sustancias y metales; y la electroquímica, que ocurre cuando los materiales están expuestos a ambientes húmedos. En Colombia, donde la humedad y las condiciones climáticas son variables, la corrosión produce daños significativos en los monumentos conmemorativos, los objetos artísticos y la infraestructura, lo que genera pérdidas en la productividad, costosas reposiciones de equipos y el daño de componentes que pueden quedar inservibles. Por ejemplo, en el 2020 los gastos de mantenimiento correspondientes a la restauración del monumento *La alameda*, ubicado en Bogotá, ascendieron aproximadamente a mil ciento setenta millones de pesos, y actualmente en la industria petrolera el valor invertido en el rubro de mantenimiento por corrosión de oleoductos oscila entre tres mil cien y seis mil doscientos dólares por kilómetro.

Para proteger las estructuras metálicas contra la corrosión, se emplean distintos métodos, según el uso y las condiciones de exposición. Por ejemplo, las tuberías de acero inoxidable se conectan con barras de zinc o de aluminio (protección catódica), los tanques contenedores de petróleo se revisten con aleaciones resistentes a la corrosión —CRA, por sus siglas en inglés, *corrosion resistant alloys*—, las piezas de automóviles se revisten con cromo o níquel (recubrimientos metálicos) y los cascos de las embarcaciones se revisten con pinturas epóxicas (recubrimientos orgánicos).

La aplicación de pinturas o de cualquier otro recubrimiento orgánico sobre superficies metálicas crea una barrera protectora que evita el contacto directo del metal con los agentes corrosivos; sin embargo, durante el proceso de aplicación y de secado del recubrimiento se liberan a la atmósfera compuestos orgánicos volátiles —VOC, por

sus siglas en inglés, *volatile organic compounds*—, los cuales contaminan el aire y afectan la salud de los trabajadores y de las personas en general. En la búsqueda de barreras protectoras efectivas y de bajo impacto ambiental se ha llegado al desarrollo de recubrimientos poliméricos a base de agua. Estos recubrimientos, a diferencia de sus contrapartes a base de solventes, se caracterizan por su bajo contenido de VOC, y al usarlos se modera la contaminación del medioambiente y se reducen los riesgos para la salud de los seres humanos.

Para mitigar los efectos de la corrosión y a la vez promover prácticas sostenibles en la industria dedicada a la producción de recubrimientos, la legislación medioambiental colombiana ha establecido medidas para el uso de VOC, en consonancia con las legislaciones establecidas en Europa y América del Norte. En vista de que las normativas adoptadas en el país han promovido la transición hacia los recubrimientos orgánicos como productos sostenibles, la línea de investigación en recubrimientos poliméricos del Laboratorio de Investigación en Polímeros —LIPOL— de la Universidad de Antioquia ha trabajado en el desarrollo de formulaciones de poliuretano a base de agua que permitan obtener recubrimientos con alta resistencia a la corrosión y que a su vez sean una alternativa ecológica y segura.

EL ORIGEN DE LA CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

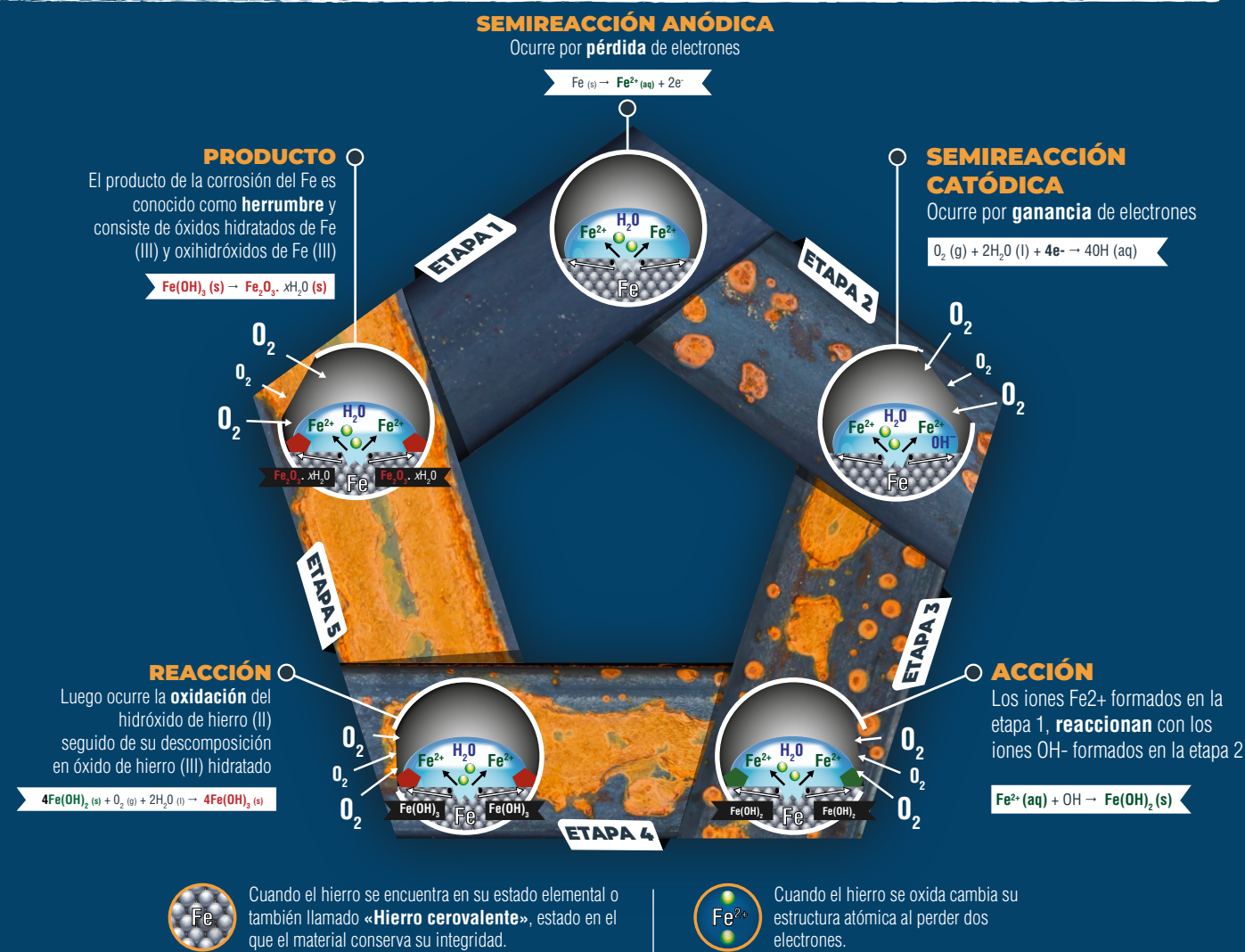
Para comprender cómo los recubrimientos de poliuretano a base de agua protegen a los metales de la corrosión así como la importancia de evaluar la resistencia a la corrosión en estos recubrimientos, es necesario conocer la naturaleza de la corrosión. Este proceso de deterioro involucra varias reacciones químicas y se origina cuando el metal se oxida al encontrarse en un ambiente húmedo con presencia de oxígeno.

LA REACCIÓN REDOX

El proceso de deterioro por la corrosión electroquímica involucra al menos una semireacción de reducción (anódica) y una de oxidación (catódica) que constituyen la reacción neta.

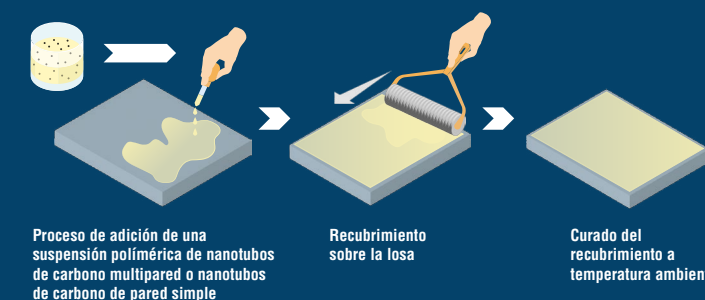
HIERRO

La corrosión electroquímica del hierro (Fe) es un proceso complejo que ocurre en presencia de agua (H₂O) y oxígeno gaseoso (O₂). Inicia con la transferencia de electrones del Fe al O₂ o al H₂O.



RECUBRIR Y PROTEGER

Los recubrimientos poliméricos como los poliuretano a base de agua actúan como una barrera física evitando el contacto directo entre el metal, el oxígeno y la humedad. Esto interrumpe la reacción electroquímica que da lugar al proceso corrosivo preservando la integridad de la estructura metálica.



Monumento *El despertar de los sueños* ubicado en Cúcuta, Norte de Santander. Fotografía: cortesía de Luis Gerardo Contreras Gaitan.



Proteger con sostenibilidad: recubrimientos poliméricos a base de agua

Los recubrimientos poliméricos son una subcategoría de los recubrimientos orgánicos; se caracterizan por que son más elásticos y flexibles debido a la naturaleza de los polímeros que los componen. Los polímeros pueden ser de origen orgánico o inorgánico, pero en el área de los recubrimientos se emplean principalmente polímeros orgánicos. El desarrollo significativo de los recubrimientos poliméricos se ha dado en los dos últimos siglos. El avance clave se inició entre 1920 y 1930 con la síntesis de polímeros basados en ácidos grasos y glicerina, conocidos como resinas alquídicas. Hasta 1970, las formulaciones epóxicas, acrílicas y de poliuretano que se habían introducido en el mercado para la obtención de recubrimientos empleaban solventes orgánicos clasificados como compuestos orgánicos volátiles. Generalmente, los recubrimientos obtenidos a partir de estas formulaciones base solvente siguen siendo empleados para proteger o decorar superficies metálicas o no metálicas como, por ejemplo, paredes, cielos rasos, pisos en interiores y exteriores expuestos a productos químicos o tráfico frecuente, interior de tanques de almacenamiento, piezas del sector automotriz y de la marina. En las décadas de los setenta y los ochenta se inició el desarrollo de recubrimientos poliméricos usando agua como disolvente para reducir las emisiones de VOC y minimizar el impacto ambiental. En lo que respecta a los recubrimientos de poliuretano a base de agua, hasta ahora presentan buena adherencia, durabilidad en los interiores y flexibilidad; sin embargo, su resistencia química, su brillo, el tiempo de secado que requieren y su sensibilidad con respecto a la humedad son inferiores a los de las formulaciones de poliuretano a base de solvente, por lo que el desarrollo de este tipo de formulaciones es un campo activo de investigación en el que trabaja el grupo LIPOL, buscando crear recubrimientos a base de agua con mayor resistencia a las condiciones ambientales y con propiedades específicas.

Una herramienta poderosa: espectroscopia de impedancia electroquímica —EIS—

Una de las técnicas que se están empleando para evaluar y monitorear el desempeño protector contra la corrosión de los recubrimientos poliméricos es la espectroscopia de impedancia electroquímica —EIS, por sus siglas en inglés, *electrochemical impedance spectroscopy*—. Esta técnica consiste en aplicar una pequeña señal eléctrica sinusoidal de excitación al sistema recubrimiento/metal que se encuentra inmerso en un electrolito, y registrar su respuesta de impedancia a diferentes frecuencias.

Los datos del espectro de impedancia se modelan utilizando circuitos eléctricos equivalentes para identificar componentes específicos que contribuyen a la resistencia a la corrosión. De esta manera se evalúan factores como la resistencia a la difusión iónica, la formación de porosidad, la capacitancia y la adherencia del recubrimiento, lo que les permite a los investigadores estimar el comportamiento del recubrimiento cuando se expone a condiciones reales corrosivas.

Las formulaciones de poliuretano a base de agua, sintetizadas durante el desarrollo del proyecto «Síntesis y caracterización de recubrimientos compuestos a base de poliuretanos y nanotubos de carbono» del LIPOL, se emplearon para obtener recubrimientos sobre acero al carbono que se evaluaron con la técnica EIS, usando como medio corrosivo soluciones de cloruro de sodio de 0,5 M —una forma de simular aguas con alto poder corrosivo como la de mar—, en las que los recubrimientos estuvieron inmersos durante cuarenta días. Los resultados obtenidos indicaron que estos recubrimientos inicialmente exhiben buenas propiedades anticorrosivas; sin embargo, al transcurrir los días de inmersión, la capacitancia de los recubrimientos aumenta gradualmente, lo que significa que la solución penetra

a través de estos y disminuye su capacidad protectora, hasta el punto en que los recubrimientos fallan y se inicia la corrosión de la superficie metálica. La evaluación de los recubrimientos de poliuretano a base de agua mediante la técnica EIS mostró que es necesario optimizar la composición de las formulaciones para mejorar la resistencia a la corrosión de los recubrimientos en medios corrosivos agresivos.

La lucha contra el fenómeno natural espontáneo que degrada ciertos metales es una batalla constante que requiere inversión en la investigación para obtener soluciones eficientes como la mejora de la resistencia de los recubrimientos poliméricos a base de agua, para garantizar la protección y la durabilidad de las estructuras metálicas, así como un futuro más seguro y sostenible para todos. X

Glosario

Capacitancia del recubrimiento: Medida de la permeabilidad del recubrimiento al electrolito.

Circuito eléctrico equivalente: Circuito eléctrico por medio del cual se interpretan los procesos que ocurren en el sistema recubrimiento/substrato.

Compuesto orgánico volátil: Compuesto orgánico que a 20 °C tiene una presión de vapor de 0,01 kPa o mayor, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.

Electrolito: Sustancia que se disocia en el agua formando partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones.

Impedancia: Relación entre la tensión alterna aplicada a un circuito eléctrico y la intensidad de la corriente producida.

Polímero: Macromolécula formada por la repetición de una unidad monomérica.

Poliuretano: Polímero que se forma mediante la reacción química de un polirol (alcohol con más de dos grupos hidroxilo) y un isocianato (compuesto químico con grupos isocianato, -NCO).

Carlos Alberto Peláez Jaramillo.
Fotografía: José Luis Londoño López.

«Vidas para el conocimiento»

Carlos Alberto Peláez Jaramillo

Las personas son importantes, pero
son sus obras las que trascienden

Carmenza Uribe Bedoya

Química. Directora de la revista *Experimenta*
Profesora jubilada de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Antioquia

E

n su libro *El infinito en un junco* la española Irene Vallejo recuerda un dicho común entre los habitantes del mundo antiguo: «Convencidos de que no se puede pensar bien sin hablar bien, los libros hacen los labios». Y es que definitivamente las relaciones humanas entre lectores ocurren en un nivel superior a lo cotidiano, puesto que todos los lectores llevan dentro una especie de biblioteca con lo que han leído y les ha dejado una huella. Por eso, el buen lector se conoce en sus conversaciones. Es lo que pasa con Carlos Peláez, una persona de la cual un desconocido difícilmente podría decir cuáles son sus títulos académicos o en qué disciplinas se ha especializado. Sus amigos más cercanos dicen que sabe de todo, que en cualquier conversación con él se aprende algo, virtud de quien tiene conocimientos sólidos, y que hace que todo parezca fácil, virtud del buen maestro. Carlos es biólogo —con énfasis en genética— de la Universidad de Antioquia, magíster en Química —con énfasis en química orgánica— de la Universidad de Antioquia, y doctor en Química del Instituto Químico de Sarriá (de Barcelona, España), con una tesis en química y bioquímica del compostaje. Esta pluralidad temática le ha permitido disponer de una óptica interdisciplinaria, lo cual ha sabido complementar con una sorprendente diversidad de libros leídos, no solo de los que apoyan sus conocimientos académicos, sino también de los que alimentan el espíritu y aportan a la visión del mundo. Todo esto ha sido una base sólida de la actividad que Carlos ha desarrollado en la Universidad de Antioquia durante más de tres décadas, tiempo en el cual ha sido estudiante, profesor, investigador y líder de un grupo de investigación. Pero estos son solo sus roles institucionales, pues además ha sido amigo, compañero, consejero, aliado, confidente y casi confesor de muchos de los que nos hemos cruzado en su camino. Esta es la historia de Carlos Alberto Peláez Jaramillo, el doctor Peláez, como le dicen sus compañeros, aunque a él no le guste; el profe Peláez, como le dicen cariñosamente sus alumnos; Carlos, como le dice la familia; o simplemente Peláez, como lo llaman sus amigos.

Un camino que empezó bien

Una historia de vida valiosa suele empezar en una buena familia, como en el caso de Carlos. Hijo de Rodrigo y Lolita, hermano de Gloria, Marta Cecilia y Juan Fernando, Carlos tuvo una infancia tranquila en el barrio Niza, en la casa de sus padres, y en el barrio San Benito, en la de sus abuelos. Dice que tuvo «calle» con los amigos, en la época en la cual la infancia transcurría al aire libre por fuera de las casas, jugando, montando en bicicleta y conversando. Las circunstancias familiares lo marcaron en la niñez, porque la mamá de Carlos, Lolita, perdió a su propia madre en el momento de nacer, lo cual hizo que algunos roles familiares cambiaran y que un tío materno, el sacerdote José María Restrepo, desempeñara un papel importante en la familia; en par-



No se puede pensar bien sin hablar bien. Los libros hacen los labios. Fotografía: José Luis Londoño López.

ticular para Carlos el padre Restrepo fue como un papá, un modelo a seguir, una verdadera influencia en su etapa de formación, ya que tenía una biblioteca inmensa y una buena colección de música clásica. Es por eso por lo que la vida de Carlos quedó marcada por la buena música y la lectura.

El recorrido sigue con un buen colegio: Carlos estudió la primaria y el bachillerato en el colegio San José de la Salle, ubicado en ese entonces en el barrio Boston; allí adquirió, además de buenos conocimientos, algunas de las habilidades que más tarde definirían su vida adulta: curiosidad, capacidad para la observación, motivación frente a la ciencia y mucha disciplina, características que también son las de un buen investigador. El colegio tiene un énfasis en ciencia, y allí es casi legendario el hermano lasallista Daniel, a quien todos los integrantes de la institución recuerdan por lo que hizo, puesto que, aunque las personas son muy importantes, son sus obras las que trascienden, y el hermano Daniel trascendió a través del museo, lugar en el que los estudiantes se iniciaban en la ciencia con clases prácticas de biología, química, zoología, botánica y geología. Esta profusa actividad alrededor de lo científico llevó a que, al terminar el bachillerato, Carlos tuviera claras dos cosas: que quería estudiar ciencia y que debía hacerlo en una universidad pública.

En el colegio adquirió, además de buenos conocimientos, algunas de las habilidades que más tarde definirían su vida adulta: curiosidad, capacidad para la observación, motivación hacia la ciencia y mucha disciplina, habilidades que también son las de un buen investigador

La Universidad de Antioquia: una explosión de situaciones

La elección de universidad fue relativamente fácil puesto que, de las dos universidades públicas de la ciudad, solo la Universidad de Antioquia tenía, en ese entonces, los cuatro programas de ciencia básica: matemáticas, física, química y biología. Carlos también le coqueteó a la filosofía, algo que no ha dejado de hacer, pero se decantó por una ciencia natural: la biología. Así llegó a la universidad, con su equipaje de motivación, disciplina y expectativa. Los primeros semestres allí fueron, como él mismo dice, una explosión de situaciones: el tránsito desde un ambiente relativamente protegido, homogéneo y sin mayores sorpresas, hacia todo un universo de posibilidades y de situaciones inéditas en su vida. La capacidad de adaptación sin dramatismos y sin agobios es una de las fortalezas de los espíritus maduros, y fue así como Carlos transitó por uno de los momentos cruciales de su vida, puesto que no se asustó ni se preocupó demasiado por los problemas de orden público ni por la falta de continuidad académica, situaciones frecuentes en la universidad pública de la época; aunque reconoce que de no haber sido porque desde temprano había empezado a trabajar en un laboratorio de investigación, tal vez habría cambiado de universidad en uno de esos recesos largos.

Del pregrado conserva los mejores recuerdos de grandes maestros que lo formaron no solo en lo académico, sino en lo personal: Margarita Zuleta, Gabriel Bedoya, Mauricio Camargo, María Luisa Bravo, Luis Fernando García, profesores de los cursos de genética, énfasis escogido por Carlos para terminar su pregrado. Pero su camino en la investigación había empezado desde que estaba en el tercer semestre, y todo ocurrió por un hecho fortuito. Mientras estudiaba para un examen de química orgánica, Carlos buscó a su profesor Luis Fernando Echeverri en el laboratorio para hacerle una consulta. Luis Fernando estaba un poco afanado por un experimento que debía hacer, y le pidió apoyo a Carlos; luego de responderle su consulta, le preguntó si quería volver al día siguiente, y fue así como Carlos resultó siendo parte del Grupo de Investigación en Química Orgánica de Productos Naturales, donde permaneció hasta que terminó la carrera de Biología. Esta fue una interesante opción de trabajo interdisciplinario que le dio a Carlos una visión más completa del ámbito científico en el que quiso moverse en la universidad. De hecho, en algún momento, evaluando su propia actividad como biólogo en un grupo de química, Carlos le preguntó al profesor Echeverri si consideraba oportuno que hiciera un cambio de carrera, y muy acertadamente Luis Fernando le respondió que no, que eran sus conocimientos en una disciplina diferente a la química los que le aportaban una visión de conjunto al grupo.

La investigación, una hoja de ruta

Sabemos que, para moverse en el mundo académico y científico, la adquisición de conocimientos va mucho más allá de las teorías y los datos experimentales, pues también se relaciona con la capacidad de asimilar y comprender los contextos sociales, naturales, económicos y políticos en los que se mueven las ideas científicas. La dedicación de Carlos a la lectura le ha dado una visión de conjunto que él ha usado con pertinencia para alimentar lo que hace en el campo de la investigación. Cuando le pregunté por los inicios de su afición a la lectura, me dijo que le había aprendido a su tío, el padre Restrepo; pero también me contó que, en la universidad, en los conocidos «huecos» entre las clases presenciales, esos espacios en los cuales los estudiantes se dedican a esperar, él solía irse a un corredor relativamente solitario del Bloque 10, y aprovechaba esos ratos para leer. Cuando lo conocí, en su primer año de la maestría, me llamó la atención que hablara con tanta soltura de filósofos y novelistas, y que usara como hoja de ruta para lo que quería hacer en investigación a Thomas Kuhn y su *Estructura de las revoluciones científicas*, una lectura verdaderamente insólita para el promedio de los estudiantes de su edad.



La biología y la química le han aportado a Carlos una óptica interdisciplinaria.
Fotografía: Alejandra Uribe Fernández, Dirección de Comunicaciones.

La claridad en los objetivos para su vida llevó a Carlos a proponerme que reuniera a un conjunto de personas para formar un grupo de investigación diferente a los que ya existían en el entonces Departamento de Química, propósito que no estuvo exento de dificultades; la primera era que no teníamos un espacio para la experimentación. Sin embargo, el apoyo de María Victoria Alzate, jefe del Departamento, posibilitó la asignación de un espacio amplio, con mesas de laboratorio, energía, agua, gas... y nada más. Pero la gestión oportuna, no solo en cuanto a los proyectos de in-

vestigación, sino también en el interior del Departamento, permitió ir consiguiendo un equipamiento y una financiación adecuados para la experimentación, y hoy, más de treinta años después de aquellos primeros proyectos presentados a UNIBAN, el Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares —GIEM— sigue activo en el mismo laboratorio, aunque modernizado, en el que inició sus labores. Para la asignación del nombre del grupo hubo una interesante discusión en la que Carlos dejó claro que el carácter de «interdisciplinario» debía quedar explícito. El inicio de las labores del grupo coincidió con sus estudios de la maestría, programa en el que fui su profesora en varios de los cursos y su asesora de trabajo de investigación para optar al título. En este tiempo pude constatar que Carlos no era un estudiante como los demás; en realidad, su percepción del mundo de la ciencia era diferente a la del resto de los estudiantes, y su actuar frente a todo el mundo podría resumirse en una palabra: coherencia, esa escasa capacidad que tienen las personas de hacer lo que dicen, decir lo que piensan y mantener en armonía estas tres dimensiones, lo que se piensa, lo que se dice y lo que se hace.

En el GIEM Carlos ha sido un líder querido y respetado: un líder natural. En los inicios del grupo rápidamente comprendió que los productos naturales no son solo derivados de plantas, sino que hacen parte de la biomasa residual. Con base en una visita de investigadores catalanes al GIEM, en el marco del programa Intercampus con España, Carlos vio la posibilidad de desarrollar un doctorado en el Instituto de Química de Sarriá, y fue así como viajó a Barcelona a trabajar como estudiante de doctorado del químico Toni Planas, en el tema de la química y la bioquímica del proceso de compostaje. Su vinculación a la Universidad de Antioquia como profesor fue un proceso en el que intervino el decano del momento, el profesor Gustavo Quintero, quien confió en las capacidades de Carlos para ser docente. Posteriormente, y para complementar lo aprendido en el doctorado, realizó una pasantía posdoctoral en Bioquímica de Lípidos.

Hoy en día Carlos constata que el tema de su doctorado fortaleció las líneas de investigación del grupo, lo cual aclaró el camino para entender la importancia de hacer una ciencia pertinente, bajo la premisa de que es esta una de las maneras de fortalecer la actividad científica. Dice que trabajar en el compostaje es hacer ciencia básica, puesto que no hay nada más básico que ese proceso, inmerso en el origen mismo de la vida sobre la Tierra, y está satisfecho con lo que ha obtenido en estas tres décadas de trabajo en las cuales el grupo se ha convertido en un laboratorio de referencia. De esta temática también se ha derivado la realización de proyectos sobre la energía, que han demostrado la pertinencia del biogás para nuestro medio, tema en el cual Carlos se ha vuelto un experto.

Carlos visto por los demás

Con el transcurrir de los años, y cerca de la fecha de su retiro, Carlos da un valor especial a los investigadores asociados al grupo, profesionales que llevamos todo este tiempo de trabajo y que, como dice Carlos cariñosamente, «Hemos envejecido juntos», alimentando un saber acumulado que es el que permite seguir en actividad y corroborando el acierto de haber mantenido el carácter de interdisciplinario que ha distinguido al GIEM desde su creación. Sus compañeros de laboratorio y sus estudiantes solo tienen buenas palabras para referirse a Carlos. Valoran el ambiente agradable en el que se desarrollan las actividades del grupo, y la paciencia y la sensibilidad que muestra Carlos a cada uno de ellos en situaciones complejas de

tipo académico, laboral o personal. Su hermana Gloria dice que tiene dotes histriónicas que él mismo no reconoce, que hace buenos chistes y graciosas imitaciones, que es solidario, buen conversador y apasionado en las discusiones. También, que es radical en temas como el respeto por los demás, sensible frente a la situación histórica del país, y que cuando iba a ser padre, ella no pudo hacer más que dedicarle la sentida canción de Alberto Cortez: «Qué maravilla, Goyo». Sus amigos valoran que no es arrogante, que es honrado en la amistad tanto como en el trabajo y que, aunque no es la persona más afectuosa en sus expresiones, sí es absolutamente leal.

En la biblioteca de Carlos

Dicen los escritores que haber inventado los libros puede haber sido el mayor triunfo en nuestra tenaz lucha contra la destrucción, y Carlos es, sobre muchas otras cosas, un enamorado de la lectura. Los libros han formado no solo su carácter, sino su particular visión del mundo, lo que le ha permitido mantener la coherencia en su vida y transitar por los caminos de la ciencia siempre con una mirada atenta. Él mismo clasifica sus lecturas entre literarias y acadé-



Carlos, un enamorado de la lectura. Fotografía: José Luiz Londoño López.

mic. De las primeras, quienes lo conocemos sabemos que una de sus obras favoritas es *El nombre de la rosa*, de Umberto Eco. Tanto es así que ha usado la película de Jean Jacques Annaud adaptada a partir del libro como motivo de discusión en el curso de Metodología de la Investigación para estudiantes de Química, para ilustrar las intrincadas relaciones entre ciencia, arte y religión en el período oscuro de la Edad Media, que termina con la explosión luminosa del Renacimiento dando paso a la llamada ciencia moderna; una buena excusa para hablar del origen y la historia de un saber incipiente y de cómo se fueron diferenciando estos pilares de la cultura moderna: desde la magia tribal, dando paso a que el método científico dejara de ser un simple derrotero o una guía para los científicos. De Eco no

solo disfruta toda su literatura, sino también sus ensayos sobre semiótica y filosofía.

Un aspecto llamativo de los gustos literarios de Carlos se deriva del hecho de que su profesor del colegio lo animara a que perdiera el temor a leer a los clásicos. Fue así como abordó a Shakespeare, gracias, además, a que su padre le regaló una hermosa enciclopedia

con los clásicos, con lo que tuvo la oportunidad de sentarse durante largas horas en la biblioteca familiar a imaginar entornos de tiempos y espacios muy lejanos con respecto a nuestro exuberante trópico. De Shakespeare recuerda especialmente las obras *Ricardo III* y *El mercader de Venecia*, profundos tratados para meditar sobre lo humano. Además, están Borges con su «Funes el memorioso», un cuento del que aprende algo cada vez que lo relee, y el cuento «Tramontana» de García Márquez, un poderoso relato de suspenso.

De las lecturas académicas, las que tienen como centro de interés la ciencia, la filosofía y la divulgación, además de la obra mencionada de Thomas Kuhn, Carlos destaca *El azar y la necesidad*, de Jacques Monod, y *No está en los genes*, de R. C. Lewontin, S. Rose y L. Kamin. Sin embargo, resalta el hecho de que los profesionales formados en ciencia en nuestro medio no tienen una estructura formal de aprendizaje en estas lides de la historia y la filosofía de la ciencia, y por ello leen sobre estos temas más por intuición que por método. Una consecuencia de lo anterior es que estos profesionales no tienen claro el papel real de la ciencia en la sociedad y transitan por la vida con la ingenuidad de quien cree que la ciencia es neutral, o sea, dedicada exclusivamente a la producción del conocimiento.



Haciendo ciencia básica con insumos que están inmersos en el origen mismo de la tierra. Fotografía: Alejandra Uribe Fernández, Dirección de Comunicaciones.

La obra de Carlos

Tal como en la paradoja griega del barco de Teseo, de tiempo en tiempo, sale alguien del GIEM y entra alguien nuevo. Cuando Carlos ya no esté en el grupo, no quedará ninguna de las personas que lo iniciamos hace más de treinta años. La pregunta es: ¿seguirá siendo el GIEM? Y yo diría que sí. Los objetivos particulares de los proyectos y de las líneas de investigación habrán cambiado, pero el espíritu con el que se creó el grupo se conserva, las palabras de Carlos siguen transmitiéndose a los integrantes nuevos y todos los que llegan hacen el esfuerzo de conservar la esencia interdisciplinaria del grupo, además de las buenas relaciones y el trabajo juicioso y dedicado. Es lo que ha construido Carlos Peláez y es el ejemplo



En la construcción de la esencia interdisciplinaria del grupo. Fotografía: Alejandra Uribe Fernández, Dirección de Comunicaciones.

que deja a sus compañeros investigadores y estudiantes del grupo, quienes lo han escuchado hablar por mucho tiempo sobre la responsabilidad que tiene el científico frente a la sociedad y sobre el hecho de que hacer ciencia en un país como el nuestro no es fácil, pero tampoco es imposible. Carlos piensa que el buen profesional debe estar atento a las señales, no solo las que observa en los equipos y los experimentos de laboratorio, sino, sobre todo, las que se presentan a diario en el entorno, y que la incomodidad frente a lo que se ve no es sino la puerta de entrada a la acción. Sabemos que hay mucha más pedagogía en la inquietud que en el alivio, y por eso es que una buena manera de terminar este relato es con las palabras de Serrat, uno de los ídolos musicales de Carlos, quien tenía toda la razón cuando decía:

Seria fantàstic [...]

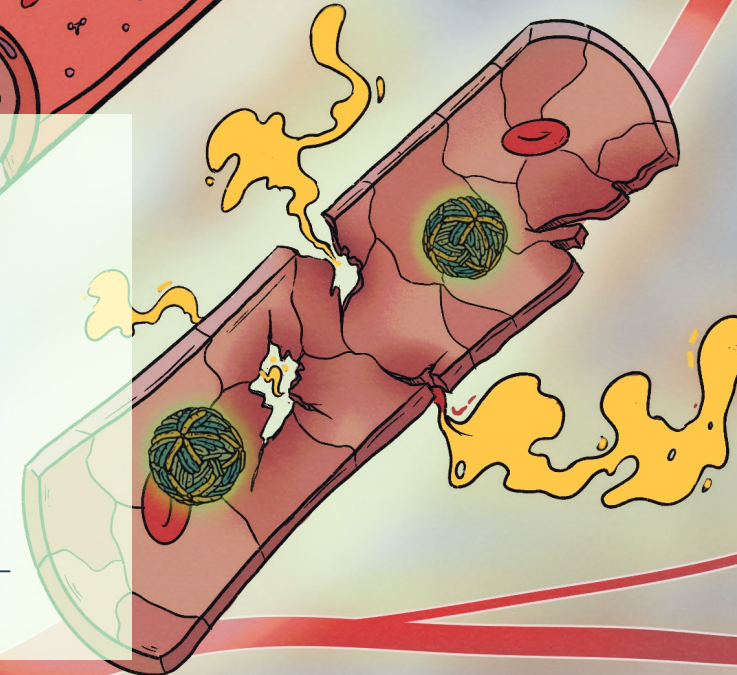
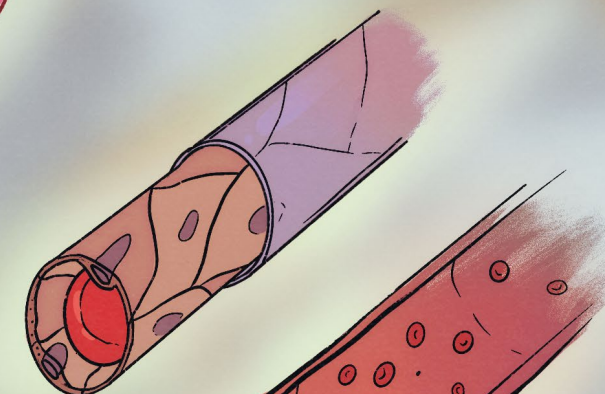
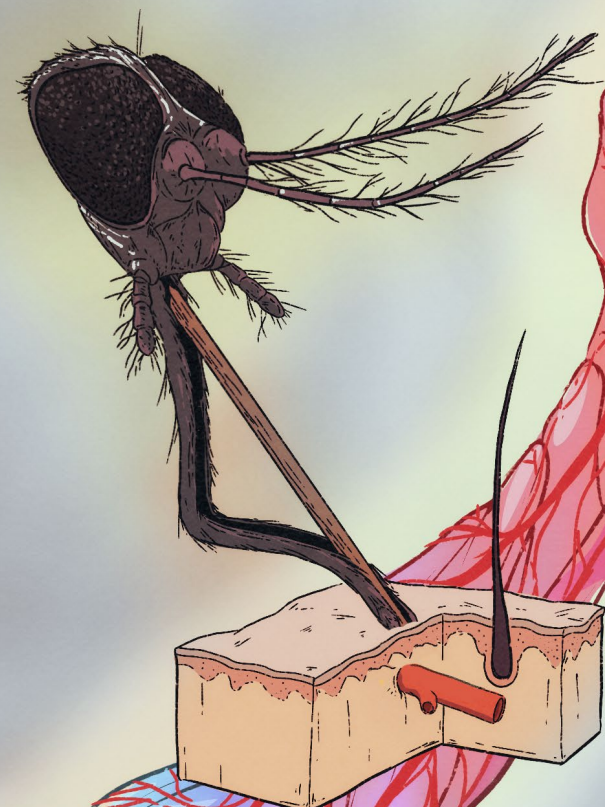
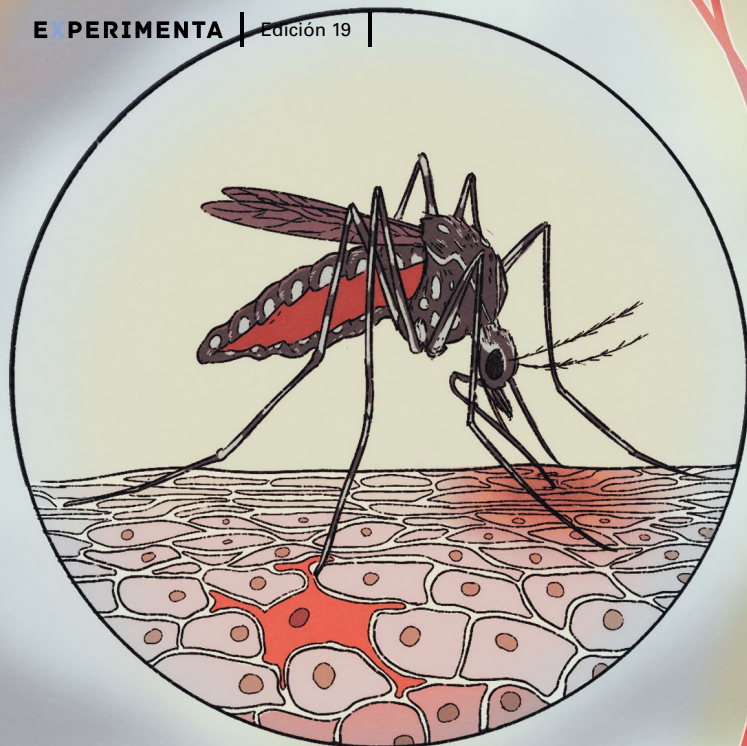
*Que s'instal·lés al barri
el paradís terrenal.*

Que la ciència fos neutral.

Sería fantástico [...]

Que se instalara en el barrio
el paraíso terrenal.

Que la ciencia fuera neutral. x



Autopista roja: disfunción endotelial por dengue

En la diminuta y extensa red de nuestro sistema circulatorio se tejen historias de supervivencia y enfermedad. Sobre esta intrincada trama, estudiamos el mecanismo del famoso virus del dengue, que de manera sigilosa, pero implacable, debilita las uniones celulares de la capa que protege nuestros capilares.

Alexandra Zúñiga
Microbióloga y bioanalista
yulieth.zuniga@udea.edu.co

Juan Carlos Gallego-Gómez
Ph. D. en Biología Molecular
Ph. D. en Filosofía de la Ciencia
carlos.gallego@udea.edu.co

Grupo de Medicina de Traslación —GMT—
Universidad de Antioquia

T

u cuerpo alberga un sofisticado sistema de carreteras, unas más angostas que otras, conocidas como microvasculatura o, simplemente, capilares, que forman una red sorprendentemente extensa. Si pudieras estirar todos esos capilares y unirlos, medirían unos noventa y seis mil kilómetros de longitud. ¡Eso es más largo que dos vueltas y media alrededor de la Tierra!

En el sistema vascular tenemos venas y arterias, y de ellas se desprenden unos conductos más pequeños, conocidos como microvasculatura, que comprenden arteriolas, capilares y vénulas. Cada uno posee una capa especial de células llamada endotelio, que recubre la pared interna del vaso como si fuera un manto protector entre la sangre y los tejidos vecinos.

Sin embargo, cuando esta barrera se daña, ocurre lo que conocemos como disfunción endotelial, que abre la puerta a enfermedades potencialmente mortales. Según la Organización Mundial de la Salud —OMS—, cada año se presentan en el mundo aproximadamente treinta millones de casos de sepsis (una respuesta inmune exagerada ante una infección), y seis millones de personas mueren a causa de ella. En estos casos nuestra red de autopistas microscópicas se llena de huecos, fugas y grietas, permitiendo que los líquidos y las proteínas escapen de manera incontrolable, como en una carretera llena de baches y obstáculos que dificultan el paso de la sangre y finalmente desencadenan ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares. Las enfermedades cardiovasculares, que ocasionan alrededor de 17,9 millones de muertes al año, son la principal causa de mortalidad en el mundo.

Por su parte, el virus dengue —DENV—, aunque no ataca directamente los capilares de la microvasculatura (como lo hacen los virus ébola y hantavirus), sí produce una alteración funcional del endotelio tras la liberación de unas sustancias que favorecen un aumento en la permeabilidad vascular como consecuencia de que los vasos se llenan de huecos.

Los anteriores ejemplos de cómo el daño en la microvasculatura afecta tejidos u órganos específicos remarcan su papel crucial en la circulación sanguínea, y permiten comprender por qué resulta fundamental abordar estas alteraciones en aras de ofrecer alternativas terapéuticas para las enfermedades o los padecimientos que se derivan del daño de los capilares.

Dengue, fiebre y disfunción endotelial

Con síntomas como la fiebre, los dolores musculares y el malestar general, el dengue puede convertirse en una experiencia difícil de olvidar. Los casos graves de dengue suelen atribuirse a una intensa respuesta inmune, en la que interactúan moléculas del virus y moléculas del paciente, generando mediadores inflamatorios

que incluyen las células de defensa del organismo y desencadenan una respuesta inflamatoria que afecta las células endoteliales. Sin embargo, a pesar de los intentos con inmunoterapias (medicamentos para el sistema inmune) para controlar el dengue grave, los resultados no han sido satisfactorios, lo que sugiere que la inflamación no es el principal determinante, o al menos no es el único.

Hallazgos que amplían nuestra comprensión de la enfermedad

El DENV tiene dos tipos de proteínas: estructurales, que le dan forma, y no estructurales —NS—, que realizan otras tareas, como la multiplicación del material genético (pero que no son componentes físicos del virus). Una de las proteínas no estructurales, la proteína NS1, ha sido descubierta degradando una capa protectora de la superficie de las células endoteliales: el glicocáliz. Este daño hace que aumente la permeabilidad del endotelio y provoca la fuga de líquido desde el vaso. Se ha descubierto que la proteína NS1 provoca este efecto sin activar la respuesta inflamatoria en el organismo, razón por la que tal vez la inmunoterapia que mencionamos antes no ha sido útil en la terapia contra la infección por dengue grave.

Hasta ahora nos hemos enfocado en la capacidad de la NS1 para alterar la permeabilidad de los vasos, pero ese no es el único mecanismo que podría explicar por qué el dengue provoca la fuga de plasma. El endotelio también se conserva gracias a que existe una especie de puentes que conectan las células, y como todos los puentes, tienen tablas (uniones intercelulares) y cables (citoesqueleto). Por eso es fundamental investigar sobre otros mecanismos más complejos que podrían estar involucrados en la disfunción endotelial inducida por el DENV, especialmente aquellos que afectan las uniones celulares.

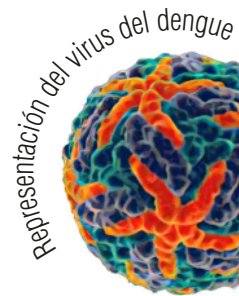
Moléculas inflamatorias y el sacudón al endotelio

El virus puede activar las células endoteliales para que entren en acción, defiendan su territorio y comiencen a exhibir un par de proteínas: la VCAM y la ICAM, que se desprenden de la superficie celular como si fueran señales para que las células endoteliales se separen, lo que genera la salida de líquido. Los hallazgos de Vervaeke *et al.* (2015), al analizar en detalle la disfunción endotelial por dengue, permiten comprender de una manera más profunda los mecanismos involucrados en la respuesta del endotelio vascular durante la infección, y en los experimentos realizados durante la etapa de recuperación de la fiebre se detectaron estas proteínas navegando en la sangre.

Los estudios llevados a cabo en nuestro laboratorio mostraron cambios morfológicos en células endoteliales que se expusieron a sobrenadantes de medios de cultivo de células previamente infectadas, pues estos líquidos, al contener las moléculas liberadas por las células endoteliales, tras el ataque del virus, propician un ambiente desfavorable que termina alterando tanto las uniones entre las células como el citoesqueleto.

CÓMO ACTÚA EL VIRUS DENGUE EN EL SISTEMA CIRCULATORIO

El Virus del Dengue (DENV) infecta las células endoteliales, guardianas de los vasos sanguíneos. Esta infección desencadena cambios que comprometen la función protectora del endotelio y aumentan la permeabilidad vascular, haciendo que líquidos y proteínas escapen a los tejidos circundantes.



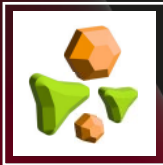
Debilita uniones entre células y ocasiona fugas

El virus del dengue (DENV) no infecta directamente las células endoteliales, pero inicia un proceso patogénico que afecta significativamente el endotelio vascular.

Esto ocurre en 4 fases

- 1 Inducción de factores solubles.
- 2 Activación de proteína c-ABL.
- 3 Debilitamiento de uniones celulares.
- 4 Disrupción del glicocáliz.

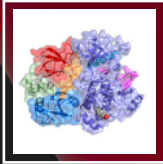
1



Inducción de factores solubles

Tras la infección por DENV las células liberan factores solubles como citocinas (moléculas inflamatorias) que actúan como señales que transmiten instrucciones a las células cercanas, incluso las no infectadas.

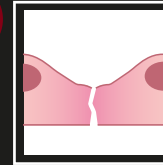
2



Activación de la proteína c-ABL

Los factores solubles inducen la activación de la quinasa c-ABL en las células endoteliales expuestas.

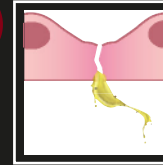
3



Debilitamiento de uniones celulares

La activación de la c-ABL provoca el debilitamiento de las uniones celulares entre las células endoteliales. Este debilitamiento compromete la integridad estructural del endotelio.

4



Disrupción del glicocáliz

La infección por DENV también conlleva la degradación del glicocáliz. La pérdida de esta estructura contribuye a la fuga vascular y la permeabilidad aumentada.

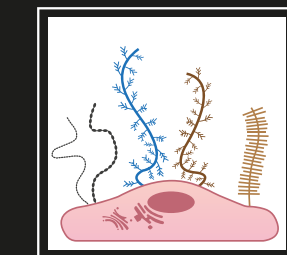
Endotelio

Es el tejido que reviste el interior de los vasos sanguíneos. Se compone de las células endoteliales y las uniones intercelulares.

Células endoteliales

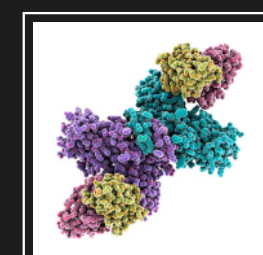
Unión untracelular rota

Estas uniones, que se debilitan durante la infección, son cruciales para la integridad de la barrera endotelial y su desestabilización contribuye a la fuga vascular, característica del dengue grave.



El glicocáliz endotelial

Es una capa protectora compuesta por azúcares y proteínas en la superficie de las células endoteliales. Esta estructura tipo gel es esencial para mantener una función de barrera adecuada. Su degradación contribuye a la fuga vascular.



MOLÉCULA NS1

La NS1 es una proteína viral que degrada el glicocáliz, capa clave para mantener la función de barrera. Curiosamente, la NS1 logra este efecto sin activar una respuesta inmune, lo que complica las opciones terapéuticas.

Propuesta Terapéutica Innovadora: Apuntando a la c-ABL



Descubrimos que la quinasa c-ABL es una pieza clave en el rompecabezas del dengue.



Al inhibirla con medicamentos como Imatinib, y mediante silenciamiento génico, podemos contrarrestar los efectos negativos de los factores solubles liberados durante la infección.

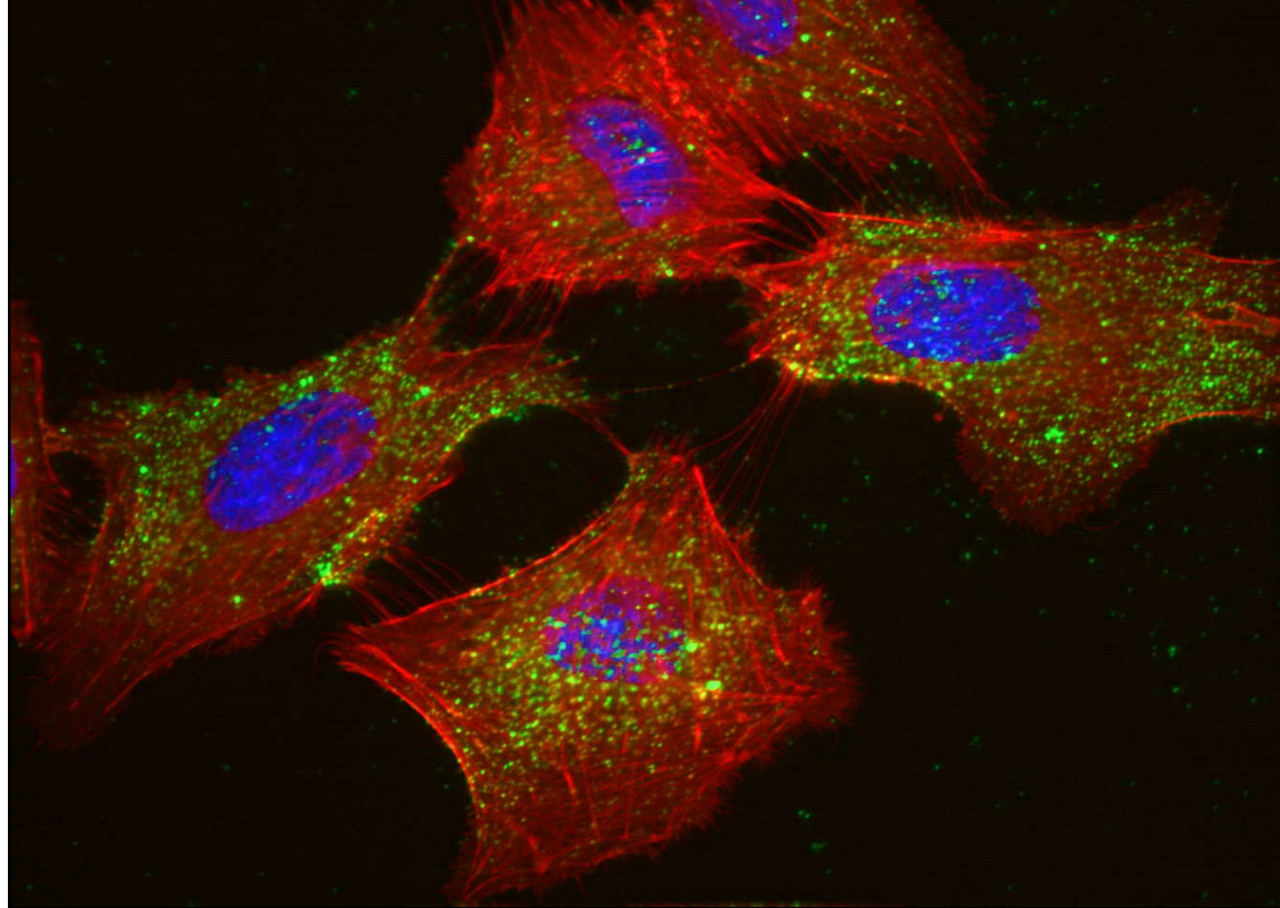


Esto no solo protege las uniones celulares y evita la fuga vascular, sino que también apunta directamente a la disfunción endotelial.



Una novedosa e interesante estrategia para combatir el dengue.

Fuga de líquido



Células infectadas con virus dengue —DENV— en las que se observan los virus marcados en color verde, los microfilamentos de actina en rojo y los núcleos celulares en azul. Fotografía: cortesía del grupo de investigación.

El intento de asignar un interruptor (c-ABL) molecular para disfunción endotelial

Las células endoteliales se mantienen unidas gracias a diversas proteínas, como la cadherina vascular endotelial —VE-cadherina—, pero también existen otros elementos que pueden debilitar las uniones celulares, como el factor de crecimiento vascular endotelial —VEGF—, pues este retira la VE-cadherina de la superficie celular, como si algunos ladrillos fueran extraídos del muro (endotelio). El VEGF también puede activar otras proteínas, como la

c-ABL, que causa la contracción celular y la apertura de las uniones interendoteliales; por lo tanto, debilita aún más la estructura y permite que se formen brechas más grandes.

Por suerte, contamos con fármacos como el Imatinib, que pueden bloquear o reducir la actividad de la c-ABL y, con ello, evitar la afectación del endotelio; sin embargo, el Imatinib también apunta hacia otras proteínas comprometidas en diversas enfermedades, de modo que resulta conveniente entender el papel específico de la c-ABL en un proceso tan complejo y multifactorial como la disfunción endotelial.

El Grupo de Medicina de Traslación —GMT—, de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, en sus experimentos de laboratorio, incubó las células endoteliales no infectadas con las moléculas liberadas durante la infección por el virus, y encontró que la proteína c-ABL se activaba más, lo que estaría afectando las conexiones entre las células.

Aunque el DENV no ataca directamente al endotelio, se simularon condiciones usando medios de cultivo obtenidos de otras

células previamente infectadas. Sorprendentemente, en las células endoteliales no infectadas, pero expuestas a esos medios, la proteína c-ABL se activó mucho más y las proteínas intercelulares disminuyeron, dejando brechas entre las células, desatando un daño en el endotelio y, por consiguiente, aumentando la permeabilidad vascular.

En otro episodio de nuestros estudios, estas moléculas incrementaron la actividad de la N-cadherina y la vimentina, proteínas que además de mantener las conexiones celulares, son típicas de células mesenquimales, un tipo de células versátiles y andariegas. Esto sugiere que las células endoteliales estarían sufriendo una transformación llamada transición endotelio-mesénquima¹, en la que dejan de ser las células protectoras y estáticas de la microvasculatura, para lanzarse a explorar otros territorios en el cuerpo. Pero esta aventura sale muy costosa, pues se afectan las uniones intercelulares y, por consiguien-

te, siguen abriendo la llave y se sigue perdiendo líquido o plasma. ¿Parece una historia sin fin, cierto? Pero así es la ciencia, aparecen nuevas puestas en escena y actores que pueden interpretar una obra de muchas maneras; por eso los científicos tratan de recrear cada episodio posible que les permita ir hilando la historia que esconde cada enfermedad. Así que es interesante y cobra bastante sentido la manera en que los procesos relacionados con la microvasculatura determinan la fisiopatología de diversas e importantes enfermedades. X

1. Ver: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/issue/view/5461>.

Glosario

c-ABL: Proteína que participa en la regulación del citoesqueleto y las uniones intercelulares. En el caso del dengue, su activación se asocia con la alteración de las uniones entre células y la disfunción endotelial.

Citoesqueleto: Estructura interna de las células que actúa como

«andamio» y les da forma permitiéndoles moverse y transportar componentes dentro de ellas.

ICAM: Molécula de adhesión intercelular que participa en las interacciones adhesivas célula con célula.

Sobrenadante: Parte líquida del cultivo que queda después de que

las células se han separado mediante la centrifugación u otro método de separación.

VCAM: Molécula de adhesión vascular. Permite que las células endoteliales se adhieran entre sí.

Este texto se deriva de los proyectos de investigación Minciencias 111584466951, CODI 2020-34137 y Dedicación Exclusiva 15337.

La inflamación crónica,

enemigo silencioso en la obesidad

Federico Rincón Acosta

Estudiante de Medicina,
federico.rincon@udea.edu.co

Paula Andrea Salazar Ospina

Estudiante de Medicina,
andrea.salazar1@udea.edu.co

David Ernesto Bautista Erazo

Químico farmacéutico, M. Sc.,
ernesto.bautista@udea.edu.co

Érika Caro Gómez

Bacterióloga, Ph. D.,
erika.caro@udea.edu.co

José Robinson Ramírez Pineda

Bacteriólogo, PhD,
jrobinson.ramirez@udea.edu.co

El cuerpo humano batalla todo el tiempo para conseguir el equilibrio. Exploramos la relación entre la inflamación crónica y el síndrome cardiometabólico, resaltando cómo nuevas terapias experimentales, desde las intervenciones dietarias hasta la inmunomodulación, están transformando el enfoque del tratamiento de las enfermedades crónicas.



Imaginemos dos brigadas que velan por la seguridad de nuestro cuerpo: una defensora, que combate amenazas externas como las infecciones, y otra reparadora, que mantiene la integridad y la funcionalidad del cuerpo mediante una función llamada homeostática, cuya labor es preservar un estado saludable incluso en ausencia de agresiones. Ambas facetas del sistema inmunitario, tanto la defensiva como la reparadora y homeostática, son necesarias para mantener nuestros cuerpos íntegros y funcionales.

El delicado equilibrio de una inflamación óptima

¿Cómo el sistema inmunitario logra mantener este equilibrio? Cuando se detecta una amenaza, este sistema lanza un ataque para neutralizarla; este fenómeno es lo que se conoce como inflamación. Los procesos inflamatorios deben estar muy bien regulados, puesto que, si son muy débiles, el cuerpo se vuelve propenso a desarrollar infecciones o incluso cáncer, mientras que, si el ataque es excesivo, puede traer daños colaterales excesivos, como en el caso de las enfermedades alérgicas, autoinmunes o degenerativas. Por tanto, el sistema inmunitario debe equilibrar la acción de las dos «brigadas», manteniendo un grado de inflamación óptimo en cada escenario. En la jerga científica, estas brigadas de defensa y homeostática se conocen, respectivamente, como mediadores efectores/proinflamatorios y mediadores reguladores/antinflamatorios.

Típicamente, el ciclo inflamación/resolución ocurre durante días/semanas después de, por ejemplo, una quemadura leve. Este tipo de inflamación, denominada aguda, se caracteriza por ser repentina e intensa (causa dolor, hinchazón, enrojecimiento, fiebre, etc.), pero susceptible de ser controlada por los mediadores reguladores/antinflamatorios. Por más molesta que parezca, la inflamación aguda es una respuesta natural y necesaria del organismo ante una infección o una lesión. No obstante, existen circunstancias en las que es posible que la inflamación no se controle oportunamente, con lo cual se mantiene en el tiempo e impide que se restauren apropiadamente el tejido afectado y su función. Este proceso se denomina inflamación crónica, y suele ser de magnitud baja y, por ende, poco sintomática. La adopción de estilos de vida poco saludables, el envejecimiento, el estrés crónico y el mal sueño contribuyen a la inflamación crónica en los humanos, la cual es usualmente silenciosa, aunque con el tiempo puede terminar afectando nuestra salud.

Obesidad, inflamación y síndrome metabólico

Mientras un evento de inflamación aguda, detonado por una infección o una lesión, tiene un carácter típicamente transitorio, la inflamación crónica se mantiene en el tiempo debido a la persistencia de uno o varios desencadenantes. Un ejemplo notable de este tipo de inflamación, y de gran vigencia actual, lo constituye la epidemia de obesidad producida por factores relacionados con el estilo de vida, como una dieta inadecuada (abundante en grasas saturadas, carbohidratos simples y sal), la falta de actividad física y el estrés prolongado. A pesar de que la inflamación ocasionada por la obesidad no causa ningún síntoma visible, contribuye en gran medida al desarrollo posterior de enfermedades crónicas tan serias como las del corazón, la diabetes y ciertos tipos de cáncer.

La obesidad se caracteriza por la desorganización de la estructura del tejido adiposo y por provocar la muerte de los adipocitos, fenómeno que supera la capacidad de las brigadas restauradoras del sistema inmunitario para limpiar estos desechos celulares y recomponer su funcionamiento. El sistema inmunitario interpreta la acumulación de estas células muertas como señales de peligro (patrones moleculares asociados a daño o DAMP, en inglés, *damage associated molecular patterns*), las cuales, si no logramos mejorar nuestro estilo de vida y mantener una composición corporal saludable, se hacen persistentes y provocan un círculo vicioso de muerte celular, estrés oxidativo e inflamación. Como si fuera poco, esta inflamación crónica de bajo grado causada por la obesidad también puede conducir al desarrollo de resistencia a la insulina, lo que puede causar una condición relacionada con el síndrome cardiometabólico.

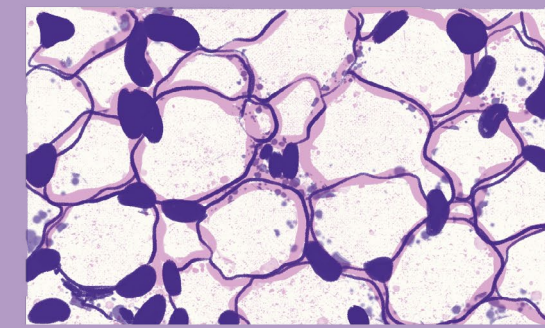
Ante este problema, ejercicio y buena alimentación

Para tratar las enfermedades asociadas a este síndrome, es típico que los médicos recomienden hacer ejercicio y tener una alimentación adecuada. Pero... ¿cómo estas recomendaciones impactan la inflamación crónica?

Por un lado, durante el ejercicio físico, el músculo libera mioquinas, sustancias que actúan en el cuerpo para producir diversos efectos favorables. Las mioquinas pueden actuar sobre las células del sistema inmunitario regulando la respuesta inflamatoria; además, pueden estimular la producción de antioxidantes y otras moléculas protectoras y reparadoras. También pueden actuar directamente sobre el tejido adiposo para aumentar el gasto de la grasa almacenada. Estos efectos combinados pueden mitigar la resistencia a la insulina, promover la captación de glucosa y disminuir la obesidad central, mejorando el estado metabólico e inmunológico general.

Además del ejercicio, la dieta es otro hábito con el potencial de modular el sistema inmunitario. Se recomienda seguir una dieta con cantidades de alimentos adecuadas, sin excesos, y que incluya el consumo de frutas, verduras, frutos secos, aceite de oliva, pescado, granos enteros y productos fermentados, como el yogur. Este patrón de alimentación es muy importante para mantener la salud de las bacterias benéficas del intestino. Estas bacterias tienen muchas funciones, como la de mantener el balance proantinflamatorio y preservar la integridad de la barrera intestinal. Esto, a su vez, permite mantener un equilibrio adecuado y diverso de las poblaciones bacterianas, cuya alteración se considera un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades asociadas al síndrome cardiometabólico.

Por otro lado, resulta interesante que algunos de los fármacos que ya se emplean para el manejo de problemas causados por este síndrome, como las estatinas (para disminuir el colesterol) y la metformina (para el manejo de la hiperglucemia), parecen tener efectos antinflamatorios, lo que da lugar a la idea de que modular la inflamación crónica puede ser un blanco terapéutico para el manejo de estas condiciones.



Inflamación del tejido adiposo: En la obesidad, el aumento del tamaño de los adipocitos (las células del tejido graso) conduce a su muerte, a la sobreproducción de citoquinas proinflamatorias y a la liberación de DAMP.



Resistencia a la insulina: La insulina es una hormona producida por el páncreas y que sirve de llave para abrir las puertas que permiten el ingreso de la glucosa a los tejidos. La inflamación del tejido adiposo «traba» la cerradura, impidiendo que la glucosa ingrese a los tejidos, y por mucha insulina que se fabrique, los tejidos se «resisten» a su efecto. El resultado es la acumulación de glucosa en la sangre (hiperglucemia), el estrés celular y metabólico, y más inflamación.



Estrés oxidativo: Desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad antioxidante del organismo para neutralizarlos. La obesidad lleva al estrés oxidativo, el cual promueve la liberación de DAMP y la inflamación crónica.

SI TENGO SOBREPESO, ESTOY INFLAMADO

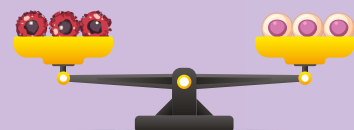
Respuesta inflamatoria EXACERBADA



Se presentan en trastornos como:

- Enfermedades autoinmunes
- Alergias
- Inflamación crónica
- Enfermedades neurodegenerativas y asociadas al envejecimiento

Respuesta inflamatoria EQUILIBRADA

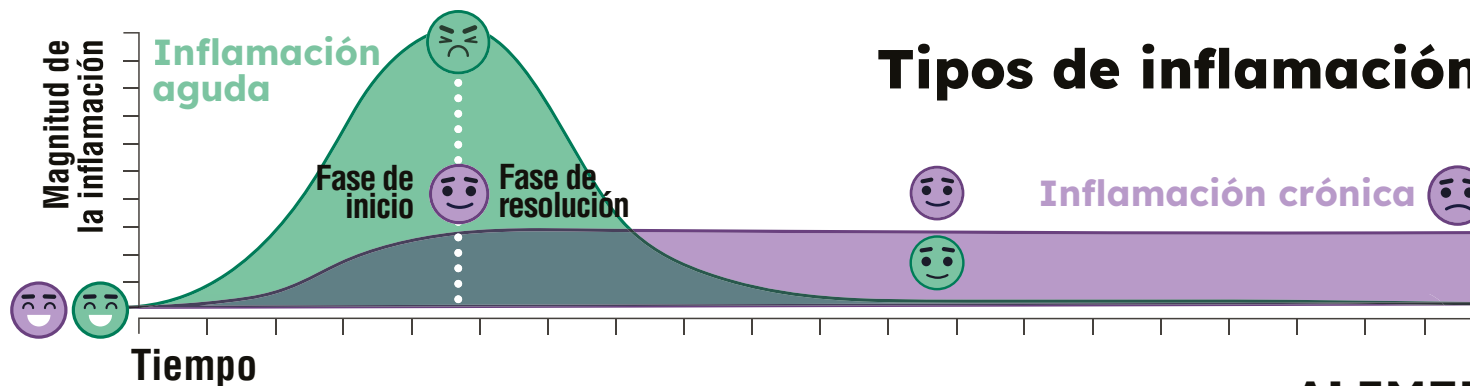


Se caracteriza por un balance de los mediadores pro/antiinflamatorios y por la resolución adecuada de la inflamación. Se relaciona con un mejor estado de salud y mejor capacidad para recuperarse tras una enfermedad.

Respuesta inflamatoria INSUFICIENTE



- Mayor riesgo de infecciones.
- Más susceptibilidad a desarrollar cierto tipo de tumores.

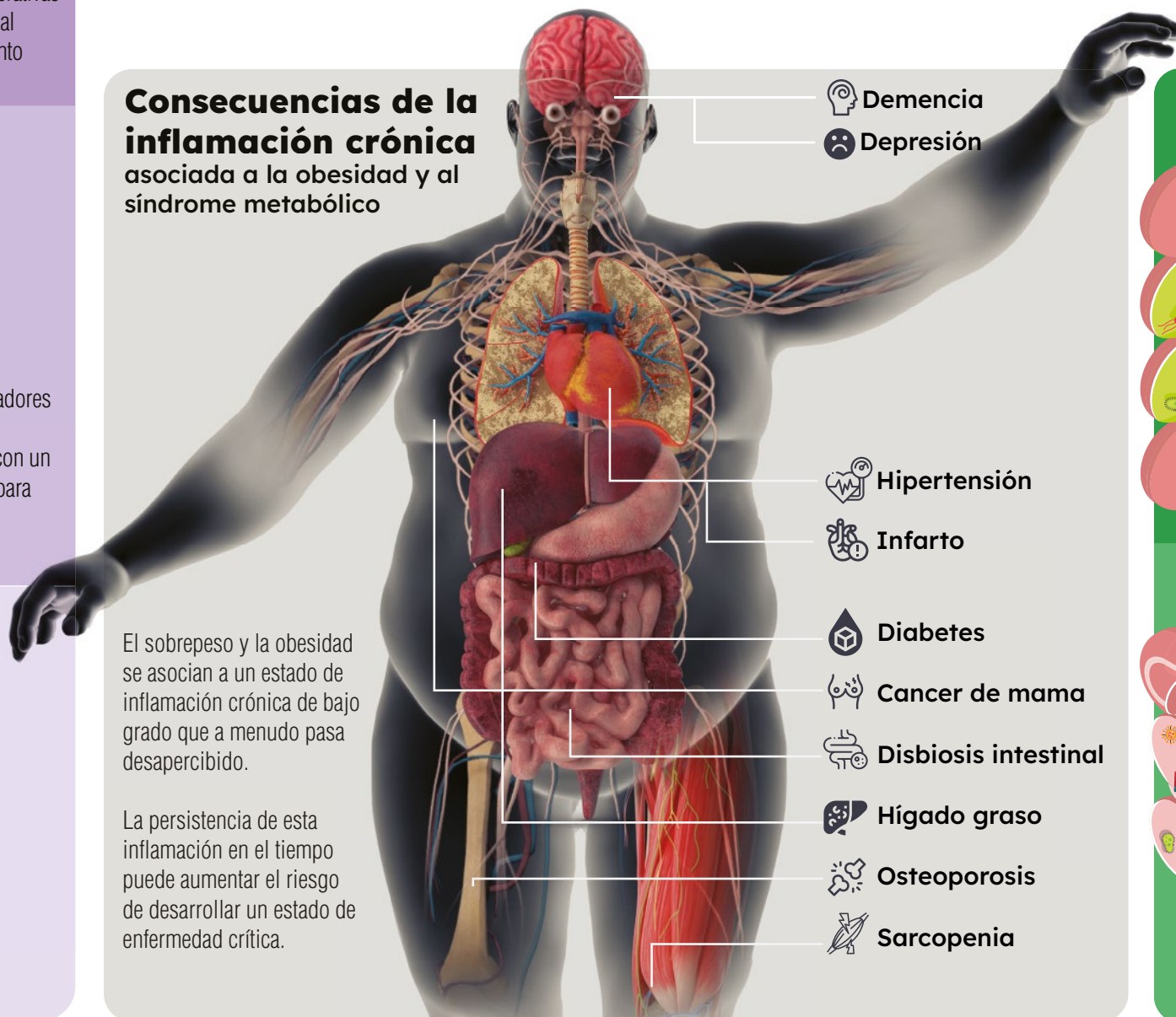


La inflamación es un mecanismo de defensa del cuerpo que, cuando se resuelve de manera oportuna y adecuada, permite retornar al equilibrio funcional propiciando un buen estado de salud.

Uno de los retos actuales y futuros más grandes de la sociedad moderna lo constituye las epidemias de sobrepeso y obesidad; ellas, sin que logremos advertirlo, nos provocan un estado de inflamación de bajo grado no resuelto, cuya persistencia nos hace más vulnerables a enfermedades y muerte temprana.

Lo normal es que después de que ocurra una injuria en el cuerpo (por ejemplo, una quemadura) se propicie la respuesta inflamatoria seguida por su resolución. Cuando tenemos sobrepeso/obesidad hay una inflamación de bajo grado que no se resuelve y que persiste.

Consecuencias de la inflamación crónica asociada a la obesidad y al síndrome metabólico



Demencia
Depresión

Hipertensión
Infarto

Diabetes
Cáncer de mama
Disbiosis intestinal

Hígado graso
Osteoporosis
Sarcopenia

El sobrepeso y la obesidad se asocian a un estado de inflamación crónica de bajo grado que a menudo pasa desapercibido.

La persistencia de esta inflamación en el tiempo puede aumentar el riesgo de desarrollar un estado de enfermedad crítica.

ALIMENTACIÓN Y MICROBIOTA INTESTINAL

Microbiota alterada

- Poco diversa
- Produce más sustancias dañinas que benéficas
- Altera la barrera intestinal
- Propicia infecciones
- Propicia sobrepeso/obesidad

Intervenciones para el restablecimiento del balance inmunitario



Inflamación crónica de bajo grado

Microbiota saludable

- Muy diversa
- Produce más sustancias benéficas que dañinas
- Preserva la barrera intestinal
- Protege de infecciones
- Propicia una composición corporal saludable

Respuesta inflamatoria equilibrada

¿Qué estamos haciendo en la UdeA?

El Grupo Inmunomodulación —GIM— de la Universidad de Antioquia ha investigado cómo manejar la inflamación crónica utilizando intervenciones dietarias e inmunoterapias en animales de experimentación. El uso de ratones de experimentación es una práctica común en la investigación biomédica, regulada y supervisada por comités de ética, la cual ha posibilitado avances significativos en la comprensión de diversas enfermedades y en el desarrollo de nuevos tratamientos médicos. En uno de nuestros estudios con ratones alimentados con una dieta rica en grasa se encontró que un suplemento experimental de café verde redujo la adiposidad, la obesidad y la acumulación de grasa en el hígado. De manera interesante, se observó que estos ratones estaban menos inflamados y que el tratamiento contribuyó a preservar la diversidad de bacterias de la microbiota intestinal. Este último aspecto es importante, ya que la dieta occidental promueve la pérdida de la diversidad bacteriana. En conjunto, la intervención nutricional mejoró varios aspectos importantes del síndrome cardiometabólico.

Si la inflamación crónica es un problema, ¿por qué no se trata a las personas que sufren de enfermedades crónicas con fármacos antiinflamatorios e inmunosupresores? Estos fármacos están diseñados para mitigar la inflamación que es clínicamente evidente (por ejemplo, cuando tenemos dolor, fiebre, malestar, hinchazón, etc.) y, si se usan por mucho tiempo, pueden acarrear efectos adversos (por ejemplo, mayor propensión a las infecciones o a desarrollar úlceras gástricas o cáncer). Por esta razón, una meta de la farmacología moderna es la de desarrollar inmunomoduladores que mitiguen la inflamación patológica sin perjudicar la respuesta de defensa. En el GIM también hemos desarrollado un enfoque inmunoterapéutico experimental, en el que moléculas «pequeñas» (como la curcumina, la vitamina D y la dexametasona) se inyectan por vía subcutánea y en dosis bajas para tratar enfermedades inflamatorias crónicas. En estas investigaciones hemos confirmado que la modulación de la respuesta inflamatoria por medio de la inducción de un potente mediador antiinflamatorio llamado IL-10 ayuda a restablecer el equilibrio proantiinflamatorio y mitiga la aterosclerosis y la inflamación neurológica autoinmune en modelos animales experimentales. A este respecto, la estrategia que utilizamos resultó ser conveniente y segura, dado que se basa en la administración de bajas dosis que no suprimen la función defensiva del sistema inmunitario, y además

realista, dado que usa moléculas pequeñas ampliamente conocidas, disponibles y sumamente baratas.

En conclusión, la evidencia reciente de numerosos grupos de investigación alrededor del mundo, incluyendo el nuestro, confirma que, más allá de las intervenciones actuales para el síndrome cardiometabólico (por ejemplo, con estatinas y metformina, dirigidas a modificar el metabolismo de lípidos y azúcares), existe una nueva frontera para tratar estas enfermedades con el propósito de moldear la respuesta

inflamatoria. Desde esta perspectiva, la regulación adecuada del sistema inmunitario podría mitigar la inflamación crónica y, por tanto, contribuir a aliviar las enfermedades que se relacionan con esta, independientemente de su origen (metabólico, autoinmune, alérgico, etc.).

Glosario

Aterosclerosis: Reacción inflamatoria a la acumulación de lípidos en la pared de las arterias que da lugar a placas ateromatosas, las cuales pueden romperse y ocasionar hemorragias o la formación de trombos que pueden generar infartos del corazón, accidentes cerebrovasculares o la formación de aneurismas.

Composición corporal saludable: Relación entre la grasa corporal y el músculo. Es preciso tener una relación grasa-músculo adecuada para mantener la homeostasis metabólica e inmunológica del organismo, y en general la salud.

Función homeostática: Capacidad del sistema inmunitario de mantener al organismo en un estado saludable y estable. Le permite reconocer daños y alteraciones en los órganos, y reaccionar de forma adecuada y proporcional con el fin de que se retorne a un equilibrio funcional.

Moléculas «pequeñas»: Compuestos de bajo peso molecular que pueden difundirse rápidamente y llegar a sus sitios de acción en las células para modificar o regular diferentes funciones. Muchos medicamentos son moléculas pequeñas.

Síndrome cardiometabólico: Agrupa diversas alteraciones metabólicas que se consideran factores de riesgo que elevan la posibilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares y diabetes. Ocurre cuando se presentan tres de las siguientes condiciones: aumento de la obesidad central (exceso de grasa en el abdomen), hiperglucemia, dislipidemia (triglicéridos altos o «colesterol bueno», cHDL bajo) e hipertensión. Estas alteraciones son consecuencia de la resistencia a la insulina.

Agradecimientos

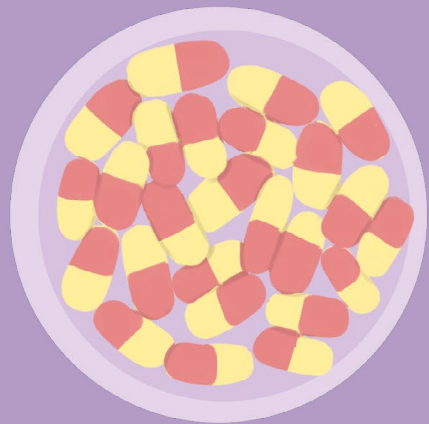
A los miembros actuales y pasados del GIM: Laura Ospina, Julio Jaramillo, Jorge Tabares, Natalia García, Christian Piedrahíta, Diana Tabares.

A los colaboradores: Katalina Muñoz y los integrantes del Centro de Investigación en Nutrición, Salud y Bienestar Vidarium (Medellín, Colombia). Alexis Kalergis y los integrantes del Instituto Milenio de Inmunología e Inmunoterapia (Santiago de Chile, Chile).

A los financiadores: Centro de Investigación en Nutrición, Salud y Bienestar Vidarium; Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías de Colombia —SGR—; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia; y Universidad de Antioquia.



Metformina: Medicamento que reduce la producción de glucosa en el hígado y que mitiga la resistencia a la insulina, ayudando así a controlar los niveles elevados de glucosa en la sangre.



Estatinas: Grupo de medicamentos usados para reducir los lípidos que el cuerpo produce, disminuyendo así su concentración en la sangre y, de esta manera, la acumulación del «colesterol malo» (cLDL) en las arterias.

Recientemente se ha descrito que las estatinas y la metformina, además de ejercer los efectos mencionados, también pueden reducir la inflamación crónica.

La incomodidad cósmica:

LA MATERIA OSCURA COMO LA PIEDRA EN EL ZAPATO DE LA FÍSICA

José David Ruiz Álvarez

Físico, Universidad de Antioquia
 Doctor en Física de Partículas, Université Claude Bernard Lyon I, Francia
josed.ruiz@udea.edu.co

La física fundamental de nuestros días camina con varias incomodidades en su día a día. La materia oscura es una de las principales porque, aunque compone alrededor de una cuarta parte del universo, desconocemos su naturaleza. La primera cuestión por resolver, antes que la de su composición, será la de cómo buscarla.

En algún momento, todos hemos sentido una incomodidad en los zapatos, sin que logremos entender la causa. Sabemos que podemos quitarnos los zapatos, sacudirlos, hurgar con nuestros dedos en un intento por descubrir el origen del malestar. Por más que busquemos, no logramos encontrarlo. Seguimos caminando, sin saber bien qué nos atormenta como un fantasma podal. No lo vemos, pero nuestro dolor es fiel testigo de que allí está.

Esta comparación sirve para ilustrar cómo la materia oscura puede asemejarse a una gran incomodidad en los zapatos de los físicos, porque, aunque sabemos que está ahí, desconocemos de qué está hecha. Este tipo de extrañeza es tal vez una de las propiedades más importantes de la ciencia, pues hace que un objeto adquiera un carácter de primer interés científico.

Ese es el caso de la materia oscura: le pusimos un nombre a ese objeto incómodo porque debía domesticarse. Aquello que no se podía ver era entonces, en rigor, oscuro. Además, era materia,

porque era *grave*, atraía a otra materia, y entonces así fue como la llamamos *materia oscura*. Su composición hasta ahora es completamente desconocida, aunque algunos de sus comportamientos no lo son tanto: no emite luz, orbita en las galaxias y ayuda a que ellas existan. Sobre las estrellas, al contrario, podemos saber muy bien de qué están hechas al estudiar la luz que emiten.

Según nuestra teoría de cómo se ha formado el universo, sin materia oscura no podríamos ver las galaxias en el telescopio. Pero no solo las galaxias están gobernadas por la interacción gravitacional, hay muchos otros fenómenos que no se pueden explicar sin asumir que hay más materia de la que vemos rondando en el universo.

Si toda la materia que conocemos, la normalita, la de los objetos de nuestro día a día y de la que estamos hechos, está formada por partículas fundamentales, ¿por qué no habría de estar hecha la materia oscura también de alguna partícula fundamental? La incomodidad, así, se instauró en lo más profundo de la física de partículas.

Modelos simplificados en el estudio de nuevas partículas

La búsqueda de materia oscura ha llevado a los físicos a desarrollar modelos teóricos que expliquen (o intenten hacerlo) su naturaleza y su comportamiento. Los modelos simplificados —herramientas teóricas derivadas del Modelo Estándar, es decir, que experimentan con las partículas y los acoplamientos de este— han sido útiles como referencia en las simulaciones de la manera en que se verían las señales de materia oscura en el Gran Colisionador de Hadrones —LHC, por sus siglas en inglés, *large hadron collider*—. Otros se han descartado por sus limitaciones en relación con el alcance energético en las búsquedas en el LHC, como los modelos de materia oscura inerte y la teoría de campos efectivos.

Entonces, siguiendo con nuestra comparación, ¿cómo diseñar un método que nos llevara efectivamente al encuentro de la incomodidad? ¿Cómo hacer un mapa para circunnavegar el globo cuando aún no se sabe si el mundo puede realmente circunnavegarse? Es decir, ¿cómo debemos planear la búsqueda?

Los modelos simplificados proporcionan un enfoque que se vale de suposiciones teóricas mínimas y un marco de interpretación simple. El reto sería entonces prever todas las posibles señales para la búsqueda de materia oscura con el enfoque del modelo simplificado.

Usar los datos del LHC para buscar la piedra en el zapato

¿Qué mejor lugar para buscar partículas que un colisionador de partículas? El LHC es una de las herramientas más poderosas en la búsqueda de materia oscura: se trata de hacer chocar protones, analizar las señales de los choques y comparar estas con las señales que tienen los modelos. La ecuación que rige este mecanismo es famosa, ha sido comprobada y vuelta a corroborar: la masa y la energía son equivalentes. La energía la podemos transformar en masa y la masa en energía. Las bombas atómicas hacen lo segundo, y los colisionadores, lo primero.

Si la materia oscura está hecha de una partícula fundamental muy masiva, entonces un colisionador podría acelerar partículas hasta una energía tan alta que produjera dichas partículas de materia oscura. Dado que son partículas con mucha masa, haría falta mucha energía.

Zapatos nuevos: un enfoque novedoso en el uso de modelos simplificados para la búsqueda de materia oscura

En el Grupo de Investigación Fenomenología de Interacciones Fundamentales de la Universidad de Antioquia —GFIF— diseñamos, entonces, un método para buscar materia oscura en un caso particular de colisiones del LHC. Este colisionador toma protones y los lleva a energías grandísimas antes de colisionarlos. Al acelerar protones a tales energías y hacerlos colisionar, podemos generar partículas de masas muy grandes, miles o millones de veces más grandes que la del mismo protón. Nuestra partícula candidata a materia oscura es, en efecto, tremendamente masiva, y el bosón vectorial que la produce, cien millones de veces más masivo que el protón.

Así pues, examinamos si de las colisiones a grandes energías entre dos protones podemos esperar, una vez cada muchos millones de colisiones, que se produzcan un par de partículas de materia oscura. Esto lo hicimos construyendo un aparataje teórico que nos permitiera predecir la producción de materia oscura sin alterar los demás procesos físicos que ya conocemos en este intrincado mundo de colisiones. Debido a esta simpleza, llamamos este constructo teórico «modelo simplificado».

Ese método se pensó para que fuera independiente del «equipaje» teórico que nos impone la tradición, es decir, el Modelo Estándar de Física de Partículas, para escapar de los sesgos usuales de la teoría y acercarnos a un marco más experimental. En palabras poco usadas, nos pusimos en zapatos nuevos para tratar de andar en un camino extraño y desconocido. Nos cambiamos los zapatos para ver si los nuevos no tenían una piedra adentro.

La topología de fusión de bosones vectoriales —VBF, por sus siglas en inglés, *vector boson fusion*—, proceso en el que dos bosones vectoriales se fusionan para producir nuevas partículas cuya desintegración podría ser materia oscura, es un enfoque novedoso que se ha aplicado recientemente en el contexto de los modelos simplificados. ¡Y encontramos que es importante!

No hemos sido los únicos en estudiarlo así, pues ya otros equipos de científicos han tratado de explorar caminos que indiquen cómo las colisiones del LHC pueden producir materia oscura. Nuestra exploración, por su parte, mostró que hay al menos un camino adicional, inexplorado, para hallar la materia oscura en los millones de colisiones de protones.

Utilizamos diversos métodos computacionales para simular las colisiones del LHC. Con esto pudimos estimar qué tan bien podemos distinguir las colisiones que producen materia oscura de aquellas que solo producen lo que normalmente vemos en el LHC: las partículas de la materia conocida. Requerimos de una alta capacidad computacional y de análisis, lo que nos ha exigido utilizar tecnología de punta tanto en relación con el *hardware* como con el *software*.

Después de un largo trabajo en el cual demostramos que podemos simular muy bien las colisiones del LHC, logramos establecer que con un grado de confianza muy alto hay posibilidades de detectar la materia oscura en caso de que se produzca en el LHC, en los procesos específicos de producción que nosotros decidimos estudiar. No solo encontramos que la topología VBF es un camino nuevo, sino que también nos percatamos de que para algunos tipos de materia oscura puede ser incluso más prometedora que los caminos ya trazados.

Datos del LHC. Imagen: Cortesía del investigador.

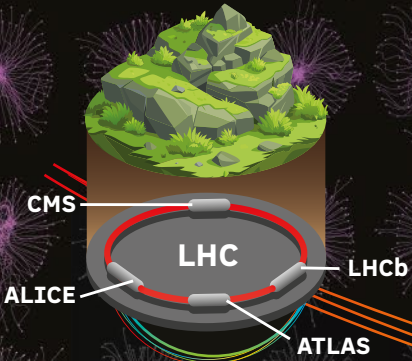
```

root [3] tree->Scan()
*****
*   Row   *   x.x   *   y.y   *   z.z   *
*****
*   0 * -1.102278 * -1.799389 * 4.4528222 *
*   1 * 1.8671779 * -0.596621 * 3.8423130 *
*   2 * -0.524181 * 1.8685209 * 3.7661390 *
*   3 * -0.380611 * 0.9691280 * 1.0840740 *
*   4 * 0.5524539 * -0.212309 * 0.350281 *
*   5 * -0.184954 * 1.1873049 * 1.4439020 *
*   6 * 0.2056429 * -0.770147 * 0.6354169 *
*   7 * 1.0792219 * -0.327389 * 1.2719039 *
*   8 * -0.274919 * -1.721428 * 3.0388989 *
*   9 * 2.0477790 * -0.062677 * 4.1973290 *
*  10 * -0.458676 * -1.443218 * 2.2932660 *
*  11 * 0.3047310 * -0.884635 * 0.8754420 *
*  12 * -0.712336 * -0.222391 * 0.5568810 *
*  13 * -0.271865 * 1.1817669 * 1.4704840 *
*  14 * 0.8862019 * -0.654106 * 1.2132090 *
*  15 * -2.035552 * 0.5276479 * 4.4218831 *
*  16 * -1.459046 * -0.463997 * 2.3441131 *
*  17 * 1.2306610 * -0.005650 * 1.5145590 *
*  18 * 0.0887869 * 1.8853290 * 3.5623469 *
*  19 * -0.314153 * -0.329160 * 0.2070399 *
*  20 * -0.198253 * 0.6460700 * 0.4567120 *
*  21 * -1.636217 * 1.0495510 * 3.7787621 *
*  22 * 1.2211090 * 0.8143829 * 2.1543269 *
*  23 * 1.4131350 * 1.5498369 * 4.3989419 *
*****

root [5] tree->Show(0)
===== EVENT:0
x           = -1.10228
y           = -1.79939
z           = 4.45282
root [6] tree->Print()
*****
*Tree      :ntuple      : data from ascii file
*Entries   : 1000      : Total = 14008 bytes File Size = 11864
*          :           : Tree compression factor = 1.07
*****
*Br 0 :x          : Float_t
*Entries : 1000      : Total Size= 4541 bytes File Size = 3816
*Baskets : 1         : Basket Size= 32000 bytes Compression= 1.07
*.....
*Br 1 :y          : Float_t
*Entries : 1000      : Total Size= 4541 bytes File Size = 3816
*Baskets : 1         : Basket Size= 32000 bytes Compression= 1.07
*.....
*Br 2 :z          : Float_t
*Entries : 1000      : Total Size= 4541 bytes File Size = 3743
*Baskets : 1         : Basket Size= 32000 bytes Compression= 1.09
*.....
root [7]
    
```

Emular al LHC

La materia oscura constituye aproximadamente una cuarta parte del universo, pero su naturaleza sigue siendo un misterio. Científicos de la Universidad de Antioquia utilizan los datos del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en Suiza probando el enfoque de un Modelo Simplificado para detectar esta esquiva entidad.



En las instalaciones del CERN se encuentra el acelerador de partículas más grande del mundo, el LHC (Gran Colisionador de Hadrones).

Tiene una circunferencia de 27 km, está ubicado en la frontera franco-suiza cerca de Ginebra, y está a 100 metros bajo tierra, en él se colisionan protones e iones de plomo.

Para acelerar partículas en el anillo principal, se crean protones y se aumentan su energía para hacerlos colisionar en cuatro puntos donde están los experimentos ALICE, ATLAS, CMS y LHCb.

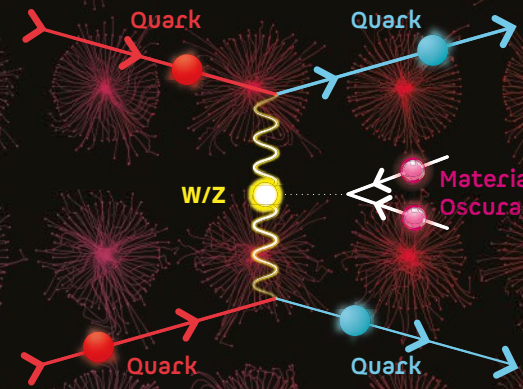
El CMS (Solenoides Compacto de Muones), uno de los detectores más grandes del LHC, busca nueva física. Mide la energía y el momentum de las partículas generadas en las colisiones.

Diversos experimentos han identificado las partículas fundamentales indivisibles:

Quarks	Leptones	Bosones
u Up	e Electrón	γ Fotón
d Down	ν_e Neutrino electrón	W
c Charm	μ Muon	Z
s Strange	ν_μ Neutrino mu	g
t Top	τ Tau	H
b Bottom	ν_τ Neutrino tau	

Nuestra partícula candidata a materia oscura es, en efecto, tremendamente masiva, y el bosón vectorial que la produce, cien millones de veces más masivo que el protón.

Modelo Simplificado



Los modelos simplificados dependen de las masas de las partículas involucradas y del tipo de colisión.

Ayudan a interpretar resultados y diseñar búsquedas en el LHC, y pueden adaptarse a modelos más complejos. Se utilizan para realizar simulaciones computacionales de materia oscura a través de colisiones de partículas. Un mecanismo estudiado es la Fusión de Bosones Vectoriales (VBF), donde quarks colisionan y se fusionan con la ayuda de una partícula mediadora para formar nuevas partículas.

Análisis de datos

El LHC genera una enorme cantidad de datos en cada colisión. Los modelos simplificados ayudan a filtrar y analizar estos datos, identificando posibles señales de materia oscura entre millones de eventos.

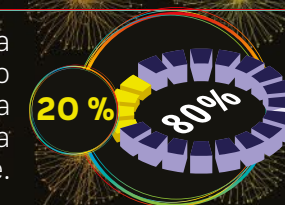


Los datos, en crudo, como meros números que representan las partículas interactuando con el detector

Cada colisión genera una cantidad colosal de datos:

terabytes por segundo, ¡una verdadera avalancha de información que se acumula rápidamente en petabytes y exabytes! Analizar esta masa de datos es todo un desafío para intentar detectar la débil señal de la materia oscura entre millones de eventos.

Aunque pensemos que con la ciencia hemos logrado entender el universo en su mayoría, se estima que la materia que conocemos conforma solo el 20% de este.



Mientras que la materia oscura conforma cerca del 80% de la materia del universo.

Seguir caminando con zapatos nuevos

De nuestro hallazgo se sigue la necesidad imperante de caminar experimentalmente el nuevo camino que encontramos. ¿Qué tal que la materia oscura se encuentre justo en ese camino y no en ningún otro de los ya previstos? La materia oscura puede estar allí, esperándonos.

Este método novedoso y exploratorio nos mostró que había oportunidades en el LHC que podríamos seguir explotando. De la mano de la incomodidad, y con la impresión intacta, encontramos, y les contamos a todos a través de un artículo publicado en una revista internacional, que hay formas de hallar la materia oscura en el LHC que nadie antes había realmente sospechado.

La incomodidad continúa y continuará, quién sabe por cuánto tiempo, hasta que probemos la real composición de la materia oscura. Seguiremos buscando, porque en eso consiste la tarea de investigar: en caminar aun con la incomodidad.

El grupo de investigación participa en otros experimentos, como el del solenoide compacto de muones —CMS, por sus siglas en inglés, *compact muon solenoid*—, uno de los ubicados en el LHC para buscar también materia oscura. **X**

Glosario

Acoplamiento: Fortaleza de la interacción entre diversos tipos de partículas.

Bosón vectorial: Partícula que media interacciones y que tiene preferencia por ocupar el mismo espacio que otras iguales a ella.

Modelo Estándar de Física de Partículas: Modelo que permite explicar la constitución de la materia y sus interacciones con los conocimientos teóricos y experimentales más actuales.

Modelos simplificados: Versiones simplificadas de modelos de nuevas partículas que sirven

como hoja de ruta para buscarlas en la naturaleza.

Topología de Fusión de Bosones Vectoriales: Proceso de la naturaleza en el cual se fusionan dos bosones vectoriales para producir otras partículas.

Este texto hace parte del proyecto «Búsquedas de materia oscura en el experimento CMS». Los autores que participaron en esta investigación son Santiago Duque Escobar, Daniel Ocampo Henao, José David Ruiz Álvarez y Jessica Velásquez Múnera. Este trabajo fue financiado por el fondo de Primer Proyecto del CODI y el fondo de Democratización del Conocimiento de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Antioquia.

Diagnosticar, empaquetar y reciclar la energía

Ferley Alejandro Vásquez Arroyave

Ph. D. en Ingeniería de Materiales
ferley.vasquez@udea.edu.co

Jorge Andrés Calderón Gutiérrez

Ph. D. en Ingeniería Metalúrgica y de Materiales
andres.calderon@udea.edu.co

Grupo de investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales
CIDEMAT

En treinta minutos las baterías de ion-litio de un vehículo eléctrico pueden cargarse en un 80 % y darle una autonomía de 500 km. Los desarrollos en electromovilidad dependen de estos sistemas de almacenamiento de energía, que también soportan el funcionamiento de dispositivos de uso común, como los celulares y los computadores.

El impulso de una transición energética y la descarbonización del sector del transporte para mitigar los impactos del cambio climático hacen parte de un escenario que promueve cada vez más la investigación en este campo. Entre los retos que la ingeniería de las baterías debe superar se encuentran el de igualar los tiempos de carga de la batería con los rangos de tiempo de llenado de un tanque de gasolina de un vehículo de combustión (cinco minutos, aproximadamente), el de extender la vida útil hasta alcanzar tiempos superiores a treinta años y el de reducir su costo para hacer el vehículo eléctrico más accesible.

Capacidades científicas para la descarbonización

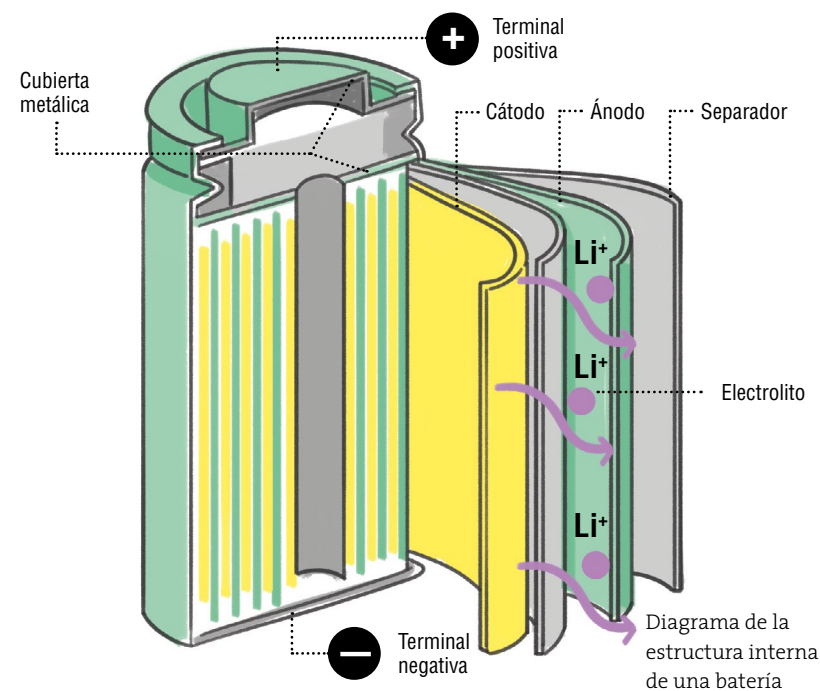
Para el desarrollo de nuevas tecnologías de baterías de ion-litio, Colombia tiene grandes oportunidades, tanto por la riqueza en minerales como el hierro, el níquel y el manganeso, como por la posibilidad de aprovechar las baterías de ion-litio provenientes de vehículos eléctricos en almacenamiento estacionario, para prolongar su vida útil y, en los procesos de economía circular, para recuperar los componentes.

Desde hace más de ocho años, el Grupo de Investigación CIDEMAT de la Universidad de Antioquia ha trabajado en el desarrollo de materiales activos —compuestos químicos que almacenan energía, como los óxidos de litio, el manganeso, el níquel, los fosfatos de litio y el hierro— para fabricar componentes de baterías de ion-litio de bajo costo, alta densidad energética y alta capacidad en la entrega de corriente eléctrica. Con dichos materiales se fabricaron las primeras celdas de ion-litio tipo moneda CR2032 y cilíndricas 18650 en el país. Este trabajo ha promovido avances en el desempeño de los componentes, el aumento de su vida útil y los procesos de economía circular.

El Grupo de Investigación CIDEMAT se consolida así como un pionero a nivel nacional en la producción local de baterías de ion-litio y en la conversión de las baterías residuales de movilidad eléctrica en sistemas de almacenamiento estacionario, contribuyendo a la transición energética mediante el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía, desde las capacidades del grupo en las áreas de la electroquímica y el desarrollo de nuevos materiales.

La estructura de una batería de ion-litio

Para entender la importancia que tienen las investigaciones realizadas sobre el desarrollo de materiales y componentes de baterías de ion-litio es necesario conocer la función de cada componente. Una



celda de ion-litio está compuesta por dos electrodos, uno es el cátodo o electrodo positivo y el otro es el ánodo o electrodo negativo, responsables de la conversión y el almacenamiento de la energía. Ambos están inmersos en un medio llamado electrolito, que permite transportar cargas eléctricas en forma de iones, entre los dos electrodos de la celda. La capacidad de una batería se define por la cantidad de cargas que puede entregar o recibir el metal de transición del material activo del cátodo, y por la cantidad de litio que se puede alojar en el interior de las estructuras laminares del grafito del ánodo. La vida útil y la seguridad de una celda de ion-litio se definen en gran medida por la estabilidad química tanto del electrolito como de los electrodos.

Innovación en materiales para baterías ion-litio

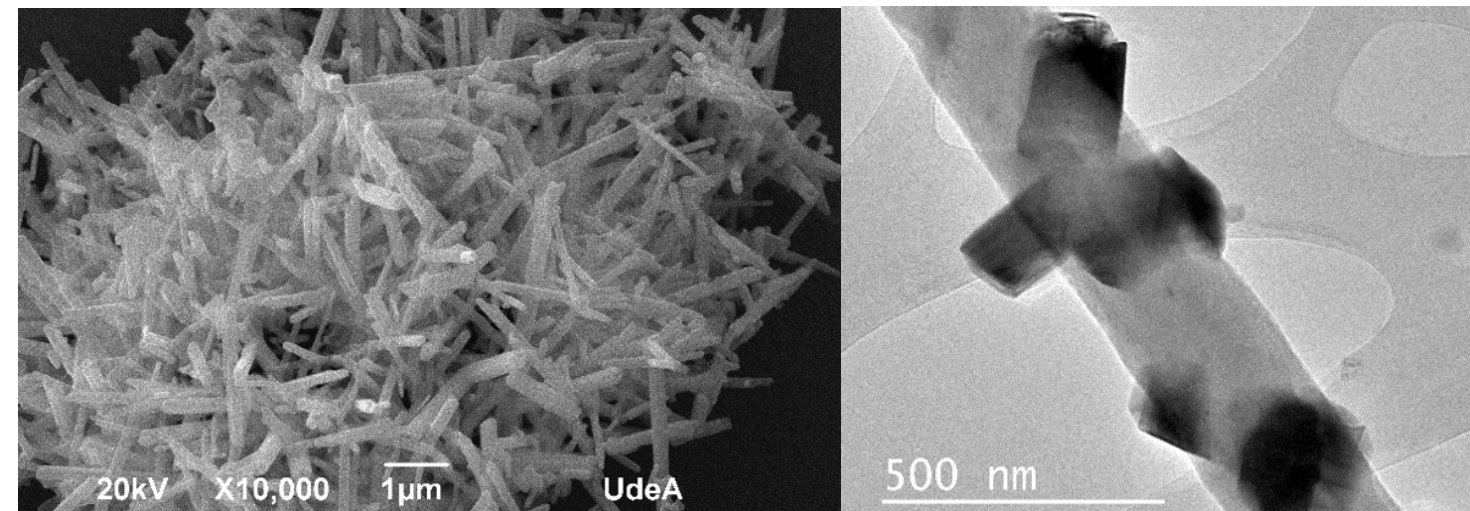
El CIDEMAT ha dedicado varias de sus investigaciones a mejorar cada uno de los componentes de las baterías de ion-litio. Mediante procesos optimizados de síntesis de materiales electroquímicamente activos se controlan la composición, la estructura, la forma y el tamaño de las partículas del material, para obtener otros que transforman de manera más eficiente la energía eléctrica en energía química, mejorando tanto la velocidad con la que los iones-litio se almacenan, como el incremento de la vida en uso de los dispositivos.

El grupo ha desarrollado materiales activos de cátodo del tipo óxidos sin cobalto y fosfatos de manganeso, con formas de nanoba-

rras y nanoplacas, con los que se fabrican los electrodos. De igual manera, se han desarrollado materiales activos de ánodo, como hilos de carbón de alta densidad energética con incorporación de magnetita, materiales híbridos orgánicos-inorgánicos y ánodos de grafito sintético, procesado a partir de residuos industriales.

Celdas más estables y seguras

Para mejorar la estabilidad y la seguridad de las celdas se han desarrollado electrolitos sólidos —no inflamables y químicamente estables— a base de sulfuros con estructura tipo perovskita y líquidos iónicos de alta estabilidad para sustituir los electrolitos convencionales conformados por sales de litio y solventes orgánicos (altamente reactivos e inflamables).



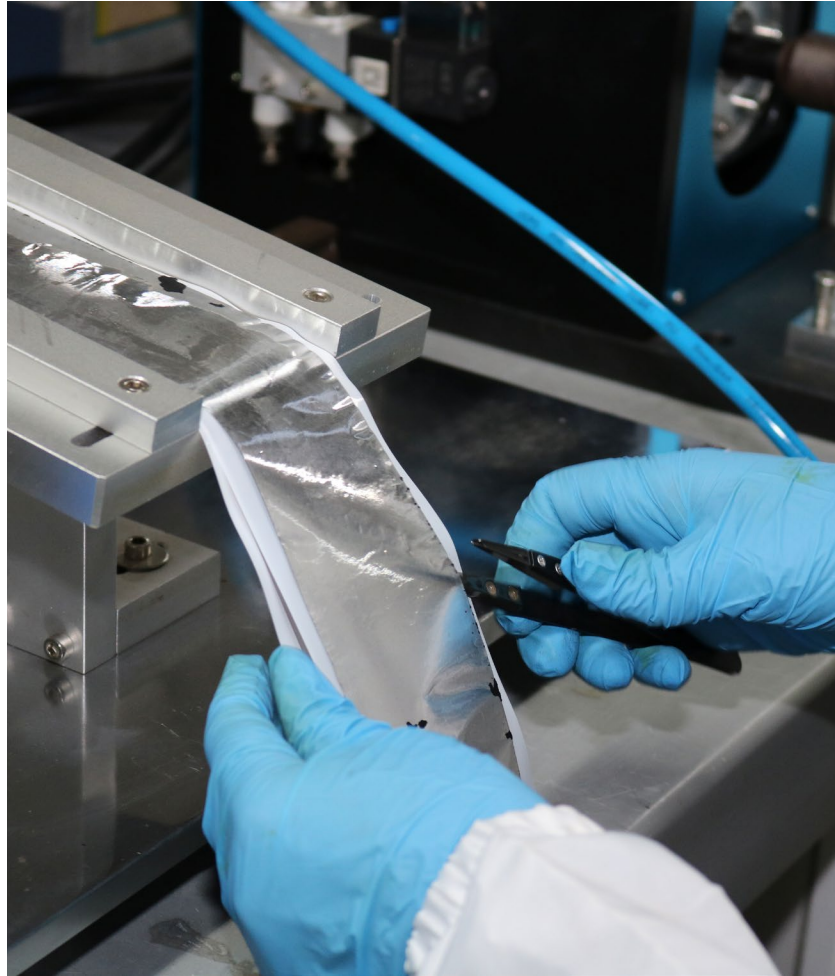
Materiales para cátodos de baterías con morfologías de nanobarras. Fotografía: Cortesía de los investigadores.

Materiales para ánodos de baterías en hilos carbón con magnetita incorporada. Fotografía: Cortesía de los investigadores.

Las investigaciones han avanzado, tanto en relación con los materiales que almacenan la energía como en función del componente que transporta los iones-litio entre el ánodo y el cátodo de la batería, incorporando electrolitos en estado sólido o líquidos iónicos que mejoran la vida útil y la seguridad de las baterías. A partir de los materiales desarrollados, se ha logrado fabricar celdas 18650 para ensamblar un *pack* que permita operar una aspiradora robot, las cuales, además de tener un alto desempeño en el almacenamiento de energía, permiten reducir los impactos ambientales por la sustitución del cobalto y el desarrollo de procesos de síntesis de baja generación de residuos y bajo consumo energético.

Un centro de diagnóstico para el reciclaje de baterías

Como grupo de investigación nos interesa el estudio de los componentes tóxicos que contienen las baterías y el manejo de las baterías después de que cumplan su vida útil. Para el año 2022 se vendieron en Colombia más de ocho mil unidades, entre vehículos eléctricos —BEV—, híbridos enchufables —PHEV— y motos eléctricas. Esto implicará la generación de casi cinco mil toneladas



Enrollado de electrodos durante el ensamble de una celda de ion-litio. Fotografía: Cortesía de los investigadores.

de residuos para el año 2029. Con el fin de impulsar la movilidad eléctrica y mitigar los impactos ambientales que generan las baterías cuando culminan su vida útil en sistemas de transporte eléctrico, el grupo de investigación pondrá en operación el primer centro de diagnóstico de baterías de ion-litio, con un equipo de profesionales de alta formación en sistemas de almacenamiento de energía y equipos con la capacidad de cubrir la demanda del mercado nacional.

El centro de diagnóstico pretende aprovechar los casi 500 GWh de capacidad de almacenamiento que se van a generar cada año por el remplazo de baterías en los vehículos eléctricos, para determinar posibles aplicaciones en segundos usos, entendiendo que cuando una batería termina su ciclo de uso en la movilidad eléctrica aún cuenta con la capacidad de operar al menos otros cinco años en sistemas de menores demandas, como los sistemas de almacenamiento estacionario, en los cuales no es necesario transportar permanentemente la batería ni se requiere entregar altas corrientes.

Para darles un segundo uso a las baterías que salen de la movilidad eléctrica, el grupo ha desarrollado sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Lo primero que debe hacerse es medir la capacidad actual —estimación del estado de salud o SOH, por sus siglas en inglés, *state of health*— de cada batería y clasificarlas de acuerdo a esta. Luego, un nuevo sistema de batería podrá ensamblarse en función de la necesidad del sistema de almacenamiento estacionario que se requiera. Igualmente, se deberá determinar la vida remanente de la nueva batería ensamblada mediante modelos predictivos. Una alternativa para verificarla es la instalación de sistemas de monitoreo remoto que permitan conocer las condiciones reales de operación de la nueva batería de segundo uso.

Usar hasta lo último: segunda vida y reciclaje de baterías

Se estima que con las baterías retiradas de la movilidad eléctrica cada año se pueden suministrar bancos de almacenamiento de energía para que unas treinta mil casas puedan operar con energía fotovoltaica y desconectadas de la red. Finalmente, para el aprovechamiento de las baterías que no son aptas para aplicaciones de segunda vida, se trabaja en procesos de reciclaje de componentes que permitan recuperar los materiales activos de las baterías y regenerar su estructura y su química, para incorporarlos nuevamente en la fabricación de ba-

terías de ion-litio. Todos estos procesos de reciclaje se enfocan en tratamientos limpios de bajo consumo de energía y reactivos, para hacerlos ambiental y económicamente viables.

Prepararse para los extremos: rutas futuras en el desarrollo de baterías

Entendiendo el impacto ambiental que genera cambiar la batería de un vehículo eléctrico cada siete años y los desafíos en cuanto a la seguridad y la operación a temperaturas extremas (bajo 0 °C y superiores a 60 °C), se debe seguir trabajando en el escalado de baterías todo sólido, en las cuales la vida útil se puede ampliar hasta treinta años. Con dichas baterías los riesgos de inflamabilidad podrían minimizarse, y se podría operar bajo condiciones extremas de frío o calor. En cuanto a la portabilidad, el grupo sigue trabajando en la innovación en metodologías de diagnóstico móviles de corta duración, que permitan diagnosticar en sitio las baterías de los vehículos con un alto nivel de confiabilidad.

Los cambios permanentes en las tecnologías de almacenamiento de energía, los desafíos que presentan en relación con la vida útil, la densidad energética y la seguridad, los conflictos geopolíticos por la escasez de algunos minerales fundamentales para la fabricación de baterías y el costo de los mismos hacen que sea necesario innovar permanentemente en el diseño de las baterías y en el uso de componentes de menor costo y menor impacto.

Este texto se deriva de los proyectos *Mixed metal oxides for high voltage Li-ion batteries: a searching by stability and safety*, con código: 2021-40110, financiado por la Universidad de Antioquia, y *Desarrollo de ensambles de baterías a partir de nuevos materiales y baterías reutilizadas para almacenamiento de un sistema solar fotovoltaico*, correspondiente al contrato 2023-0685 - proyecto 82459, financiado por Minciencias.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN CIENCIA DE LOS MATERIALES

De los polímeros a los materiales inteligentes

Betty Lucy López

Ph. D. en Química
Investigadora, profesora emérita y anterior coordinadora del Grupo de Investigación Ciencia de los Materiales de la Universidad de Antioquia
betty.lopez@udea.edu.co

Mónica Mesa Cadavid

Ph. D. en Ciencias Químicas
Coordinadora del Grupo de Investigación Ciencia de los Materiales de la Universidad de Antioquia
monica.mesa@udea.edu.co



Integrantes del Grupo de Investigación Ciencia de los Materiales de la Universidad de Antioquia —CienMate—. Fotografía: Alejandra Uribe Fernández, Dirección de Comunicaciones.

E

El Grupo de Investigación Ciencia de los Materiales de la Universidad de Antioquia —CienMate— se creó en el año 1994, en el Laboratorio 317 del Bloque 1, como Grupo de Polímeros, bajo la dirección de la profesora Betty Lucy López Osorio; y luego se vincularon profesores pertenecientes al grupo de Catalizadores y Adsorbentes, de Ingeniería Química, y Síntesis Inorgánica y Catálisis, de Química, con experiencia en zeolitas, sílices y carbones. Con la inclusión de nuevos temas de investigación, en el año 1998, el grupo cambió su nombre por el de Ciencia de los Materiales, bajo la dirección de la profesora Ligia Sierra García, y ese año fue y continúa clasificado por Colciencias como Grupo A1. En el año 2004 retomó la dirección del grupo la profesora Betty Lucy López Osorio, y el grupo se trasladó a la Sede de Investigación Universitaria —SIU—, donde permanece en los laboratorios 310 y 311 de la Torre 1, y continúa como Grupo A1. Al inicio del año 2023, con motivo de la jubilación de la profesora Betty Lucy López Osorio, asumió la dirección la profesora Mónica Mesa Cadavid.

En los años noventa aún no se hablaba de nanotecnología, pero en ese momento los investigadores del grupo que en la actualidad se conoce como Ciencia de los Materiales de la Universidad de Antioquia se aven-

turaron a trabajar en la preparación de aluminosilicatos nanoporosos y polímeros microestructurados. Estos inspiraron el inicio de una nueva generación de cauchos, catalizadores, polímeros, hidrogeles y otros materiales funcionales con propiedades mecánicas y biológicas mejoradas. Su evolución a lo largo de estos treinta años ha contribuido al desarrollo de electrodos y membranas para celdas de combustibles, nanopartículas para la liberación controlada de principios activos, biocatalizadores estabilizados por inmovilización de enzimas, apósitos para curación de heridas y nuevas moléculas producidas por mecano-síntesis.

Actualmente, CienMate está vinculado al Instituto de Química de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y se ha consolidado como un grupo de investigación en el diseño, la síntesis, la modificación, la caracterización y la aplicación de materiales inorgánicos (sílices, carbones y aluminosilicatos) y poliméricos naturales y sintéticos, como los plásticos, el quitosano, los polivinílicos y los hidrogeles proteicos. Colabora con diversas empresas del país y otros grupos de investigación en la solución de problemas relacionados con la caracterización y la estabilidad de pinturas, resinas, excipientes farmacéuticos y cosméticos, abrasivos, materias primas de la industria química, del papel, el reciclaje, y el reuso de materiales, el aprovechamiento de residuos, entre otras actividades. CienMate brinda oportunidades para la formación de estudiantes de pregrado, maestría y doctorado, con egresados especialmente de Química y Ciencias Químicas.

Los inicios de un grupo con vocación interdisciplinaria

El profesorado de CienMate inicialmente se conformó con profesionales de química e ingeniería química, y con el tiempo se vincularon profesionales de química farmacéutica e ingeniería de materiales. También se han vinculado otros estudiantes de Ingeniería Biomédica. Así, el laboratorio ha desarrollado las capacidades para resolver problemas complejos que requieren una cooperación interdisciplinaria.

Durante sus primeros años, CienMate se dedicó a la investigación con polímeros, sílices y mezclas de estos, para lograr el reforzamiento de los polímeros en el mejoramiento de sus propiedades. Para el año 2005, inició con la síntesis, la caracterización y la aplicación de polímeros biodegradables a partir de quitosano, polivinilalcohol, ácido poliláctico, ácido láctico-co-glicólico, albúmina y plasma sanguíneo, para su uso en la liberación controlada de principios activos, apósitos para la curación de heridas, películas para empaques, membranas para celdas de metanol, entre otros ejemplos. La trayectoria y la evolución del grupo CienMa-

te se puede contar enunciando los materiales que han sido objeto de investigación durante sus veinticinco años de existencia:

Cauchos y polímeros reforzados

Esta área se inició en el año 1998, cuando los profesores Betty Lucy López, Ligia Sierra y Carlos Saldarriaga, expertos en polímeros y zeolitas, unieron estas áreas del conocimiento para crear materiales orgánicos reforzados en sus propiedades mecánicas y químicas, y con resistencia al fuego. Como ejemplos que incluyen además mayor resistencia mecánica, están los cauchos y fibras textiles tales como el nailon. Para la síntesis de zeolitas, sílices u otros aluminosilicatos a temperaturas superiores a 100 °C, se requería una autoclave (recipiente de acero recubierto con teflón), pero el grupo no contaba con esta ni con equipos de caracterización para comprobar si la síntesis había sido exitosa. Para ello se usaron los equipos de los que disponía el laboratorio del profesor Carlos Saldarriaga, de la Facultad de Ingeniería.

Un laboratorio pequeño, con un mesón para preparar soluciones, con cajones para guardar los pocos implementos de vidrio de los que se disponía y una estufa para secar los materiales, era con lo que el grupo contaba en su primer inventario. Esas primeras búsquedas de materiales y equi-



Preparación de una muestra para una reacción mecanoquímica por molienda de bolas. Fotografía: Alejandra Uribe Fernández, Dirección de Comunicaciones.

pos, de las potenciales aplicaciones en la ingeniería, la medicina y las industrias del plástico, y de colorantes, resinas, papel y materiales híbridos inorgánicos-polímeros instaron al grupo a pensar y a actuar interdisciplinariamente. La búsqueda de relaciones de apoyo a nivel nacional e internacional fue el motor para comenzar a atraer recursos que permitieran hacer investigación y convocar a los primeros estudiantes del grupo, desde el pregrado en Química, desde la industria nacional y desde el profesorado de la Facultad de Química Farmacéutica, para la realización de estudios de maestría y doctorado.

El apoyo del CODI por concepto de Estampilla, recurso que recibe la Universidad por el pago de impuestos, permitió la adquisición de un cromatógrafo líquido (equipo para separar y cuantificar los componentes de una mezcla), con el cual desarrollamos métodos de análisis de colorantes para una industria de la ciudad. Con esto, a su vez, el grupo pudo comprar un equipo de análisis químico por espectroscopía infrarroja y un computador para usar por turnos entre docentes y estudiantes. En ese tiempo, los artículos científicos se solicitaban a través de la biblioteca, con tiempos de espera de entre uno y tres meses para que llegaran impresos, en sobre sellado, y se pudieran estudiar.

Sílices mesoporosas, carbones mesoporosos y nanotubos de carbón

Las zeolitas también inspiraron la síntesis de sílices mesoporosas, con poros de tamaño entre 2 y 10 nm, que apenas estaban incursionando como soportes de catalizadores en la industria petrolera. La Mobil Corporation, la Universidad de Santa Bárbara y otros grupos de investigación a nivel mundial ya habían comenzado este camino, y debido a sus poros grandes y la alta área superficial surgió la idea de utilizar estos materiales como fases estacionarias cromatográficas. Para eso era necesario empacarlos en columnas de acero inoxidable, por lo cual se adquirió la tecnología de empaquetamiento y nuevos equipos de análisis para su caracterización, como el analizador de área superficial y tamaño de poro —ASAP—, el calorímetro diferencial de barrido —DSC— para análisis de transiciones térmicas de polímeros y el análisis termogravimétrico —TGA— para determinar la estabilidad térmica de los materiales. Así continuó nuestro crecimiento en infraestructura y con ello aparecieron nuevos retos y nuevas oportunidades. Este proceso se fortaleció con la aprobación de los primeros proyectos de Colciencias y la llegada de nuevos estudiantes de pregrado, maestría y doctorado, jóvenes investigadores de la Universidad.

Las propiedades de estas sílices mesoporosas se aprovecharon en otras aplicaciones, como la producción de carbones mesoporosos y nanotubos de carbón. Estos materiales con propiedades electrónicas han sido muy apetecibles para el desarrollo de dispositivos de conversión y almacenamiento de energía, ánodos y cátodos para celdas de combustible, y celdas solares y catalizadores. La síntesis de este material se inició con equipos incipientes, adaptando la mufla (horno que alcanza altas temperaturas) que había en el laboratorio, hasta llegar al montaje de un área de síntesis, con control del flujo de gases y de la temperatura, y hornos más tecnificados.

Por otro lado, el uso de las sílices, como soportes de inmovilización de moléculas con actividad biológica, permitió el nacimiento de la línea de investigación de inmovilización de enzimas para generar biocatalizadores estables y reusables. Estos incluyen la lactasa para la obtención de leches y productos deslactosados, probióticos y suplementos dietarios, y las lipasas para la hidrólisis de grasas y aceites o su transformación para que sean más saludables.

El laboratorio ha desarrollado capacidades para resolver problemas complejos que requieren cooperación interdisciplinaria.

Biopolímeros

El amplio uso de productos plásticos, cauchos, textiles, pinturas y recubrimientos de materiales dio origen a proyectos relacionados con la síntesis, la modificación química, el reforzamiento y la caracterización de polímeros orgánicos e híbridos. Los textiles con retardo al fuego, pinturas y recubrimientos ecoamigables estuvieron entre los primeros logros del grupo en su primera década de trabajo. El desarrollo de estos proyectos y la vinculación de estudiantes becados y empresas permitieron expandir y aumentar el nivel de conocimientos en esta área. Fue así como hacia el 2004 los investigadores del grupo incursionaron en temas de nanotecnología para el desarrollo de nanotransportadores de medicamentos y el reforzamiento de biopolímeros para su uso como apósitos y para el soporte de cultivo celular. Esto coincide con el traslado a las nuevas instalaciones de la SIU, el fortalecimiento de la infraestructura y la adquisición de equipos para la síntesis y el análisis de nanopartículas (potencial zeta, dispersión de luz dinámica o DLS, ultrasonido, ultrafiltrador, *spin-coater*).

Materiales inteligentes en tiempos de la inteligencia artificial

La investigación básica relacionada con el desarrollo de los materiales precedentes abrió una variedad de opciones de aplicación en biotecnología, nanotecnología y medicina. Nuestras líneas de investigación están enfocadas actualmente en los biopolímeros, la bioinorgánica, las energías renovables y la mecanoquímica.

Los avances continúan y el presente nos hace pensar ahora en la economía circular, los Objetivos de Desarrollo Sostenible —ODS—, la bioeconomía y los materiales inteligentes, que tienen las siguientes características:

- Se adaptan a condiciones de estrés como las membranas y películas poliméricas para las celdas de metanol y las celdas solares, respectivamente.
- Combinan la alta área superficial con la dispersión atómica de metales para usarlos como nanorreactores.
- Sirven como plantillas para el cultivo de fibroblastos, células mesenquimales, apoyando la ingeniería de tejidos.
- Albergan péptidos, proteínas o enzimas, aumentando su estabilidad y manteniendo su actividad biológica.
- Se producen mediante tecnologías limpias, libres de solventes, como las desarrolladas a través de la mecanoquímica, que usa la energía mecánica para la síntesis de moléculas, polímeros y péptidos.

Mediante la sinergia con otros grupos de investigación, como el de Biofísica de Enfermedades Tropicales de la Universidad de Antioquia, se ha fortalecido el trabajo interdisciplinario de Ciencia de los Materiales, incluyendo inteligencia artificial para la selección de moléculas activas, materias primas y el desarrollo de materiales biocompatibles, ecoamigables, biodegradables, diseñados a medida, para responder a los retos mundiales.



Montaje para analizar propiedades porosas de un material por adsorción de nitrógeno en un equipo ASAP2020. Fotografía: Alejandra Uribe Fernández, Dirección de Comunicaciones



EL FILÓLOGO

La edición crítica

o de cómo los obsesivos hallamos algo que hacer con los textos

Samuel Restrepo Agudelo

Estudiante de Filología Hispánica y de Licenciatura en Literatura y Lengua Castellana
Semillero de Edición Crítica, adscrito al Grupo Estudios Literarios —GEL—
Universidad de Antioquia

samuel.restrepoa@udea.edu.co

Tal vez nunca sepamos cuáles son los propósitos de un escritor con su obra (tal vez el escritor mismo nunca lo sepa). Sin embargo, se mantiene la pregunta: ¿podemos confiar en que el libro que tenemos en nuestras manos refleja la voluntad escritural de su autor? Aunque sea una opción cómoda (y válida, también) aceptar los textos tal y como nos llegan, permitámonos hoy el lujo de la sospecha.

Quiero comenzar con una pregunta curiosa. ¿Alguna vez les ha sucedido que en medio de la lectura de un libro sienten la necesidad imperiosa y dominante de conseguir más ediciones del texto que leen con el propósito de confirmar si lo que dice en la edición que ustedes tienen en las manos sí obedece a la voluntad de su autor? No, ¿cierto? Pues los envidio. Es un vicio del que hace un tiempo no me puedo librar cuando leo un libro proveniente de una lengua extranjera y, para más inri, cuando leo uno en mi propia lengua, el español.

Existe una expresión de la lengua italiana que se utiliza para referirse al proceso tortuoso por el que pasa un texto cuando se traduce: el traductor es un traidor (*traduttore, traditore*). Pues les cuento que para mí fue un segundo descubrimiento de la muerte darme cuenta de que no solo el traductor traiciona, sino que también lo hacen el editor, el copista, el diagramador y todos los involucrados en el proceso de publicación de un texto. Me di cuenta a las malas tanto de lo primero como de lo último.

Cuando uno cambia una sola palabra en un texto literario, ¡incluso un solo carácter!, cambia todo el texto literario. Me encontré en el ensayo *Juan Rulfo y la falacia del editor* un ejemplo para ilustrar al escéptico sobre esta realidad: Pablo Neruda nos recuerda que del cambio de dos letras puede depender la orientación sexual de un poeta, ya que es diferente escribir «Yo siento un fuego atroz que me devora» a escribir «Yo siento un fuego atrás que me devora». Pues bien, Alberto Blecua señala un dato *derrota-*

ALPHA

AÑO I } Medellín, Marzo de 1906. { Número 1.º

HOMILIA N.º I.º

(A LUIS CANO, EL BENJAMIN DE LA PARTIDA)

Morena y prieta ha de ser
la tierra para claveles.

(De una copla andaluza.)

POR qué he de ser el menos en este centro de arte y ciencia? ¿Seré yo, por desgracia, la ficha más triste de tantas loterías? No tal: que voy á opinar también; á echar mi cachito de conferencia; á usar del sacrosanto derecho de meterme en arquitrabes, que con tanta sabiduría consagraron nuestros licurgos.

Y no es para enseñar—que no hay mucho maíz en el zarzo—sino para advertir, solamente; para ver de llevar al ánimo de esta juventud antioqueña, á quien alcanza la terrible mancha de tinta, unas miajas de alarma, un asomo, siquiera, de saludable recelo y de prudente desconfianza. Lo hago con intención muy laudable y muy humilde, aunque no me crean, ni me esté bien el decirlo. No gastaré palabras lindas ni trabajosas, sino bien claras y bien patentes, á manera de párroco montañero que exhorta á sus feligreses. Si tomare tonito imperativo y conceptuoso, no es por arrogancia ni por pedantería, ni mucho menos por retóricas; será por vía de claridad y precisión. Nada de lo que digo es para sostener; que esto no es tesis, sino hipótesis: ideas mías, muy personales, tal vez erróneas, propias acaso de un criterio retrógrado y estrecho. Declaro, otrosí, que no quiero herir ni mortificar á nadie, en lo más mínimo.

Hechas estas salvedades, voy á exponer mi parecer sobre el llamado modernismo, en relación con las letras de Colombia, y, especialmente, con las de nuestra tierra antioqueña.

dor: «Las estadísticas demuestran que, como media, se comete un error por página» en cada nuevo proceso de copia. De manera que no hay salvación.

Sí, ya sé. Puede parecer que estoy siendo muy *tiquismiquis*, pero creo que puedo convencerlos con otro ejemplo. ¿Ustedes me creerían si yo les dijera que esto sucede no solo con autores de otras nacionalidades, de otras lenguas o de otros continentes, sino con un autor tan regional, tan nuestro, como Tomás Carrasquilla? Déjenme decirles que, después de hacer parte del Semillero de Edición Crítica de la Universidad de Antioquia, no queda más que concluir que... bueno, deberían creerme.

Les voy a dar un ejemplo de Juan Esteban Hincapié, identificado en el cuento «Historia etimológica». El relato narra la historia de una mujer de la vida alegre llamada Luz, quien enamora a un santurrón llamado Rodrigo de la Guarda. En la descripción de cómo aquella Luz *alumbraba* el interés de todos los hombres que la rodeaban aparece la siguiente línea: «En la metrópoli austera corría el viento *delicioso* del escándalo». Ese adjetivo, «delicioso», se omite en la edición de 1952 de la editorial española EPESA (cuya realización, por cierto, la encargó la familia de Carrasquilla años después de que el escritor antioqueño hubiera muerto).

A partir de aquí podemos hacer unas preguntas más o menos interesantes que otras sobre el porqué de esta decisión editorial. Les cito otras líneas de Carrasquilla acerca del escándalo, con el propósito de incentivar el pensamiento. En «Discos cortos» el escritor apunta que «escandalizarse» es «ver cómo caen y pecan los demás

Un filólogo dedicado a la edición crítica, en primer lugar, identifica las distintas ediciones que se han publicado de una obra comprendiendo cada edición como un objeto único. Luego, compara línea por línea las distintas publicaciones buscando cambios y errores.

y uno no». Con estos elementos podemos colegir que al editor de EPESA le pareció en contra de la moral conservadora que se coqueteara con un elemento pecaminoso como el escándalo por medio de un adjetivo apreciativo como «delicioso», así que consideró pertinente censurarlo. Pensemos en lo siguiente: en 1952 el franquismo estaba en apogeo en España.

Para pillarnos este tipo de erratas nos sirve la edición crítica. El procedimiento está compuesto por los siguientes elementos: *recensio*, *constitutio textus* y *dispositio textus*. No se dejen intimidar por esos latinajos. Realizando un resumen ramplón de la disciplina, les puedo contar que un filólogo dedicado a la edición crítica, en primer lugar, identifica las distintas ediciones que se han publicado de una obra comprendiendo cada edición como un objeto único. Luego, compara línea por línea las distintas publicaciones buscando cambios y errores. Sí, ¡qué camello! Pero alguien tiene que hacerlo. Después, teniendo en cuenta la historia de la transmisión del texto (cartas, historia de las editoriales, testimonios personales), el filólogo determina cuál es el texto más confiable. En este escenario queda dar cuenta de los cambios registrados en la historia de la transmisión del texto y añadir notas explicativas.

Ahora sí: una vez en esta sección, uno puede lanzarse a la lectura con confianza para realizar los estudios literarios que vengan al caso, o, para personalidades como la mía, es entonces cuando uno puede disfrutar la lectura de una edición sin pecar de ingenuo. De hecho, recientemente tuve que decidir si en la «Homilía n.º 1», ensayo en el que se expresa la estética de Tomás Carrasquilla, el autor había escrito 1) «como bibliómanos, por archivos y cancellerías» (edición de la revista *Alpha*), o 2) «como bibliómanos, por archivos y mamómetros» (edición de Carlos E. Rodríguez E.), o 3) «como bibliómanos, por archivos y mamotretos» (edición de la revista *Bolívar*).

Importa resolver esta y otras cuestiones del texto carrasquillano, ya que existen buenas razones para argumentar que cualquiera de estas alternativas corresponde a los designios del autor. En una carta al poeta Max Grillo, nada menos, Carrasquilla sugiere que, en una de las ediciones del texto, la de la revista *Alpha*, le inventaron cosas que él no escribió. Así que el lector de la «Homilía» podría estar en riesgo de no haber leído lo escrito por Carrasquilla, sino lo escrito por su editor. Podría pensarse, entonces, que cualquiera de las otras dos opciones es la que se debe escoger como el texto más confiable, pero aparece el siguiente problema: todavía no se ha encontrado suficiente información que constataste que Carrasquilla supervisó efectivamente la edición de Carlos E. Rodríguez E., y la edición de la revista *Bolívar* se publicó después de la muerte del autor.

Hay catorce publicaciones de la «Homilía n.º 1», de tal manera que el abanico de posibilidades se expande muchísimo más. Estas y otras variantes tienen lugar en el ensayo que ilustra la estética del escritor antioqueño, así que es mi deber escoger entre las diferentes opciones que se

presentan en la «Homilía n.º 1» y también en la «Homilía n.º 2». Hasta la fecha he registrado un total de mil trescientos diez cambios más o menos significativos entre las distintas ediciones de las dos homilias, así que tendré que dirimir: ¿aquel cambio de mayúsculas es un gazapo del editor?, ¿en este tipo de oración es una incorrección añadir comas o no?, ¿será posible que la edición de EPESA de las homilias haya sido fruto de los manuscritos que envió la familia del escritor? Sin embargo, no teman por mí. He aprendido, gracias a Nietzsche, que la filología es el arte de la lectura lenta.

Por el momento, puedo adelantar dos datos. Primero: la edición de Bedout de 1958 ha sido una de las más influyentes entre las ediciones consecutivas en la historia de la transmisión textual. Segundo: al sol de hoy, la primera edición de *Alpha*, de 1906, es la más confiable en lo que concierne a los designios originales del autor. El laberinto de Creta que constituye la investigación, con todo, continúa y se bifurca.

Una imagen que amo del filólogo y que contribuye a la romantización del oficio es aquella de un religioso tonsurado y togado que está en su *scriptorium* repleto de libros revisando alguna copia de la *Eneida* de Virgilio con el propósito de copiar el manuscrito y procurar su preservación y su difusión. ¡Así es! Los filólogos que son editores críticos se encargan de preservar los textos, de conservar la última voluntad de su autor. Son (permítanme decir: «somos») conscientes de su responsabilidad de preservar un tesoro.

A modo de despedida, quiero mencionarles una forma de explicar la labor que refiere Miguel Ángel Pérez Priego a partir de un filólogo humanista del siglo XV: Angelo Poliziano. El italiano rememora una anécdota clásica para explicar el oficio del filólogo. Al joven Hipólito lo arrastraron sus caballos brutalmente y sus miembros quedaron repartidos por todas partes. Esculapio, dios de la curación, se encargó de recoger, juntar, recomponer y dar vida a los trozos. Pues bien, esa es la tarea del filólogo: preservar la vida saludable de los textos. Hipólito luego fue herido por un rayo, debido a la envidia de los dioses, pero eso es otro cuento... O tal vez no.

En fin, hasta aquí llegó este texto. Sepan disculpar que ahora los deje con la propensión a leer paranoicamente... eh, perdón, críticamente. **x**

Los filólogos que son editores críticos se encargan de preservar los textos, de conservar la última voluntad de su autor.

Este texto hace parte del proyecto de investigación número 2020-34066, «Estudio previo y edición crítica de las novelas mayores de Tomás Carrasquilla», financiado por el Comité para el Desarrollo de la Investigación de la Universidad de Antioquia

Los números no mienten, de Vaclav Smil

Guillermo Pineda

Profesor jubilado del Instituto de Física,
Universidad de Antioquia
guillermo.pineda@udea.edu.co

i

Alguna vez ha participado el lector, de manera activa o pasiva, en una discusión estilo «cuántas personas se necesitaron para construir las pirámides de Egipto»? Si este ha sido el caso, es muy proba-

ble que haya escuchado argumentos y opiniones que mencionan a cientos de miles de obreros cincelando enormes bloques de granito para arrastrarlos a lo largo de rampas hasta su localización definitiva. No faltará quien, ante la magnitud de la obra, creyendo que habría sobrepasado con creces las capacidades humanas, invoque la intervención de alienígenas —que son los modernos sucedáneos de las potencias divinas, actualmente en desuso—. Lo que es muy poco probable es que alguien sustente sus afirmaciones con datos confiables, cálculos o estudios serios al respecto, por tratarse de una charla super-

ficial, sin otro propósito que el de pasar el rato. Desafortunadamente, con la misma ligereza con la que se abordan temas como el mencionado, se suelen afrontar temas de mucha más actualidad y de importancia vital como el cambio climático, la transición energética, el envejecimiento de las naciones o el surgimiento y el decaimiento de los imperios.

Pocas veces nos tomamos la molestia de acudir a fuentes confiables —las redes sociales no lo son— para elaborar nuestras opiniones sobre cualquiera de los múltiples temas de los que nos atrevemos a opinar de manera enfática y definitiva. Tal vez por eso resulta tan reconfortante encontrarse con un texto como *Los números no mienten*, de Vaclav Smil. Desde una perspectiva interdisciplinaria, que incluye las ciencias ambientales, la termodinámica, la tecnología, la historia, la política y la sociología, entre otras áreas del conocimiento, Smil, profesor emérito y distinguido de la Universidad de Manitoba (Canadá), analiza con objetividad bien informada, sustentada en una copiosa y actualizada bibliografía, algunos de los problemas más acuciantes del mundo actual, discute sin sesgos ni apasionamientos la factibilidad de las soluciones propuestas y esboza lo que considera una posible evolución de las situaciones. Incluso, al final del libro, se atreve a hacer algunas sugerencias, un tanto utópicas, sobre las conductas que se deben seguir para superar la coyuntura actual.

El análisis que plantea Smil sobre la demografía de los constructores de las pirámides, que se mencionó al inicio de estas líneas, es un excelente ejemplo de su *modus operandi*. Desechando las citas de autores clásicos, que escribieron sus textos siglos después de terminadas



las monumentales construcciones, a quienes se deben las cifras desmesuradas con las que se cuenta a los albañiles que habrían participado en la obra, Smil efectúa unos cálculos bastante elementales que le permiten estimar la cantidad de energía requerida para construir la pirámide de Keops, el tiempo de duración de la obra, la energía consumida por cada operario y la eficiencia de su trabajo, y concluye que participaron en la empresa apenas unos tres mil trescientos trabajadores, que podrían llegar a ser hasta siete mil, entre albañiles y diseñadores.

Recientes investigaciones arqueológicas y paleontológicas sobre las dimensiones y las características de los alojamientos de los constructores de las pirámides concuerdan con las estimaciones de Smil. De igual manera, el autor aborda temas tan sensibles como el de la determinación de los parámetros que definen la calidad de vida de población y, luego de examinar el índice de mortalidad infantil y la esperanza de vida, cuestiona la arraigada creencia en la «excepcionalidad» de Estados Unidos, cuyos índices lo ubican por fuera del grupo de los veinticinco países que exhiben los mejores resultados en estos reveladores indicativos.

Respecto a otros temas de urgente actualidad, como el de la contaminación ambiental generada por el consumo de combustibles fósiles y la posibilidad de una sustitución ecológicamente amigable en el corto plazo, los números de Smil nos aterrizan en la dura realidad de una dependencia del carbono, del nitrógeno, del acero y del cemento, que acompañará a la humanidad por largo tiempo. De no menos interés resultan las reflexiones sobre las costumbres alimentarias, los costos ambientales de la producción de alimentos y la insoslayable dependencia de los muy contaminantes abonos sintéticos, sin los cuales sería imposible sostener a los ocho mil millones de habitantes del planeta, que podrían llegar a ser diez mil millones a finales del siglo XXI.

Alguien decía que el primer paso para resolver un problema es plantearlo de la manera más precisa posible. El ingenio, la mayor ventaja adaptativa con la que cuenta la especie humana, ha encontrado a lo largo de la historia soluciones eficaces para los problemas con los que nos hemos enfrentado, y no hay razones para pensar que esto deje de ser así, siempre y cuando tanto los problemas que se enfrentan como las soluciones que se proponen se analicen con racional objetividad, dejando de lado los activismos cargados de ideologías y emotividad que terminan por hacer daño en vez de generar los beneficios que pretenden. A este respecto, el texto de Vaclav Smil constituye un valioso aporte. **x**

Referencias

Vaclav, S. (2021). *Los números no mienten: 71 historias para comprender el mundo de hoy*. Debate.

Un asunto borroso en la vida de Juan

Mario Víctor Vázquez

Químico, doctor en Ciencias Químicas
Profesor y divulgador de la Facultad de Ciencias
Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia
mario.vazquez@udea.edu.co

Si no hubiera sido por su inconfundible sonrisa, don José no habría logrado identificar a su particular vecino aquella mañana. Con unas llamativas gafas de sol y un sombrero, parecía pasar desapercibido por el frente del jardín de don José.

—Casi no te reconozco —dijo don José haciendo una pausa en su trabajo de desyerbado—. Pareces...

—Sí, ya sé —interrumpió Juan—, un agente secreto. Me lo dicen todos.

—Bueno, iba a decir un muñequito de torta, pero no quiero tener conflicto con tu imaginación. ¿A qué se debe todo eso?

—Mire, en lugar de burlarse de nosotros, las personas modernas, debería reconocer que no todo en el mundo es un jardín. Por pasarse tantas horas aquí, se pierde tantos avances tecnológicos.

Don Juan abrió la pequeña puerta del jardín al ver que su vecino tenía dificultad para ingresar y lo invitó a sentarse en un banco a la sombra.

—A ver, ¿de qué me estoy perdiendo, mi «moderno» amigo? —preguntó sonriente.

Juan, aprovechando la sombra, se quitó el sombrero, aunque continuó con las gafas puestas.

—Aunque piense que vengo de una misión secreta, le cuento que aún estoy sorprendido de los avances tecnológicos en el campo de la salud.

—Ah... Es que vienes del oftalmólogo —aventuró don José ante la cara de sorpresa de su vecino—. Y por lo que escucho, debe ser tu primera visita, ¿verdad?

—Bueno, ahora el que parece agente secreto es usted, don José. ¿Cómo supo todo eso?

—Intuición que uno tiene —contestó sonriente—. Mira, al ver que se te dificulta ingresar al jardín me parece que vienes con la visión borrosa. Eso explica lo del ridículo sombrero y esas gafas de «agente secreto» —dijo haciendo comillas con los dedos.

Juan, sorprendido por lo acertado del relato, quiso saber más sobre lo que su vecino estaba aventurando. Fue así como don José le explicó que asumió que tenía aún las pupilas dilatadas, luego de un examen de rutina con el oftalmólogo, que había tenido por primera vez ese tipo de control y que no se trataba de un examen especialmente moderno.

—Bueno, le reconozco esas aptitudes de agente secreto, pero coincidirá conmigo en que es maravilloso todo lo que se puede hacer en cuestiones de salud visual. Insisto en que no todo tiene que ver siempre con sus benditas plantas...

—¿Y si te dijera que esto tiene que ver con mis benditas plantas, como dices?

—No me dirá que...

—Espérame aquí, en la sombra; fíjate si ya te puedes quitar esas gafas de espía, y regreso en un momento.

Don José se dirigió hacia el interior de la casa y al cabo de un instante regresó con un libro.

—Vamos a ver. Entonces, fuiste al doctor, y te realizó un fondo de ojo, ¿verdad?

Juan pensó que en ese libro le mostraría el tipo de examen que le habían realizado, pero, aun con algo de dificultad para ver claramente, observó que no era un texto de medicina, sino de plantas.

—Ese examen le permitió ver justamente el fondo, la parte trasera de tu ojo, y para eso necesitaba que tu pupila no actuara como lo hace siempre, sino que dejara pasar mucha luz, así él podía hacer el examen sin inconveniente.

—¿Y cómo sabe todo eso?

—Ya te conté que es un examen bastante común, y a medida que tengas más edad se hará más habitual en tu vida —dijo en un tono sarcástico que Juan pareció ignorar.

—Para conseguir la dilatación de las pupilas empleó unas gotitas que aún están haciendo efecto, y por eso te molesta tanto la luz, ¿verdad? Bueno, es probable que esas gotitas tuvieran en su composición un fármaco con un derivado de la atropina.

Don José finalizó la oración poniendo la mano sobre el libro y miró a su vecino dando a entender que ya había finalizado la lección.

Juan, resignado por caer una vez más en la trampa, tuvo que preguntar:

—Y, entonces, ¿dónde está la relación entre mi borrosa visión y el jardín?

—Ah, pensé que no lo ibas a preguntar —contestó don José fingiendo sorpresa—. ¿Dónde crees que se obtiene o, al menos, dónde se descubrió la presencia de atropina? ¡En una planta!, justamente en esta —dijo mientras abría el libro, donde tenía un señalador—, la famosa *Atropa belladonna*.

—Bueno, ahora viene la siguiente pregunta que está esperando: ¿y por qué se llama así la planta?

—Eso sí es algo muy curioso. Cómo te parece que, a pesar de que es una planta muy venenosa, en el Renacimiento italiano se acostumbraba que las mujeres usaran un ungüento preparado con esta planta para provocar, como te hicieron a ti, que sus pupilas se dilataran, algo que para la época era considerado como símbolo de belleza. De ahí lo de *bella donna*, es decir, *bella dama*. ¿Qué opinas? Al final también teníamos alguna relación con las plantas.

Sorprendido por la historia, Juan se despidió de su vecino aguafiestas, aprovechando que ya sus ojos se habían acostumbrado a la visión sin gafas de sol. Aquella noche, una incómoda visión le impidió dormir tranquilo. En aquel sueño, ya no era un atractivo agente secreto que miraba por encima de unas gafas oscuras, sino una alegre dama de largo vestido y ojos exageradamente abiertos. Si no había sido por la cena, que le había caído pesada, tenía que ser culpa del vecino, cuya sonrisa también aparecía en el sueño.

EL ALKIMISTA

Bombardeo de té

Durante la ocupación alemana de los Países Bajos en la Segunda Guerra Mundial, en marzo de 1941, las fuerzas británicas hicieron un bombardeo con el propósito de elevar la moral de las supuestas víctimas de sus bombas. Estas consistieron en miles de bolsas de té. Este producto se cultivaba en las Indias Orientales Holandesas (actualmente Indonesia) y venía acompañado por el mensaje: «Saludos desde las Indias neerlandesas libres. Mantengan alta la moral. Holanda volverá a levantarse».



Sangre de alcurnia

A pesar de que la sangre en el cuerpo humano tiene distintas tonalidades de color rojo, según se encuentre oxigenada o no, algunas personas pueden ver que en las venas de sus brazos o en la palma de sus manos tienen una coloración azulada. Esto obedece a una ilusión óptica creada por la forma en que la luz atraviesa la piel y la pared de la vena. Antiguamente, este efecto se usaba para distinguir a la nobleza del vulgo, pues las primeras se protegían todo el tiempo del sol para conservar la piel blanca al máximo posible, y por lo tanto era más fácil observar esa supuesta diferencia de clase social.

Un ángulo universal

El agua es calificada como un «solvente universal» por la posibilidad de disolver compuestos de carácter iónico (es decir, que pueden ser disociados en especies con carga eléctrica). Tiene ese poder «universal» gracias a un valor particular del ángulo de los enlaces H-O-H en su molécula. Si en lugar de un ángulo de $104,5^\circ$ presentara uno de 180° , nada en el mundo sería tal como lo conocemos.



Acelerador doméstico

Un sistema que era de uso común hasta hace algunos años, y que podría considerarse un «pariente» lejano del gran acelerador de partículas, era el tubo de rayos catódicos que caracterizaba los voluminosos televisores que teníamos en los hogares. En estos dispositivos se generaban partículas, electrones, que eran dirigidos en distintas direcciones hacia una pantalla. Para conseguir esto se empleaban dos pares de bobinas que generaban los campos magnéticos necesarios.





- Si haces investigación en la Universidad de Antioquia y quieres divulgar tu trabajo, puedes 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 no estás afiliado a la UdeA, pero participas en una investigación con alguno de nuestros grupos, también puedes presentar tu 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 tu estudio.
- El artículo deberá utilizar recursos que les permitan a las personas comprender un tema desde su propia vivencia. Usa ejemplos y casos que relacionen la investigación con la vida cotidiana. También puedes usar cifras y datos de contexto que le den cercanía o universalidad a nuestros estudios científicos.
- Si requieres asesoría o mayor información, no dudes en contactarnos al correo revistaexperimenta@udea.edu.co. Te acompañaremos en todas las etapas de la generación de un artículo, para que tu investigación sea conocida y comprendida por muchas personas.

Si te interesan nuestros temas y quieres recibir la revista en tu institución —no importa que no estés afiliado a la UdeA—, regístrate, y te la haremos llegar. Envíanos un correo electrónico a revistaexperimenta@udea.edu.co con:

- Nombre.
- Dirección de la institución, domicilio u oficina.
- Nombre de la institución donde trabajas o estudias.
- Carrera, curso o área del conocimiento a la que perteneces.




**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

EXPERIMENTA



www.udea.edu.co

#UdeACiencia

 @UniversidadDeAntioquia

    @UdeA