

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.

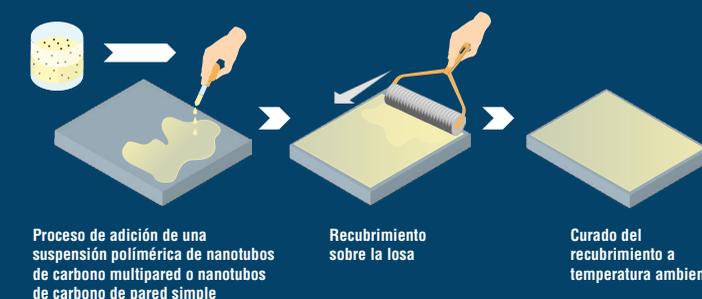
HIERRO

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 polioliol (alcohol con más de dos grupos hidroxilo) y un isocianato (compuesto químico con grupos isocianato, -NCO).