

Concientifica



Fármacos caducos como inhibidores de corrosión

Expired drugs as corrosion inhibitors

Jorge Alberto Ramírez-Cano
Ricardo Orozco-Cruz*

Universidad Veracruzana, Instituto de Ingeniería, Unidad Anticorrosión, SS. Juan Pablo II s/n, Boca del Río, 94294, Veracruz, México.

*Autor para la correspondencia:
rorozco@uv.mx

Resumen

Los fármacos caducados son actualmente un problema de manejo de desechos, tan solo en México se estima que alrededor de 12 millones de medicamentos caducos no son recuperados para dar una disposición final adecuada, propiciando contaminación y, en el peor de los casos, el surgimiento de un mercado negro de medicamentos que pone en riesgo la salud de la población. Su uso como inhibidores de corrosión provee una alternativa de reciclaje que además ayuda a aliviar la demanda por nuevas sustancias que funjan como inhibidores de corrosión de bajo impacto ecológico.

Palabras clave: Fármaco caducado, inhibidor de corrosión, sustentable.

Summary

Expired drugs are currently a waste management problem, it is estimated that in México alone 12 million expired drugs are not recovered for proper final disposition, generating pollution and, in the worst-case scenario, the rise of an expired drug black market, that puts at risk the population health. Their use as corrosion inhibitors provides an alternative for recycling that also alleviates the demand for new substances that work as corrosion inhibitors of low environmental impact.

Keywords: Expired drug, corrosion inhibitor, sustainable.

Introducción

La corrosión es un problema grave que afecta a la sociedad en múltiples facetas, desde la durabilidad de elementos estructurales metálicos en el hogar, hasta la integridad estructural y funcionalidad de infraestructura pública e industrial. En 2016 un estudio de NACE internacional (Actualmente AMPP), denominado IMPACT reveló que el 3.4% del PIB global se destina a labores de mantenimiento y reemplazo de elementos afectados por la corrosión [1].

La corrosión es un proceso termodinámico espontáneo, que ocurre como consecuencia de la tendencia natural del metal a volver a su estado natural, es decir su estado mineral en el que existe como óxido metálico. La forma más común de corrosión es la corrosión electroquímica, donde mediante un proceso de óxido-reducción el metal cede electrones en las zonas anódicas, liberando iones metálicos al mismo tiempo, estos participarán en la formación de productos de corrosión (óxidos metálicos) que se acumulan cerca de los sitios anódicos. Por otro lado, los electrones se desplazan a las regiones catódicas donde participan en la reducción de especies iónicas presentes en el electrolito (Figura 1).

Evidentemente, la electromigración (migración de electrones) del ánodo al cátodo, aunada a la pérdida de metal en forma de iones, compromete la integridad estructural del

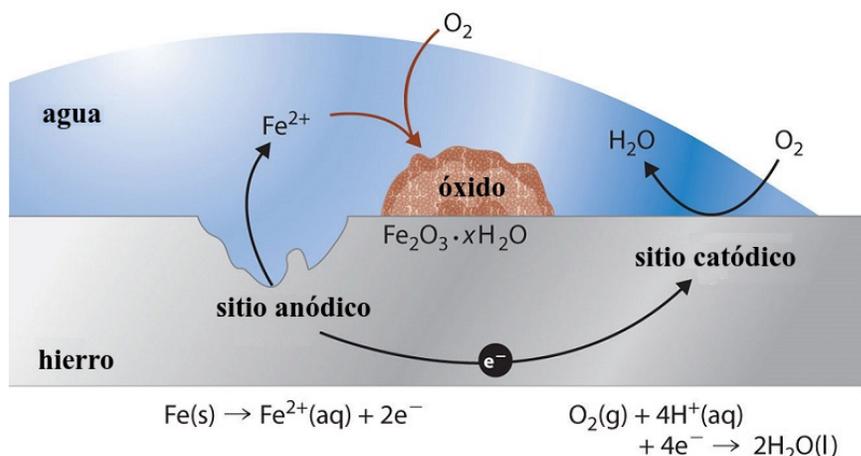


Figura 1. Esquema de celda de corrosión de hierro (traducida al español de: CCBY-NSA-NC; Anónimo por solicitud)

material y sus propiedades electromecánicas, generando riesgos de seguridad y problemas de costos asociados al reemplazo y mantenimiento de los elementos afectados [2]. Desafortunadamente, al tratarse de un proceso espontáneo, en realidad no puede detenerse por completo el proceso de corrosión (salvo con algunas técnicas concretas como la protección catódica, donde se suministra potencial mediante una fuente externa; o a través de recubrimientos anticorrosivos).

Debido a lo anterior, la búsqueda por métodos eficientes, económicos y sustentables para mitigar los efectos de la corrosión es muy intensa [3], entre las técnicas convencionales de protección encontramos la selección de materiales según su posición en la serie galvánica, la protección catódica, la protección anódica, el uso de recubrimientos aplicados como pinturas para crear una capa aislante sobre el metal y también el uso de inhibidores de corrosión, que actúan de manera similar a los recubrimientos, solo que estos forman películas protectoras de escala molecular en la superficie de los metales. Existen dos tipos principales, los inhibidores inorgánicos (que son altamente tóxicos) y los orgánicos (que poseen menor toxicidad que los inorgánicos) [3].

La importancia de los inhibidores de corrosión radica en su excelente costo beneficio, ya que son aplicados directamente en el medio agresivo en concentraciones muy pequeñas (alrededor de 50 ppm), logrando reducir significativamente la velocidad de corrosión del metal tratado [4]. Además, la forma de aplicación los hace excelentes para su uso en control de corrosión interna en sistemas cerrados como tuberías, de ahí que sean especialmente útiles para el control de corrosión en tuberías de transporte de hidrocarburos en la industria petrolera [3, 4], sector de suma importancia para la economía mexicana.

Históricamente, el uso de inhibidores de corrosión se ha visto limitado por las preocupaciones del impacto medioambiental de dichas sustancias, ya que tanto inhibidores inorgánicos como orgánicos presentan niveles de toxicidad considerables [3, 4]. Debido a esto, se han explorado nuevas fuentes de sustancias inhibidoras como los extractos de plantas, líquidos iónicos y más recientemente fármacos caducados, de estos últimos se hablará con mayor profundidad a continuación.

Fármacos como inhibidores de corrosión

La idea de usar fármacos como potenciales fuentes de inhibidores de corrosión, surge de su composición química, que generalmente corresponde a moléculas orgánicas con estructuras cíclicas, presencia de enlaces insaturados y con inclusiones de elementos químicos de elevada electronegatividad (S, P, N, etc.), denominados heteroátomos, esta constitución química (correspondiente a la de los inhibidores orgánicos) les permite interactuar de manera muy fuerte con las superficies metálicas, donde a través de un fenómeno conocido como adsorción forman una capa sobre la superficie metálica, que logra aislar al metal de medios agresivos (Figura 2).

La efectividad de los fármacos para proteger a los metales de la corrosión ya se ha probado en diferentes estudios reportados en la literatura, enfocados en antibióticos, antihis-

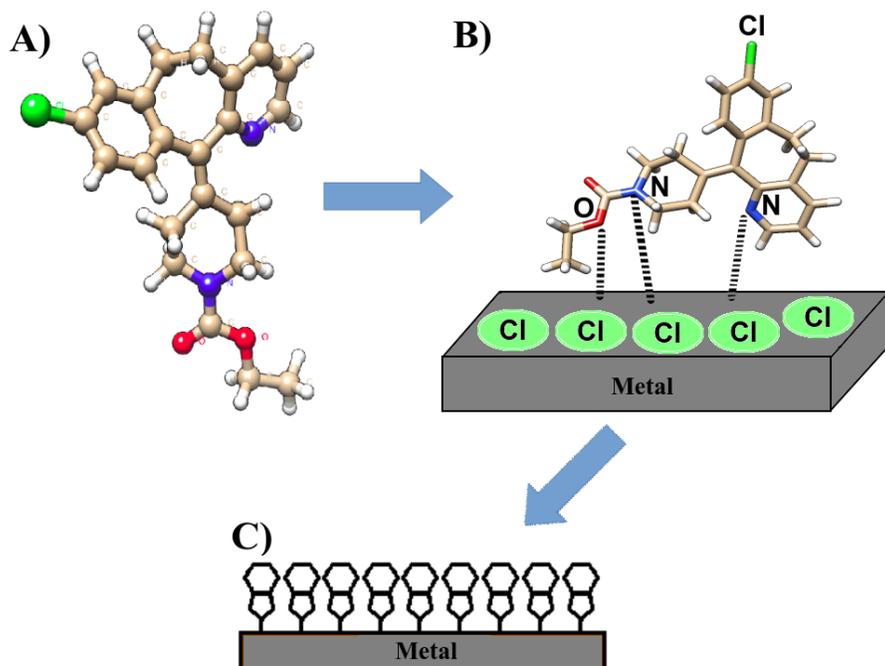


Figura 2. A) Molécula de loratadina (antihistamínico), B) interacción de loratadina con superficie metálica por adsorción y C) Formación de película protectora (elaborada por el autor).

tamínicos, analgésicos y otros tipos de medicamentos han demostrado buenas tasas de eficiencia [5].

No obstante, el uso de fármacos como inhibidores de corrosión supone un gasto importante, ya que debido a las estrictas normativas aplicables al diseño, síntesis y validación de cada fármaco, los costos de adquisición son considerablemente elevados. Una alternativa viable para superar este inconveniente, consiste en reutilizar fármacos caducados como inhibidores de corrosión.

Fármacos caducados como inhibidores de corrosión

En años recientes, se ha intensificado la contaminación por medicamentos [6] las poblaciones en aumento alrededor del mundo, las nulas o escasas políticas de manejo de desechos farmacéuticos y la carencia de infraestructura especializada, principalmente en los países en vías de desarrollo, han contribuido significativamente a la aparición de fármacos como contaminantes emergentes alrededor del mundo.

De esta forma, además de contribuir a prevenir el deterioro de materiales por los efectos de la corrosión, también se atiende un proble-

ma de manejo de desechos complejos (medicamentos caducados) que además de generar contaminación, también pueden derivar en un problema de salud pública.

De acuerdo con datos de CO-FEPRIS, 12 millones de medicamentos caducados no son recuperados en México y el 30% de ellos acaba en el mercado negro nacional [7], es importante señalar que los medicamentos caducos no se vuelven tóxicos inmediatamente, pero si sufren una caída en concentración de principio activo y por consecuencia de actividad química [8], lo que impide que cumplan eficientemente con la función para la que fueron diseñados en un principio.

Lo anterior puede generar desde reacciones adversas no documentadas, hasta resistencia de microorganismos patógenos, lo que pone en riesgo la salud pública, de aquí la importancia de generar políticas estrictas de manejo de desechos farmacéuticos, pero sobre todo de generar alternativas de reciclaje, que permitan dar un segundo uso a compuestos que pueden ser útiles en la mitigación de la corrosión.

El aprovechamiento de medicamentos caducos como inhibidores de corrosión supone una importante reducción en costos de ad-



Figura 3. Estructura básica de medicamento (elaborada por el autor).

Tabla 1. Máxima eficiencia de inhibición de algunos medicamentos caducos utilizados como inhibidores en diversos metales y medios corrosivos.

| Compuesto | Metal | Medio corrosivo | Eficiencia de inhibición (%) | Referencia |
|--|-------------|---|------------------------------|------------|
| Estreptomina (C ₂₁ H ₃₉ N ₇ O ₁₂) | Zinc | Ácido clorhídrico (1 M HCl) | 90.7 | [5] |
| Butiramato (C ₁₈ H ₂₉ N ₃ O ₃) | Aluminio | Agua de mar (3.5% NaCl) | 84.4 | [8] |
| Loratadina (C ₂₂ H ₂₃ ClN ₂ O ₂) | Acero X65 | Ácido clorhídrico (1 M HCl) | 85.2 | [9] |
| Ethambutol (C ₁₀ H ₂₄ N ₂ O ₂) | Acero dulce | Ácido sulfúrico (0.5 M H ₂ SO ₄) | 89.9 | [10] |
| Tioridazina (C ₂₁ H ₂₇ ClN ₂ S ₂) | Acero dulce | Ácido clorhídrico (1 M HCl) | 98.8 | [11] |
| Meclizina (C ₂₅ H ₂₇ N ₂ Cl) | Aluminio | Ácido clorhídrico (1 M HCl) | 95.4 | [12] |

quisición, ya que su reciclaje es relativamente sencillo. El principal objetivo, es la extracción del principio activo del medicamento, todo fármaco está compuesto por dos elementos básicos estructurales (Figura 3) el principio activo, que es la sustancia que tiene efecto farmacológico sobre la afección que se busca tratar, y el excipiente, que funciona como método de entrega del fármaco dando consistencia, facilitando su ingesta y en algunos casos regulando su acción.

La extracción del principio activo puede realizarse por filtración, utilizando un solvente que facilite la dilución del principio activo para luego separarlo del excipiente por filtración y calentamiento, para esto es importante consultar la farmacopea del medicamento de interés, con la finalidad de obtener sus características fisicoquímicas más relevantes.

En la literatura se han reportado diversos trabajos que confirman el efecto inhibitorio de diversos tipos de medicamentos caducados (Tabla 1) como antitusivos [8], antihistamínicos [9], antibióticos [10], entre otros [5]. Por lo que incluso en estas condiciones de actividad reducida, los fármacos caducos son compuestos viables, asequibles y eficientes para el control de la corrosión en sus diversas facetas.

A partir de los resultados mostrados en la Tabla 1, resulta evidente que los medicamentos caducos ofrecen excelentes capacidades de protección para metales en diversos medios agresivos. En años recientes, el manejo y disposición adecuada de desechos ha sido reco-

nocido como un problema ambiental grave, las poblaciones en crecimiento alrededor del globo incrementan el estrés sobre los sistemas de procesamiento y disposición final de desechos en las ciudades modernas. Por tanto, es necesario encontrar alternativas viables para aliviar dicho estrés, especialmente para el manejo de desechos complejos como los medicamentos expirados [11].

Por lo anterior, el reciclaje de fármacos expirados como inhibidores de corrosión es una estrategia deseable para prevenir los efectos adversos del fenómeno de corrosión y al mismo tiempo generar un efecto positivo en la preservación del medio ambiente. Lo anterior se logra al prevenir que los medicamentos caducos lleguen a vertederos, donde invariablemente terminarían contaminando el entorno, cabe señalar que muchos de los compuestos que actúan como principio activo en diversos medicamentos, han sido identificados como contaminantes emergentes [8-11].

En nuestro país, la industria petrolera es el principal pilar de la economía nacional, por lo que la preservación de su infraestructura debe ser prioridad y cualquier alternativa para realizar dichas labores de preservación a bajo costo y previniendo la introducción de contaminantes al entorno, debe ser explorada. Por lo que es necesario fomentar la creación de políticas públicas, que incrementen los esfuerzos de recuperación de medicamentos caducos, con el fin de ser reutilizados como inhibidores de corrosión.

Conclusiones

En el presente trabajo se han expuesto las características que hacen de los medicamentos caducos fuentes ideales de sustancias inhibidoras de corrosión. Como se menciona en el trabajo, los medicamentos caducados también son un problema medioambiental emergente, que requiere de alternativas sustentables para ser controlado. El reciclaje de fármacos expirados, como inhibidores de corrosión en México, contribuiría significativamente a mejorar las capacidades de preservación de nuestra industria y en particular de la infraestructura petrolera, reduciendo el problema señalado por COFEPRIS en torno a la contaminación y el surgimiento de un mercado negro de medicamentos en México. **iBIO**

Agradecimientos

Jorge Alberto Ramírez Cano agradece al CONAHCYT por la beca otorgada (No.2840963) para su estancia posdoctoral en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, en el marco de las estancias posdoctorales por México 2022(1). Los autores agradecen al Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, por las facilidades prestadas para la realización del presente trabajo.

Referencias

[1] Koch, G., Varney, J., Thompson, N., Moghissi, O., Gould, M. & Payer, J. (2016). *International Measures of Prevention Application, and Economics of Corrosion Technologies Study*. Ed. Jacobson, G., NACE International, 15835 Park Ten Place, Houston, Texas, USA. <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>

[2] Raichev, R., Veleva, L. & Valdez, B. (2009). *Corrosión de metales y degradación de materiales*. Mérida, Yucatán-México, CINVESTAV.

[3] Zehra, S., Mobin, M. & Aslam, R. (2022). Corrosion prevention and protection methods. En Guo, L., Verma, C. & Zhang, D. (Eds.), *Eco-Friendly Corrosion Inhibitors Principles, Design and Applications* (pp. 13-26). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91176-4.00023-4>

[4] Carmona-Hernandez, A., Campechano-Lira, C., Espinoza-Vázquez, A., Ramírez-Cano, J., A., Orozco-Cruz, R. & Galván-Martínez, R. (2023). Electrochemical and DFT theoretical evaluation of the *Randia monantha*

Benth extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for mild steel in 1M HCl solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 147, 104913. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104913>

[5] Tanwer, S. & Shukla, S., K. (2022). Recent advances in the applicability of drugs as corrosion inhibitor on metal surface: A review. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100227. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100227>

[6] Pore, S., M. (2014). Pharmaceutical waste from hospitals and homes: need for better strategies. *Indian Journal of Pharmacology*, 46, 459-460. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.135969>

[7] Villagrán, A. (2022). *Iniciativa con proyecto de decreto por el que se adiciona y reforman diversos numerales de la ley de salud de la Ciudad de México; en materia de desecho de medicamentos*. II Legislatura del Congreso de la Ciudad de México. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/f5d94fd-6916c88518105b754316cd54739f61247.pdf>

[8] Al-Ghaban, A., M., H., Abdullah, H., A., Anaee, R., A., Naser, S., A. & Khadom, A., A. (2023). Expired butamiracite drug as eco-friendly corrosion inhibitor for aluminum in seawater: Experimental and theoretical studies. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.11.020>

[9] Ramirez-Cano, J., A., Espinoza-Vazquez, A., Galván-Martínez, R. & Orozco-Cruz, R. (2023). Evaluación de Loratadina como inhibidor de corrosión para acero X65 en solución de HCl mediante espectroscopia de impedancia electroquímica. *Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 9, 280-288. https://revistate-di-q.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2023.pdf

[10] Narang, R., Vashishth, P., Bairagi, H., Shukla, S., K. & Mangla, B. (2023). Electrochemical and surface study of an antibiotic drug as sustainable corrosion inhibitor on mild steel in 0.5 M H₂SO₄. *Journal of Molecular Liquids*, 384, 122277. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122277>

[11] Kannan, M., B., Rahuma, M., Khakbaz, H. and Melchers, R. (2022). Antipsychotic drug waste: A potential corrosion inhibitor for mild steel in the oil and gas industry. *Waste Management*, 145, 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.029>

[12] Bhat, J., I. and Alva, V., D., P. (2011). A study of Aluminium Corrosion Inhibition in Acid Medium by an Antiemetic Drug. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 64, 377-384. <https://doi.org/10.1007/s12666-011-0102-9>